

Capítulo VI

Propostas de baixo custo para mitigação dos impactos ambientais e despoluição em rios urbanos



PROPOSTAS DE BAIXO CUSTO PARA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E DESPOLUIÇÃO EM RIOS URBANOS

Maria Cristina Crispim¹; José Kaio da Silva de Freitas²; Gheizon Raunny Silva³; Michel Magno da Silva Souza⁴; Gabrielle Moraes de Melo⁵; Pablo Henrique do Nascimento Vasconcelos⁶; Valquíria do Nascimento Tavares⁷

¹ Universidade Federal da Paraíba, CCEN, DSE, Labea, (ccrispim@hotmail.com); ² Universidade Federal da Paraíba, graduando de Engenharia Ambiental, Labea, (freitas_eamb@gmail.com); ³ Universidade Federal da Paraíba, graduando de Engenharia Ambiental, Labea, (gheizon14@hotmail.com); ⁴ Universidade Federal da Paraíba, graduando de Engenharia Ambiental, Labea, (michelmagno@hotmail.com); ⁵ Universidade Federal da Paraíba, graduando de Engenharia Ambiental, Labea, (gabriellemelo9@gmail.com); ⁶ Universidade Federal da Paraíba, graduando de Engenharia Ambiental, Labea, (pablovasconcelos1@gmail.com); ⁷ Doutoranda do PRODEMA pela Universidade Federal da Pernambuco. (valquiria_quimica@hotmail.com).

RESUMO

Este trabalho visa apresentar proposta de baixo custo para a despoluição de rios e apresenta tecnologias socioambientais que já foram construídas/aplicadas pela equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Federal da Paraíba, com resultados positivos. As propostas são i) melhoramento do saneamento básico e da pecuária, ii) biotratamento nos rios com biorremediação e manejo de macrófitas (BioMac) e iii) com o reflorestamento da mata ciliar (vegetação ripária). O melhoramento do saneamento básico implica a implantação de fossas ecológicas e tratamento terciário em estações de tratamento de esgoto (lagoas de decantação) e na pecuária o uso de biodigestores; o biotratamento em rios implica no uso de biofilme como biorremediador e manejo de macrófitas, evitando que estas ocupem toda a superfície do corpo hídrico; e o reflorestamento implica a aplicação da técnica de nucleação, que é ecológica e de baixo custo. Pode-se dizer que a construção de fossas ecológicas melhora a qualidade do lençol freático e evita que esgotos sem tratamento alcancem os rios; os biodigestores são bons equipamentos para controle de poluição de resíduos animais, gerando biofertilizante e biogás; o biotratamento foi eficaz e todas essas ações melhoram a qualidade de água dos rios, resultante na menor quantidade de nutrientes dissolvidos, maior diversidade de peixes e plantas aquáticas, diminuição de maus odores, maior transparência e oxigênio dissolvido na água. As pessoas que moram no entorno dos rios tratados notaram melhorias na qualidade da água, pouco tempo após a implantação do BioMac, levando a uma melhor qualidade de vida.

Palavras-chave: Biorremediação, fossas ecológicas, biodigestor, reflorestamento, sustentabilidade.

Low cost proposals to mitigate environmental impacts and dispolution in urban rivers

ABSTRACT

Here we present the socioenvironmental technologies that have already been built/applied by the research team of the Laboratory of Aquatic Ecology, from Universidade Federal da Paraíba (Brazil) at low cost and with positive results. The proposals involve i) improvement of basic sanitation and livestock rearing practices, ii) biotreatment in rivers applying bioremediation and management of macrophytes (BioMac) and iii) reforestation of riparian forest. To improve sanitation we propose the use of ecological pits and tertiary treatment in sewage treatment plants (decantation ponds) and the application of biodigestors in livestock rearing; the biotreatment in rivers uses biofilm for bioremediation and management of macrophytes, which are then prevented from occupying the entire surface of the water body; for reforestation, the ecological and low cost nucleation technique is presented. It can be said that the construction of ecological pits improves the groundwater quality and prevents untreated sewage from reaching rivers. , that biodigesters are good equipment for controlling the pollution of animal waste, generating biofertilizer and biogas, the biotreatment was effective and that all these actions result in better water quality of rivers, in which less dissolved nutrients were found, greater diversity of fish and aquatic plants, less bad odors, greater transparency and oxygen dissolved in the water. People who live around the treated rivers noticed better water quality, shortly after the implementation of BioMac, leading to an improvement in their quality of life.

Keywords: Bioremediation, ecological pits, biodigesters, reforestation, sustainability.

INTRODUÇÃO

A degradação dos corpos hídricos compromete a qualidade e a quantidade de água disponível, um bem essencial à vida. Dessa forma, a ação humana, no sentido de reverter a qualidade da água em ambientes aquáticos poluídos, é mais que nunca essencial, manter os serviços ecossistêmicos destes ambientes, principalmente em rios urbanos, amplamente impactados por exemplo, pelo lançamento de esgotos não tratados.

A despoluição dos rios pode ser conseguida através de três tipos de ações: i) através do controle da entrada de nutrientes, por uma melhor gestão do saneamento básico, o que pode ser conseguido através de fossas ecológicas (PAES & CRISPIM, 2016; MARINHO *et al.*, 2018), biodigestores, e através de uma melhoria do sistema de Estações de Tratamento de Esgotos com o tratamento terciário, que pode ser realizado com a aplicação de biorremediação, por biofilme, ou por manejo de macrófitas (plantas aquáticas) (SOUSA, 2015; LIMA, 2019); ii) através de biotratamento no próprio rio (MARINHO *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 2020); iii) Com o reflorestamento das matas ciliares. As três propostas são complementares e podem/ devem ser aplicadas em simultâneo.

Este capítulo apresenta estratégias de gestão ambiental, que visam processos de despoluição dos rios, de maneira a potencializar os seus serviços ecossistêmicos. Simultaneamente, esta despoluição busca melhorar a qualidade de vida humana através da redução do risco de contaminação por doenças de veiculação hídrica, e os maus odores provenientes dos rios urbanos poluídos.

Em seguida serão apresentadas propostas efetivas de contenção da poluição difusa, de maneira a prevenir a entrada constante de nutrientes contribuindo para a eutrofização, e de biorremediação a ser aplicada nos próprios rios de maneira a poder despoluí-los e retorná-los a situações ambientais mais equilibradas, de forma a manter suas funções ecossistêmicas.

SANEAMENTO BÁSICO ECOLÓGICO

Boa parte da degradação dos rios advém da presença de matéria orgânica em excesso e consequente aumento de nutrientes no rio, o que os “fertiliza” e irá provocar a diminuição do oxigênio dissolvido na água, desencadeando num processo de impactos negativos para todo o ecossistema dependente dele. Pode-se citar como exemplo desses impactos negativos a diminuição de oxigênio na coluna de água, devido ao aumento da decomposição, a diminuição do oxigênio pelo aumento das reações redox, o aumento de substâncias tóxicas como amônia/azoto, nitrito e sulfato, a diminuição da biodiversidade, a emanção de maus odores em casos mais extremos e a proliferação de plantas aquáticas flutuantes, etc. (ESTEVES, 1998).

A “fertilização” dos rios tem uma grande contribuição dos esgotos domésticos (SOUSA & CRISPIM, 2019). No Brasil e no mundo, a solução para o manejo dos efluentes domésticos, em sua maior parte, é baseada em uma concepção tradicional, por meio de sistemas centralizados, em que as águas residuais são coletadas e transportadas por longas distâncias e encaminhadas a Estações de Tratamento de Esgotos ou Águas Residuais (BOTTO & SANTOS, 2013). No entanto, como no Brasil o sistema de tratamento de esgotos é do tipo australiano, com lagoas de decantação, geralmente apenas com tratamento secundário (MELLO, 2018), este não é eficiente e seus efluentes também contribuem para o grande aumento de nutrientes em sistemas aquáticos (MARÇAL & SILVA, 2017).

Segundo o Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento (SNIS), quase 100 milhões de brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto. Apenas 55,5% das cidades brasileiras apresentam coleta de esgoto, e destes só 37,5% recebe o devido tratamento (SNIS, 2018). Esta situação piora nas áreas rurais, em que apenas 24% das pessoas têm esgotamento sanitário (IBGE, 2010), dessa forma, e não é viável estrutural e economicamente, fazer a coleta de esgoto da mesma forma que nas áreas urbanas, cabendo aos moradores esta responsabilidade,

a EMBRAPA tem apresentado algumas propostas como as fossas biodigestoras e os jardins filtrantes (SILVA, 2014). No entanto, nestes locais é comum a fossa ser apenas para águas negras e as cinzas correrem a céu aberto (SANTOS *et al.*, 2017).

De acordo com a FUNASA (2012), 45,3% da população rural possui fossas rudimentares e 13,6% não possui qualquer solução. Mais de 58% da população não dispõe de uma alternativa adequada para o esgoto sanitário, e essa destinação precária faz com que os efluentes, além de chegarem aos corpos hídricos através de lançamento direto no rio, contaminem também o lençol freático. Esta realidade traz diversos riscos à saúde dessas pessoas. A exposição ao manejo inadequado dos esgotos domiciliares causam diversos riscos à saúde, dentre eles a possibilidade do desenvolvimento de doenças como a diarreia, doenças dermatológicas, leishmanioses, malária, doença de Chagas, esquistossomose, lepra, febre tifóide, febre paratifóide, cólera, hepatite A, amebíase, giardíase, leptospirose, ancilostomíase (amarelão), ascariíase (lombriga), teníase, cisticercose, filariose (elefantíase), dengue e mais recentemente Zika e Chikungunya (RESENDE *et al.*, 2018).

As fossas rudimentares, são escavações profundas, geralmente desprovidas de revestimento interno para impermeabilização, principalmente no fundo, onde recebem o despejo dos dejetos provenientes de águas negras. Essas fossas, também conhecidas por fossas permeáveis deixam o efluente percolar no solo, contaminando o lençol freático e mais uma vez comprometendo de forma séria a qualidade de vida das pessoas que possuem esse tipo de fossas. Esse mesmo lençol freático contaminado abastece os poços tubulares que esta população usa para beber e cozinhar.

MARINHO *et al.* (2018) verificaram que após serem construídas fossas ecológicas numa residência que tinha uma fossa convencional (vazada) a água do poço apresentou menos 4 vezes nas concentrações de nitrato, 5,4 vezes de nitrito e cerca de 27 vezes de fosfato. Isso revela o quanto as fossas convencionais poluem o lençol freático. Como os lençóis freáticos abastecem os rios (PRESS *et al.*, 2006), essa contaminação também alcança os rios, de forma indireta.

Como proposta de solução para essa ausência do Estado diante do saneamento básico e das condições precárias da população, tanto rural quanto periurbana, propõe-se a utilização de fossas ecológicas. Essas trazem consigo um compromisso socioambiental e de saúde pública, por reduzir a propagação de doenças de veiculação hídrica.

Boa parte das pessoas que estão fora do sistema de coleta e tratamento de esgoto não possuem condições econômicas para a construção de fossas sépticas e/ou sistemas similares que façam um tratamento mínimo do esgoto, e quando o fazem estas fossas são geralmente vazadas. Dessa forma, as fossas ecológicas aqui apresentadas possuem além do compromisso ambiental, ser o mais acessíveis possível, dando condições para que as pessoas possam construí-las independente do poder financeiro, por serem mais baratas que as convencionais (por não terem a laje superior e serem menos profundas), associado ao aproveitamento de resíduos. A utilização de metralha (restos de construção), pneus velhos para a construção da câmara na qual o esgoto será inserido, e alternativas para alvenaria, como a técnica de tela cimento, que não utiliza tijolo, são formas de reduzir os custos da construção. As soluções podem ser adaptadas às condições locais e de cada agregado familiar de forma a diminuir o custo, mas mantendo a eficácia das fossas.

Os esgotos residenciais são compostos por águas cinzas e águas negras. As águas cinzas são provenientes de tanques, pias e chuveiros, e contêm contaminantes químicos, devido aos produtos como sabão, sólidos suspensos, óleos e graxas, normalmente rica em nutrientes. As águas negras são provenientes dos vasos sanitários, com dejetos humanos, e têm o agravante de poderem carregar patógenos consigo (MARTINETTI *et al.*, 2007).

Atendendo à composição e quantidade do efluente residencial é necessário fazer a separação das águas cinzas e negras, devido à quantidade produzida e às características químicas distintas de cada uma (ALSÉN & JENSEN, 2004). O tratamento proposto para essas águas, faz-se de forma diferenciada por dois tipos de fossas. As águas cinzas são tratadas pelos Círculos de

Bananeiras (Figura 1), enquanto as águas negras, nas Bacias de Evapotranspiração, também chamadas por Tanques de Evapotranspiração (TEvap) (Figura 2).

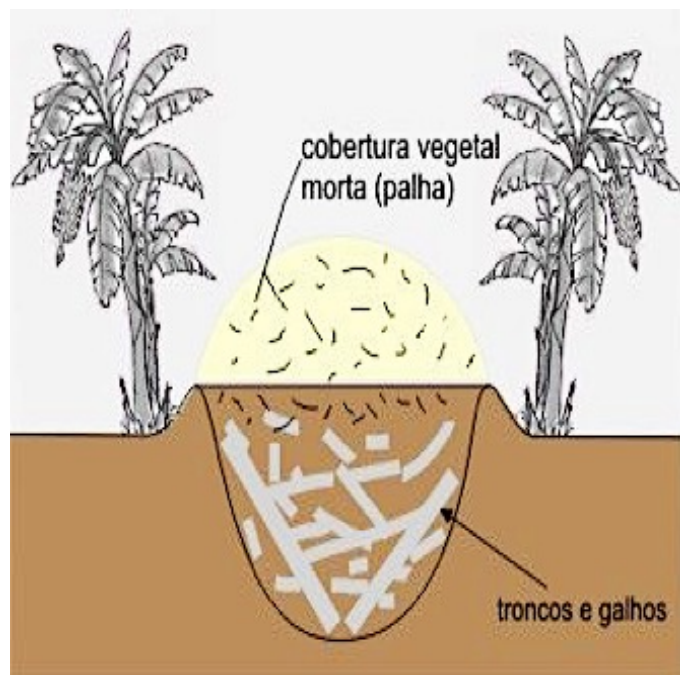


Figura 1. Esquema de Círculo de Bananeiras. (Fonte: PINTEREST, 2020).

O TEvap (Figura 2) é um sistema fechado, um tanque escavado no solo impermeabilizado no fundo e nas laterais, no qual não há saída de água por meio de infiltração no solo e preenchido com materiais de diferentes granulometrias. No fundo e ao centro do tanque é montado um compartimento destinado à decomposição anaeróbia da matéria orgânica (câmara de fermentação), este compartimento pode ser construído em alvenaria ou utilizando materiais reusáveis como pneus usados disposto de forma longitudinal, análogo a um túnel. O efluente entra no sistema pela câmara de fermentação (CF), que deve reter a fração sólida e dispor de aberturas que permitam o escoamento da parte líquida para o exterior preenchido com material cerâmico de alta granulometria e naturalmente colonizado por microorganismos que compõem o biofilme. Dentro e fora da CF a matéria orgânica é decomposta, liberando compostos como amônia e gases: metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (SIQUEIRA, 2008).

Por capilaridade, o efluente ascende, atravessando as outras camadas do TEvap e a decomposição de matéria orgânica passa a ocorrer

em ambiente aeróbico, quando é realizada em maior parte por bactérias, em que no processo é liberado dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e energia. Por meio da nitrificação, a amônia é convertida em nitrito e, posteriormente, em nitrato, as raízes das plantas são capazes de absorver o nitrogênio na forma de nitrato (VON SPERLING, 1996 *apud* GALBIATI, 2009). Por fim, na última etapa, parte da água é absorvida pelas plantas, parte da água é evaporada pela superfície do solo. Da água absorvida pelas plantas, parte que não é utilizada pelas plantas para a produção de biomassa é devolvida à atmosfera pela evapotranspiração, na forma pura de vapor de água.

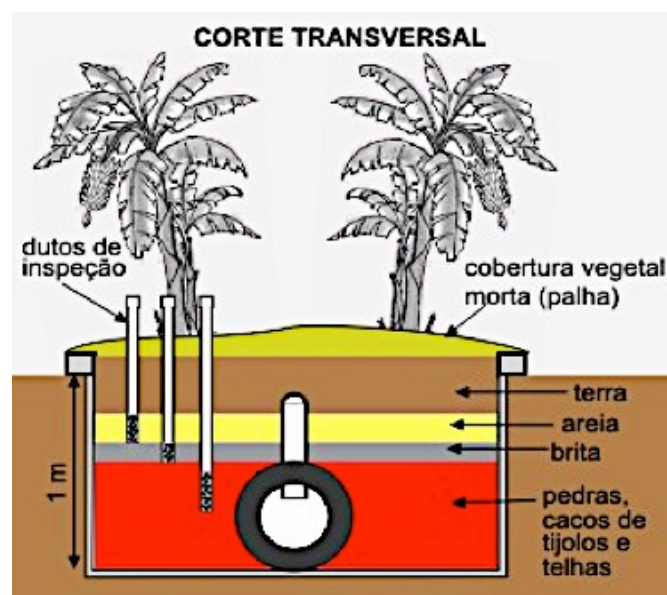


Figura 2. Esquema de um Tanque de Evapotranspiração (TEvap). (Fonte: SETELOMBAS, 2010).

Para que ocorra o processo de tratamento biológico são necessárias condições climáticas favoráveis (radiação solar, vento e umidade do ar abaixo do nível de saturação) (FERRI, 1985, *apud* GALBIATI, 2009). Ao final de todo o processo não há escoamento superficial ou infiltração excluindo a possibilidade de poluir o solo e as águas subterrâneas e o risco de algum microrganismo patogêneo sair do sistema (PAES & CRISPIM, 2016; OLIVEIRA & LEAL, 2017).

Aqui as experiências vivenciadas em projetos de extensão da equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Federal da Paraíba, através de alguns registros da construção

de TEvaps em comunidades rurais são apresentados. Na comunidade Chã de Camila, em Paudalho, Pernambuco, contou-se com o apoio da Prefeitura Municipal através da sua Secretaria de Meio Ambiente.

Inicialmente, foi contatada a Secretaria de Meio Ambiente de Paudalho e do Conde, para apresentação do projeto, e em seguida foram realizadas reuniões com as pessoas envolvidas diretamente, nessa altura foram apresentadas palestras mostrando o problema da falta de saneamento básico adequado e as propostas de construção de fossas ecológicas (Figura 3).



Figura 3. Reunião com os moradores da comunidade de Chã de Camila Paudalho, PE, Brasil.

Em seguida, foram visitadas as áreas (Figura 4), analisados quais os melhores locais para construir as fossas e foi calculada a dimensão das mesmas pelo número de usuários das residências.



Figura 4. Reunião com moradores e membros da Secretaria do meio Ambiente do município De Paudalho, PB, Brasil.

Na sequência foram construídas as fossas com a presença das pessoas, em forma de oficina, para que a partir da primeira todos fossem aprendendo e replicassem. Inicialmente construiu-se a alvenaria das paredes (Figura 5) e fundo da fossa e foi rebocado, para a impermeabilização (Figura 6).



Figura 5. Início da construção de Tévap em Chã de Camila, PE, Brasil.



Figura 6. Impermeabilização de Tévap em Chã de Camila, PE, Brasil.

Após a alvenaria pronta, foi colocada a câmara de fermentação, utilizando pneus velhos (Figura7). É dentro desta câmara que ocorrerão os processos de decomposição anaeróbia, como primeira etapa do tratamento biológico do TEvap. Em seguida preenche-se o espaço entre a câmara e as paredes da fossa com metralha (Figura 8). Estes materiais servem de substrato para o biofilme degradador se instalar, dando sequência ao biotratamento.



Figura 7. Colocação de pneus para fazer a câmara de fermentação em Chã de Camila, PE, Brasil.



Figura 8. Preenchimento de Tevap com metralha da construção civil em Chã de Camila, PE, Brasil.



Figura 9. Colocação de britas no Tevap em Chã De Camila, PE, Brasil.

Acima da câmara de fermentação e da metralha que fica na mesma altura, é inserida uma camada de brita (5 a 10 cm) (Figura 9) que serve também de substrato para o biofilme degradador continuar com os processos de decomposição e já serve como filtro físico também. Acima da brita coloca-se uma camada de areia (Figura 10) que tem também a função de filtro físico.



Figura 10. Colocação da areia no Tevap em Chã de Camila, PE, Brasil.

Após a areia é inserida uma camada de terra até o nível do chão (Figura 11). Nesta camada de terra é onde serão plantadas as plantas, incluindo bananeiras (Figura 12), onde tem ou bananeiras de jardim, onde não tem bananeiras.



Figura 11. Colocação do solo no Tevap em Chã de Camila, PE, Brasil.



Figura 12. Plantação da bananeira. Tevap concluído no viveiro do Conde, PB, Brasil.

Antes da construção efetiva das fossas, verificou-se a importância da educação ambiental informal, através de palestras e rodas de conversa em que foram tiradas dúvidas sobre o funcionamento das fossas, capacitaram-se as pessoas para a construção e conscientizaram-se os moradores acerca da importância da destinação correta dos efluentes, para manter um ambiente saudável e equilibrado. Além disso, alguns cuidados como o não uso de produtos químicos fortes, como soda cáustica e ácido muriático, por exemplo, que pode ser usado na lavagem de sanitários, foram apresentados. Por ser o TEvap um sistema de tratamento biológico, os microorganismos não podem ser destruídos.

O Círculo de Bananeiras é um método complementar ao TEvap para receber e tratar as águas cinzas, verifica-se ser mais simples de construção, manutenção e aprendizagem (PAES & CRISPIM, 2016). As águas cinzas, antes de serem lançadas no Círculo de Bananeiras, devem passar por uma caixa de separação de gordura. O objetivo da instalação da caixa de gordura é reter as gorduras, graxas e óleos contidos nas águas cinzas. Estes compostos formando depósitos em camadas que devem ser removidos periodicamente, assim evitando que estes obstruam a canalização (OLIVEIRA & LEAL, 2017). Além disso, como o tratamento é biológico, efetuado pelo biofilme decompositor e plantas, evita-se a formação de depósitos de lipídeos que são de digestão mais lenta (COTTA *et al.*, 2015) e iriam atrasar o biotratamento.

O projeto de extensão também construiu fossas do tipo Círculo de Bananeiras na comunidade Doce Mãe de Deus em João Pessoa. Esta é uma comunidade religiosa, que lançava as águas cinzas a céu aberto e conhecendo o projeto resolveu aderir à diminuição de impactos com a construção de uma fossa para águas cinzas. Após analisar-se qual o melhor local para o círculo de bananeira, deu-se início à construção.

Iniciou-se a construção com a escavação de um buraco de 1 m de diâmetro por 1 m de profundidade (Figura 13) e preencheu-se esse buraco até acima com pedaços de troncos obtidos na própria localidade (Figura 14). Em seguida instalou-se o cano de 50 mm que traz a água cinza da casa até o centro do Círculo de Bananeiras (Figura 14).



Figura 13. Escavação do Círculo de Bananeiras na Comunidade Doce Mãe de Deus, João Pessoa, PB, Brasil.



Figura 14 Preenchimento com troncos e ramos e inserção do cano de águas cinzas no Círculo de Bananeira.

Após o preenchimento da fossa com os galhos e troncos, cobriu-se toda a estrutura com folhas de coqueiros. As folhas servem para evitar a saída de mau cheiro e a entrada de vetores de doenças como insetos, por exemplo. Qualquer tipo de folhas podem ser inseridas nesta cobertura (Figura 15). As bananeiras produzem bananas que poderão ser consumidas (Figura 16), visto não haver contaminação dos frutos produzidos neste tipo de fossas (BENJAMIN, 2013).



Figura 15. Círculo de Bananeira concluído em propriedade rural, coberto por folhas.

Por ser um sistema vivo, é importante considerar que para um bom funcionamento do TEvap e do Círculo de Bananeiras, deve-se evitar usar em excesso ou sem diluir alguns produtos químicos. A maioria dos detergentes, sabões em pó, shampoos, sabonetes de banho, e produtos de limpeza domésticos têm uma grande quantidade de produtos químicos que afetam negativamente o desenvolvimento e a sobrevivência de espécies vegetais e animais (MARTINETTI *et al.*, 2007). No entanto, estes biosistemas apenas não suportam produtos químicos mais fortes, como ácido muriático e soda cáustica, por exemplo. Água sanitária (lixívia) pode ser usada se diluída.



Figura 16. Bananas de um círculo de bananeiras. (Fonte: Acervo fotográfico de Wellington Paes).

As bananeiras são indicadas em ambos os tipos de fossas, o Círculo de Bananeiras e o TEvap, por serem plantas de raízes pequenas e rasas, de folhas largas e de alta taxa de evapotranspiração, conseguindo absorver de 15 a 80 litros de água por dia. Em alguns casos onde não há a disponibilidade desta fruteira, sugere-se a elaboração de um jardim com diversas plantas, como as bananeiras de jardim (helicônias) (Figuras 17 e 18) que por terem as mesmas características, raízes rasas e folhas largas e absorverem e evapotranspirem bastante água, evitam assim que o solo fique encharcado e a fossa “transborde”.



Figura 17. *Heliconia longiflora*. (Foto: Cristina Crispim, 2020).



Figura 18. *Canna limbata* (Fonte: <http://www.plantasonya.com.br/flores-e-folhagens/caracteristicas-e-cultivo-da-beri-silvestre-canna-limbata.html>).

BIODIGESTOR

O desenvolvimento de toda a civilização é intrinsecamente relacionado com a quantidade de energia que tem disponível e que consegue efetivamente aplicar em seus processos (HARARI, 2011) a prova disso é o salto tecnológico e desenvolvimentista dado pela humanidade, inicialmente com o uso do vapor e posteriormente com a exploração e uso dos combustíveis fósseis. Combustível fóssil é o carbono removido da atmosfera há milhões de anos por organismos fotossintetizantes e aprisionado no seio da terra por eras de sedimentação e condições específicas de pressão e temperatura (CARVALHO, 2008), promovendo uma decomposição incompleta. Pode-se citar como exemplos desses combustíveis, o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. A combustão desses produtos causa uma série de consequências ambientais, entre elas, a devolução para a atmosfera do carbono removido há milhões de anos, que por sua vez causa a intensificação do efeito estufa, que implica no aquecimento global e em todas as consequências daí advindas.

Como alternativa ao uso desses combustíveis não-renováveis é apresentado o conceito de biocombustível que trata-se da utilização de elementos como: madeira, plantas, algas, excrementos animais, entre outros para a obtenção de energia após passarem por processos que podem ser simples ou complexos (GUEDES *et al.*, 2010).

Dentro desse universo de biocombustíveis, destaca-se o biogás.

Matéria orgânica em ambiente anaeróbico é metabolizada por microrganismos anaeróbios, obedecendo a uma sequência definida de processos da seguinte forma: Inicialmente, na **Hidrólise**, ocorre a transformação enzimática de compostos de maior massa molecular (lipídeos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos) em compostos que são mais facilmente utilizados como fonte de energia para os microrganismos; na **Fermentação** ocorre a acidogênese, quando os compostos resultantes da reação anterior são convertidos por meio biológico em compostos de massa molecular menor, em geral, ácidos como o ácido acético, butírico e lático, a formação de cada um vai depender das condições ambientais. Essa etapa é executada maioritariamente por bactérias anaeróbias estritas e facultativas e ainda não ocorre produção de metano. O principal gás gerado até aqui é o dióxido de carbono; a **oxidação anaeróbia** é a fase anterior à formação do metano, também conhecida como acetogênese, devido à ação das bactérias acetogênicas, em que as moléculas são quebradas em compostos menores ainda. Por fim, organismos estritamente anaeróbios, as bactérias metanogênicas, convertem o ácido acético em metano e dióxido de carbono, concluindo a **metanogênese**, o metano é inflamável e pode ser usado como combustível (KARLSSON *et al.*, 2014). Geralmente, para acelerar o processo, fezes de animais ruminantes são inseridas no biodigestor, para disponibilizar mais bactérias metanogênicas.

Partindo da premissa de que qualquer biomassa pode ser degradada em ambiente anaeróbico e tem potencial para gerar metano, traz-se para este capítulo a discussão acerca dos biodigestores. O biodigestor em síntese, trata-se de uma câmara fechada na qual é inserida uma solução aquosa contendo matéria orgânica, nesse ambiente, os microrganismos anaeróbios decompõem a matéria orgânica, liberando os gases que se acumulam na parte superior da câmara (FRIGO *et al.*, 2015) de onde podem ser coletados, filtrados e utilizados em fogões, caldeiras ou ainda em motores a gás. Existe, no mercado, uma infinidade de modelos e dimensões do equipamento e existem

ainda modelos na literatura que podem ser construídos pelo próprio usuário e que são relativamente comuns na zona rural.

O modelo indiano de biodigestor é constituído de uma câmara de fermentação (anaeróbia) de alvenaria, tem uma entrada de alimentação e uma saída de efluente, o gás é acondicionado em uma campânula de metal que se movimenta verticalmente guiada por um tubo, conforme o volume de gás aumenta, a campânula sobe, mantendo a pressão sempre constante (FRIGO *et al.*, 2015), este é o mais utilizado em pequenas propriedades. O modelo canadense tem uma área retangular impermeabilizada e armazena o biogás em uma lona sobre o biodigestor. Este é mais utilizado em grandes propriedades de pecuária. Vale ressaltar que o efluente final pode ser diluído em água e utilizado como fertilizante e controle de pragas em plantações (BETTIOL *et al.*, 1998). Segundo a EMBRAPA a diluição deve ser de 2 a 10% (BARROS, s/data).

A biomassa animal para geração de biogás é bastante eficaz. Os bovinos e equinos produzem em média 40 kg de dejetos por dia (EMBRAPA s/data). Para aferir a eficiência na produção de gás de diferentes biomassas, pesquisadores da UNESP testaram dejetos de diferentes animais em um biodigestor com abastecimento por batelada, a conclusão foi que dentre os materiais testados, o esterco de aves de corte com cama de capim Napier foi o mais eficiente na produção de gás, sendo o esterco suíno o menos eficiente, quanto à concentração de metano, o esterco bovino obteve maior concentração, todos os tipos de biomassa apresentaram conversão para biogás com concentração de metano superior a 48% (GABIALTTI *et al.*, 2010).

O Biodigestor mostra-se como uma técnica ecológica e sustentável que pode contribuir para evitar ou diminuir o lançamento de matéria orgânica nos rios, sendo realizado o aproveitamento de resíduos provenientes de atividades humanas, em geral, agropastoris, proporcionando uma destinação correta e útil a estes materiais, não só para a obtenção de gás de forma bastante econômica como também para a produção de adubo orgânico de real valor para a fertilização do solo (SEIXAS *et al.*, 1980).

No cenário atual, no qual a demanda por energia é cada vez maior e em países como o Brasil que conta

com um rebanho bovino de aproximadamente 213 milhões de animais (IBGE, 2018) e Portugal com aproximadamente 2,2 milhões de suínos (FPAS, 2016), esta técnica tem o potencial de tornar-se mais uma maneira de diversificar a matriz energética, aproveitando resíduos que são subutilizados e contribuir para a descontaminação dos corpos hídricos e redução de danos atmosféricos.

Biodigestores simples podem ser construídos de alvenaria com caixas de água para armazenamento de gás (Figura 19), podendo ser usado como gás de cozinha (Figura 20), ou a partir de tambores de 200L (SILVA *et al.*, 2018) (Figura 21).



Figura 19. Biodigestor caseiro em alvenaria. (Foto: Juscelino Medeiros, 2020).



Figura 20. Biogás usado em fogão. (Foto: Juscelino Medeiros, 2020).



Figura 21. Biodigestor caseiro. (Fonte: Acervo fotográfico de André Reis).

Conclui-se que os biodigestores são equipamentos biotecnológicos importantes, por reterem os nutrientes de resíduos animais que seriam lançados no solo e por lixiviação alcançariam os rios. Para além disso, são produzidos dois subprodutos de extrema relevância, como o biofertilizante, que é um ótimo adubo natural e pode ser utilizado na agricultura, principalmente na agroecologia, e o biogás, que pode ser utilizado no fogão. No entanto, para atender a demanda de três refeições diárias o tamanho mínimo de armazenamento de gás deve ser uma caixa de água de 2000L.

BIORREMEDIAÇÃO: BIOFILME E MACRÓFITAS COMO FORMA DE MELHORAR A QUALIDADE DE ÁGUAS FLUVIAIS

A biorremediação é definida como a transformação ou remoção de contaminantes de um ambiente utilizando organismos e pode ser aplicada de três formas: natural, bioestimulação e bioaugmentação. Esses processos podem ser feitos *ex-situ* ou *in-situ*. Na biorremediação natural, nenhuma ação ou classe de nutriente é adicionada ao meio (solo ou água), porém é indispensável o

monitoramento da atividade dos microorganismos a fim de assegurar que os contaminantes sejam metabolizados pela sua ação, e não por diluição ou translocação do contaminante (LITCHFIELD, 2005). A biorremediação natural é feita por organismos autóctones, principalmente por bactérias do meio afetado. Estas, por meio de atividade enzimática podem biodegradar os compostos orgânicos até produtos intermédios ou CO₂. Na bioestimulação é realizada a adição de nutrientes (nitrato, fosfato, aceptores de elétrons) ao meio, a fim de criar condições adequadas para o desenvolvimento dos organismos autóctones responsáveis da degradação dos contaminantes. A bioaugmentação baseia-se na adição de organismos alóctones, responsáveis pela degradação dos contaminantes a fim de potencializar o processo de remediação (ROJAS, 2011).

Há também métodos de biorremediação que utilizam o biofilme nativo, utilizando substratos artificiais submersos, com o objetivo de promover o crescimento e o aumento da biomassa desta comunidade, incrementando, assim, a capacidade de autodepuração dos ecossistemas aquáticos (CRISPIM *et al.*, 2009, PÉREZ, 2015, SOUSA, 2015, MARINHO, 2018).

A proposta de uso do biofilme como

bioremediador é em consequência do biofilme poder ser responsável por até cerca de 90% da produção primária em um ambiente aquático (WETZEL, 1983). Isso mostra a capacidade que esta comunidade tem de retirar nutrientes da água. Por ser composta por uma comunidade, ao contrário das macrófitas, que são apenas plantas (embora também desenvolvam biofilme nas superfícies afundadas), com uma maior quantidade de biofilme o efeito será mais benéfico. O perifíton (biofilme) (Figura 22) é definido como uma comunidade de microrganismos aderidos a um substrato através de uma matriz extracelular e representa uma grande fonte de alimento para outros organismos, como invertebrados e alguns peixes (SANZ-LÁZARO *et al.*, 2011). Para exemplificar, abaixo apresentam-se alguns registros de biorremediação com biofilme instalado no Açude Manoel Marcionilo, no município de Taperoá – PB (Figura 23).



Figura 22. Biofilme aderido a cortinas de plástico como sistema de biorremediação no Açude Manoel Marcionilo, Paraíba, Brasil. (Foto: Cristina Crispim, 2012).



Figura 23. Módulos de biorremediação no Açude Manoel Marcionilo, Paraíba, Brasil. (Foto: Cristina Crispim, 2012).

Após a utilização do biofilme com sucesso em águas lânticas como apresentado anteriormente, foi necessário comprovar se teria a mesma eficácia em sistemas lóticos, o que foi testado em um projeto de biorremediação no Rio do Cabelo (Figuras 24 e 25), um rio urbano da cidade de João Pessoa. Este rio é um rio afetado por impactos ambientais, nas áreas de nascentes são despejados esgotos sem tratamento.



Figura 24. Rio do Cabelo quando foi instalado o biotratamento com biofilme. (Foto: Randolpho Marinho, 2017).

De acordo com a composição do perifíton podem ser estudadas questões relacionadas com a qualidade da água e do ecossistema em resposta a diferentes fatores ambientais (VADEBONCOEUR & STEINMAN, 2002). Devido à eficiência do perifíton no melhoramento da qualidade da água, é importante aplicar o seu potencial de biorremediação em ecossistemas aquáticos degradados.

A comprovação da origem dos nutrientes no rio pode ser observada em análises de coliformes que foram realizadas e que mostram que no início do rio, na área de nascentes haviam 120.000

UFC.100mL⁻¹ de coliformes (OLIVEIRA, 2020), enquanto a resolução do CONAMA n.357/2005 preconiza valores máximos destes organismos de 2500 coliformes toletarantes.100/mL⁻¹, para rios de classe 3.

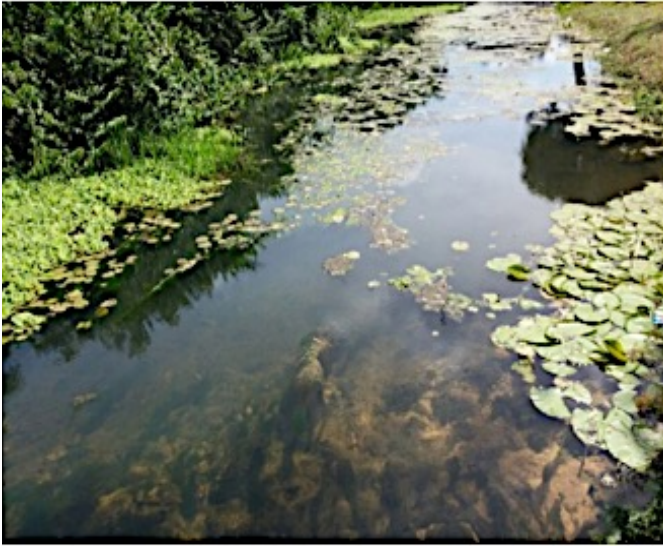


Figura 25. Rio do Cabelo depois da instalação do biotratamento com biofilme. (Foto: Randolpho Marinho, 2018).

Ao contrário de outras técnicas de remediação, em que outros materiais foram utilizados como substrato para o perifiton, como esponjas de poliuretano (*e.g.* MA *et al.*, 2018), o incremento do habitat para o perifiton, através da colocação de substratos artificiais, é uma técnica que deu certo (CRISPIM *et al.*, 2009; SOUSA, 2015; OLIVEIRA, 2020) e é mais barata, embora outros materiais não plásticos devam ser testados.

A complexidade de qualquer ecossistema aquático, a complexidade da comunidade perifítica e as complexas interações entre fatores ambientais (*e.g.* pH, luz, corrente, nutrientes, temperatura, sedimentação, hidrologia) e biológicos (*e.g.* parasitismo, predação, herbívoros, competição) que também influenciam esta comunidade, são ainda mal conhecidos, condicionando a aplicação desta técnica em larga escala (CASARTELLI & FERRAGUT 2018). No entanto, apesar de conhecer pouco todas as interações que ocorrem, o biofilme tem demonstrado efeitos positivos na despoluição de ambientes aquáticos. Apesar de JÖBGEN *et al.* (2004) condicionarem a aplicabilidade desta técnica a aspetos logísticos inerentes à colocação/remoção de grandes quantidades de substratos e também os impactos em

toda a dinâmica do ecossistema decorrentes do crescimento em larga escala do perifiton, em ambientes naturais esta comunidade é alimento de muitas espécies aquáticas, e nos biotratamentos realizados pelo LABEA não se verificou a necessidade de remoção do biofilme. Se considerar-se os valores do oxigénio dissolvido que aumentam, e de outros parâmetros físicos e químicos como a amônia e o nitrito que diminuem (OLIVEIRA, 2020), as biodiversidades de peixes e plantas aquáticas que aumentam (MARINHO, 2018), a diminuição do mau odor e o aumento da transparência (SOUZA, 2020), levam à conclusão que a implementação da comunidade perifítica poderá ser benéfica.

O polietileno (plástico) tem sido um substrato utilizado por vários autores (SZLAUER-LUKASZEWSKA, 2007; CRISPIM *et al.*, 2009; OLIVEIRA & CRISPIM, 2017) por ser barato, leve e fácil de obter. No entanto, a sua colocação, em especial por longos períodos, pode ter impactos ambientais negativos causados pela dispersão e perda de algumas bandas plásticas. Para evitar isso, é necessário o monitoramento dos plásticos para detecção de quando se inicia a sua degradação. Pela nossa experiência, o período de 6 meses é o tempo necessário para trocá-los tanto em ambientes lênticos, como lóticos, no entanto já estamos iniciando pesquisas com outros materiais não plásticos.

MATAS CILIARES COMO PROTEÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS

A conservação de florestas é fundamental para o funcionamento adequado de um ecossistema, além de agir na manutenção da diversidade biológica. As florestas possuem funções no controle da erosão e da desertificação; no sequestro de carbono; nos processos de evapotranspiração; na proteção das nascentes, e especialmente no controle da qualidade da água dos rios (BACELLAR, 2005), por reterem os nutrientes lixiviados, assim como aumentam a sua quantidade, por facilitarem os processos de infiltração de água para o lençol freático. A água e as matas são elementos inseparáveis.

Essa relação é ainda mais clara quando se trata de matas adjacentes aos cursos de água – a mata ciliar. A importância das Matas Ciliares dá-se por elas apresentarem um conjunto de funções ecológicas de extrema relevância para a qualidade de vida, especialmente das populações humanas locais e da bacia hidrográfica, sendo fundamentais para a conservação da biota tanto terrestre como aquática (CASTRO *et al.*, 2012). A presença de vegetação ciliar nas margens dos rios e nascentes é indispensável, pois ela estabiliza a resistência das margens, impedindo a erosão e assoreamento, por meio de barreiras físicas vegetais de contenção dos sedimentos, minimizando a contaminação dos rios por meio de elementos físicos, químicos e biológicos (SEMA-SP, 2009).

Historicamente, sabe-se do fato de que as cidades se instalaram próximo a rios, e desenvolveram uma ligação de dependência do potencial econômico presente neles. As cidades apossaram-se dos rios para crescer e se desenvolver, impulsionando o crescimento urbano e agrícola de maneira desenfreada, culminando na poluição, no desvio dos cursos e no desmatamento da vegetação ciliar. Cidades localizadas imediatamente nas margens de rios tendem a torná-los o principal receptor de escoamento de esgoto sem tratamento (ASSAD, 2015),

Legislativamente, existe o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/12), em que é incluída a mata ciliar na categoria de Área de Preservação Permanente, determinando medidas para as margens de rios, por exemplo, cursos de água com largura inferior a 10m devem ter margens florestadas de 30m, no caso de cursos mais largos, maiores serão as margens florestadas (proporcionalmente) e assim sucessivamente. Nesse sentido, passou a ser discutido entre pesquisadores, universidades e governo, a necessidade do diagnóstico de destruição das matas nas margens de rios, além da elaboração de soluções para este tipo de degradação (ASSAD, 2015).

Com isso, deve haver a adoção de medidas a fim de proporcionar a restauração ecológica das matas ciliares tendo em vista a sua grande importância, de maneira a respeitar as normas estabelecidas em leis, no intuito de fazer com que essas matas retornem ou aproximem-se de como eram antes de sua

degradação, fomentando a sua resiliência ambiental. Um dos métodos capazes de alcançar tal objetivo é o de reflorestamento ambiental dessas áreas. Apesar do texto da lei nº651/12 permitir o plantio de árvores não nativas nesse reflorestamento, indica-se que as árvores plantadas devem ser nativas, para contribuir com habitat e alimento para a fauna local, para além das funções estruturantes.

Reflorestamento das matas ciliares

O reflorestamento deve ocorrer de acordo com a situação da mata ciliar em questão. No caso de ainda haver vegetação, deve-se promover o enriquecimento e regeneração da mesma, e onde não houver será feito reflorestamento total. O ideal é plantar espécies nativas comumente presentes em matas ciliares da região estudada; deverá ser plantado o maior número possível de espécies para gerar alta diversidade; deverão ser usadas espécies pioneiras de rápido crescimento em conjunto com espécies não pioneiras e espécies atrativas à fauna, plantando as espécies de acordo com seus níveis toleráveis à umidade do solo (SEIXAS, 2010).

Em áreas encharcadas, sugere-se espécies adaptadas a estes ambientes, como as típicas de florestas de brejo. Para os diques, recomenda-se as capazes de sobreviver em inundações temporárias. Já em áreas sem inundação, como terrenos mais elevados e marginais ao curso de água, recomenda-se as adaptadas a solos bem drenados (SEIXAS, 2010).

Estudos de reconhecimento e levantamento florístico de matas ciliares presentes nos resquícios da Mata Atlântica e Cerrado, puderam fornecer listas com espécies capazes de se desenvolver em solo com alto teor de água. Dentre as espécies listadas encontram-se *Tapirira guianensis* (Peito-de-pombo), *Calophyllum brasiliense* (Guanandi), *Croton urucurana* (Sangra d'água), *Cedrella odorata* (Cedro-do-brejo) entre outras, sendo estas aptas a sobreviverem em ambientes com alta taxa de saturação hídrica (JOLY *et al.*, 2004). *Cyatharexylum myrianthum* (Pau-viola), é outra espécie nativa e propícia para a restauração de áreas úmidas degradadas (BARBOSA, 2004).

O biólogo Rodrigo Scarton Bergamin e o ecólogo Dilton de Castro listaram no livro “Práticas

para restauração da Mata Ciliar”, tipos de espécies propícias a se desenvolverem em cada faixa das matas ciliares citaram que:

Na faixa próxima dos cursos d’água, ocorrem plantas adaptadas à força da correnteza ou eventual submersão por enchentes ocasionais (espécies reófitas). Dentre elas, destacam-se sarandi-amarelo (*Terminalia australis*), sarandi-mole (*Cephalanthus glabratus*), sarandi-vermelho (*Phyllanthus sellowianus*), sarandi-mata-olho (*Pouteria salicifolia*), os angiquinhos ou quebra-foices (*Calianandra brevipes*, *C. parvifolia* e *C. tweediei*) e salso-crioulo (*Salix humboldtidiana*). Nas áreas mais altas, sem influência direta da linha d’água, predominam os ingazeiros (*Inga vera* e *Inga marginata*), os branquinhos (*Sebastiania brasiliensis* e *S. commersoniana*), o catiguá (*Trichilia clausenii*), o cincho (*Sorocea bonplandii*) e os aguais (*Chrysophyllum marginatum* e *C. gonocarpum*). Além da faixa lateral que esta vegetação ocupa ao longo do canal fluvial, ela também se estende para as planícies de inundação formando um floresta aluvial que tem como espécies características a tucaneira (*Citharexylum myrianthum*), a açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), araticuns (*Rollinia emarginata* e *R. salicifolia*), canela-do-brejo, além de diversas espécies da família Myrtaceae (CASTRO *et al.*, 2012).

É imprescindível que haja um estudo da área onde se deseja realizar um projeto de reflorestamento, para assim ser possível definir as medidas a serem tomadas, levando em conta que estes ambientes estão sempre evoluindo estrutural e funcionalmente, sendo este estudo necessário para que o projeto traga vantagens de acordo com a dinâmica ecológica ali existente, evitando erros durante o processo (ENGEL & PARROTA, 2003).

Técnicas para recuperação de matas ciliares degradadas

Dentre os métodos utilizados para reflorestamento de matas degradadas, especialmente as ciliares, podem-se citar a nucleação, a regeneração natural, o plantio de mudas nativas, a semeadura direta e o enriquecimento de formações secundárias. Além dessas, há também os sistemas agroflorestais (SAFs), legalmente sugeridos como forma de restauração ambiental.

Sistemas agroflorestais

Os sistemas agroflorestais funcionam como um cultivo que visa tanto a produção econômica como a melhoria na qualidade de recursos ambientais, pois a plantação de espécies lucrativas por meio de

manejos sustentáveis promoverá interações ecológicas que poderão acelerar o crescimento de espécies arbóreas e arbustivas (OLIVEIRA, 2014). Um estudo sobre o tema em questão legitimou a teoria com um projeto de restauração da mata ciliar, concluindo que o consórcio entre espécies nativas da floresta estacional semidecidual com espécies da mandioca, obteve um resultado positivo tanto ambiental como econômico, pois os lucros da comercialização da mandioca puderam, posteriormente, custear os valores aplicados na implementação do reflorestamento (DARONCO *et al.*, 2012).

Nucleação

A técnica de nucleação procura reiterar a sucessão ecológica dentro de matas degradadas, reintegrando a biodiversidade de acordo com a matriz vegetal local. É de baixo custo, pois depende basicamente de processos de sucessão natural, buscando proporcionar a heterogeneidade ambiental, facilitando a entrada de novas espécies de fragmentos vizinhos e do banco de sementes local (REIS & KAGEYMA, 2003). Fomenta a dispersão de sementes por espécies da fauna (principalmente roedores e aves), inserindo os seus habitats, como galharias e poleiros.

Os principais sistemas de nucleação são os poleiros artificiais, o plantio de mudas nativas em núcleos, a transposição do solo, de galharia e de chuva de sementes. A transposição de solo de área não degradada pode promover a sucessão ecológica em matas devastadas, isso, porque nesse solo haverá nutrientes, matéria orgânica, microrganismos e sementes de variadas espécies, vindo a favorecer a fertilidade e a atividade biológica nos solos (MARTINS, 2007).

Regeneração natural

A regeneração natural da vegetação é um processo individual de cada espécie relacionada diretamente com a situação ambiental do meio, sendo este o método de menor custo. A partir de um processo de sucessão natural, florestas restauram-se de perturbações naturais ou antrópicas, iniciando uma nova colonização na área e conduzindo a mata por estágios e modificações

ecológicas locais até ela se reestruturar (PINTO, 2003). Para que isso ocorra é necessário antes ver se não há a necessidade de recuperar o solo.

Esta técnica depende da existência de vegetação remanescente, do banco de sementes no solo, da rebrota de plantas, da proximidade da fonte de sementes e da duração da alteração sofrida, seja natural ou antrópica. Cada fragmento terá a sua forma individual de regeneração. Onde houve baixa degradação, o processo ocorre naturalmente e mais rápido, contanto que não sofra mais perturbações, sendo necessário isolar a área e não praticar nenhum cultivo. Onde houve alta degradação as atitudes devem ser mais drásticas (MARTINS, 2007), demoram mais tempo e geralmente incluem também recuperação de solo.

CONCLUSÕES

Conclui-se com este trabalho que é possível contribuir com a restauração ambiental em ambientes aquáticos a baixo custo de duas formas, com prevenção, melhorando o saneamento básico com fossas ecológicas e biodigestores e reflorestando as matas ciliares e com restauração, aplicando biorremediação nos próprios rios.

A proposta do saneamento ecológico inicia-se pela separação das águas das residências em: i) águas cinzas para cujo tratamento seriam utilizados Círculos de Bananeiras e ii) águas negras, em que seriam usados tanques de Evapotranspiração. Estas fossas não geram efluentes, e a última não requer manejo ou manutenção.

Para despoluir os rios pode-se usar a biorremediação, utilizando o biofilme e manejando macrófitas. A colocação de substratos de polietileno demonstraram ser adequados à fixação do biofilme nativo e é de baixo custo. O manejo de macrófitas requer o controle do excesso de crescimento de seus bancos de forma a evitar que ocupem toda a superfície da água impedindo a luz de entrar. Todas essas ações refletem-se em melhor qualidade de água nos rios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSÉN, K.W. & JENSEN, P. 2004. Ecological Sanitation: for Mankind and Nature. Aas: Norwegian University of Life Sciences (disponível em: https://www.susana.org/_resources/documents/default/2-160-ecosan-for-mankind-nature-umb-en.pdf).
- ASSAD, L. 2015. Cidades nascem abraçadas a seus rios, mas lhes viram as costas no crescimento. Rios de São Paulo. (disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252013000200003&script=sci_arttext).
- BACELLAR, L.A.P. 2005. *O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas*. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto Campus Morro do Cruzeiro – UFOP, Ouro Preto – MG. (ISSN: 1519-5708).
- BARBOSA L.M. 2004. *Conservações Gerais e Modelos de Recuperação de formações Ciliares*. São Paulo, Edusp/FAPESP.
- BARROS, T.D. s/data. Biofertilizante. EMBRAPA. (disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fjaakw3q02wyiv809gkz5151b3dhe.html>). Acesso dia 12 de Junho de 2020.
- BENJAMIM, A.M. 2013. *Bacia de Evapotranspiração: Tratamento de efluentes domésticos e de produção de alimentos*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras. 51p.
- BETTIOL, W.; TRATCH, R. & GALVÃO, J.A.H. 1998. *Controle de doenças de plantas com biofertilizantes*. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA. 22p.
- BOTTO, M.P. & SANTOS, A.B. 2013. Saneamento básico em comunidade peri-urbana no Ceará: Perspectiva para o ecossaneamento e sanitários separadores. *GESTA - Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*. 1(1): 098-110.
- CARVALHO, J.F. 2008. Combustíveis Fósseis e Insustentabilidade. *Cienc. Cult.* 60(3): 1-4.
- CASARTELLI, R.M. & FERRAGUT, C. 2018. The effects of habitat complexity on periphyton biomass accumulation and taxonomic structure during colonization. *Hydrobiologia*, 807: 233–246.
- CASTRO, D.; MELLO, R.S.P. & POESTER, G.C. 2012. *Práticas para restauração da mata*

- ciliar*. Porto Alegre: Catarse – Coletivo de Comunicação. 64 p. (ISBN 85-63-199072).
- COTTA, J.A.O.; CARVALHO, N.L.C.; BRUM, T.S. & REZENDE, M.O.O. 2015. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. *Eng Sanit Ambient.* 20 (1):65-78.
- CRISPIM, M.C.; VIEIRA, A.C.B.; COELHO, S.F.M. & MEDEIROS, A.M.A. 2009. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. *Acta Limnol. Bras.* 21(4): 387-391.
- DARONCO, C.; MELO, A. C. G. & MACHADO, J.A.R. 2012. Consórcio de espécies nativas da floresta estacional semidecidual com mandioca (*Manihot sculenta* 112 Crantz) para restauração de mata ciliar: *Revista Árvore Viçosa-MG*, 36(2): 291-299.
- ENGEL, V.L. & PARROTTA, J.A. 2003. *Definindo a Restauração Ecológica: Tendências e Perspectivas Mundiais*. Botucatu: FEPAF.
- EMBRAPA s/data. Adubação orgânica. (disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_48_168200511159.html). Acesso em 07/08/2020.
- ESTEVES, F. 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Interciência. 602p. (ISBN-10: 8571932719).
- FPAS. 2016. Federação Portuguesa de Associações de Suinicultores. (disponível em: [http://www.suicultura.com/images/upload/File/DES%20Abril2016\(2\).pdf](http://www.suicultura.com/images/upload/File/DES%20Abril2016(2).pdf)). Acesso em 17/06/2020.
- FRIGO, K.D.A.; FEIDEN, A.; GALANT, N.B.; SANTOS, R.F.; MARI, A.G. & FRIGP, E.P. 2015. Biodigestores: seus modelos e aplicações. *Acta Iguazu*, 4(1): 57-65.
- FUNASA. 2012. Fundação Nacional de Saúde. Saneamento rural. (disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/blt_san_rural.pdf). Acesso em: 08 mar. 2020.
- IBGE. 2010. Pesquisa da Pecuária Municipal. (disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>). Acesso em 04/05/2020.
- IBGE. 2018. Pesquisa da Pecuária Municipal. (disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>). Acesso em 04/05/2020.
- GALBIATI, A.F. 2009. *Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. 38p.
- GABIALTTI, J.A.; CAMELO, A.D.; SILVA, F.G.; GERARDI, E.A.B; DENISE A. & CHICONATO, D.A. 2010. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 14(4): 1-6.
- GUEDES, C.L.B.; ADÃO, D.C.; QUESSADA, T.P.; BORSATO, D.; GALÃO, O.F.; Di MAURO, E.; PÉREZ, J.M.M. & ROCHA, J.D. 2010. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. *Quím. Nova.* 33(4):781-786.
- HARARI, Y.N. 2011. *Sapiens – Uma Breve História da Humanidade*. 29ª Edição. Editora Harper: (ISBN-10: 8525432180).
- JÖBGEN A.M.; PALM A. & MELKONIAN M. 2004. Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrata. *Hydrobiologia*, 528: 123–142.
- JOLY C.A.; SPIGOLON, J.R.; LIEBERG S.A.; SALIS S.M.; AIDAR M.P.M.; METZGER J.P.W.; ZICKEL C.S.; LOBO P.C.; SHIMABUKURU M.T.; MARQUES M.C.M. & SALINO A. 2004. Projeto Jacaré-Pepira: O desenvolvimento de um Modelo de Recomposição da Mata ciliar com Base na Florística Regional. In: RODRIGUES R.R. & LEITÃO FILHO H.F. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. São Paulo, Edusp/FAPESP. (ISBN: 978-85-86624-79-7).
- KARLSSON, T; KONRAD, O.; LUMI, M; SCHMEIER, N.P.; MARDER, M.; CASARIL, C.E.; FERNANDES, F.; ALBARI, K. & PEDROSO, G. 2014. *Manual Básico de Biogás*. Ed. Univates. Lajeado. 70p. (ISBN: 978-85-8167-073-7).
- LIMA, L.R.F. 2019. *Fitorremediação de córregos urbanos como estratégia para a restauração de rios*. Dissertação de mestrado. Programa

- de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. 94p.
- LITCHFIELD, C. 2005. Thirty Years and Counting: Bioremediation in Its Prime. *BioScience*, 55(3): 273-269.
- MA, D.; CHEN, S; LU, J. & SONG, Y. 2018. Study on the Effect of Periphyton on the Water Quality of Eutrophic Lakes. *Water Air Soil Pollut.* 229: 209.
- MARÇAL, D.A. & SILVA, C.E. 2017. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Paraíba, Teresina (PI). *Eng Sanit Ambient.* 22(4): 761-772. (doi: 10.1590/S1413-41522017148242).
- MARINHO, R.S.A. 2018. *Biorremediação para o melhoramento da qualidade da água em rios urbanos em João Pessoa – PB: efeitos na assembleia íctica*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. 105p.
- MARINHO, R.S.A.; OLIVEIRA, F.M.F. & CRISPIM, M.C. 2018. Influência de tanque de evapotranspiração na qualidade de água do lençol freático. Anais do 11º Simpósio Brasileiro de captação e manejo de água de chuva. João Pessoa, 11 a 14 de Novembro de 2018.
- MARTINETTI, T.; SHIMBO, I. & TEIXEIRA, B.A.N. 2007. Análise de alternativas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais. Anais do IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. (ISSN: 2526-687X).
- MARTINS, S.V. 2007. *Recuperação de Matas Ciliares: Aprenda Fácil*. Viçosa – MG. (ISBN: 9788583660088).
- MELLO, S.C. 2018. *Uso de macrófitas aquáticas fitorremediadoras como incremento ao tratamento de esgoto e o potencial de sua biomassa na produção de biogás*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. 112p.
- OLIVEIRA, F.M.F. 2020. *Despoluição de ambientes aquáticos a partir da biorremediação*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação Associação Plena Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba.
- OLIVEIRA, F.M.F. & CRISPIM, M.C. 2017. Water system's revitalization: interventions adopted in aquatic ecosystems in Brazil and worldwide. *Gaia Scientia*.12: 297-306.
- OLIVEIRA, T.J.F. 2014. *Técnicas para recuperação de mata ciliar do rio Paraíba do Sul, na região noroeste fluminense*. Dissertação de mestrado em Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campo dos Goytacazes – RJ.
- OLIVEIRA, G. & LEAL, J. 2017. Soluções sustentáveis para residências rurais: fossa de evapotranspiração e círculo de bananeiras. In: BARBOSA, B.C.; RESENDE, L.O.; PREZOTO, F. & GONÇALVES, E.L. (Eds.) *Tópicos em Sustentabilidade & Conservação*, pp. 71-77. Juiz de Fora, MG: Edição dos autores (ISBN: 978-85-92704-02-5).
- PAES, W. & CRISPIM, M.C. 2016. Uso de tecnologias ecológicas de saneamento básico para solução de conflitos socioambientais. *Gaia Scientia*. 8(1): 226-247.
- PÉREZ, J.M. 2015. *Biofilme e macrófitas como ferramenta de recuperação em ecossistemas aquáticos e tratamento de esgotos*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA. Universidade Federal da Paraíba. 163p.
- PINTO, L.V.A. 2003. *Caracterização física da sub-bacia do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e proposta de recuperação de suas nascentes*. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J. & JORDAN, T.H. 2006. *Para Entender a Terra*. 4ª ed., Bookman. (ISBN: 10: 8565837777).
- REIS, A. & KAGEYAMA, P.Y. 2003. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.; ANGEL, V.L. & GANDARA, F.B. (Eds.). *Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais*. Botucatu, FEPAF. (ISBN: 8598187011).

- RESENDE, R.G.; FERREIRA, S. & FERNANDES, L.F.R.O. 2018. Saneamento rural no contexto brasileiro. *Revista Agrogeoambiental*. 10(1): 129-150.
- ROJAS G.E.H. 2011. Concepto y estrategias de biorremediación. *IngUAN*, 1(1): 20-29.
- SANTOS, L.F.; OLIVEIRA, A.G. & CRISPIM, M.C. 2017. Influência da urbanização na qualidade das águas na região do Baixo Rio Paraíba – PB. MESSIAS, A.S. (Ed.). *Rios urbanos limpos : possibilidades e desafios*. FASA, vol. 1: pp. 228-236. (ISBN: 978.857.084.332-6).
- SANZ-LÁZARO, C; NAVARRETE M & MARÍN, A. 2010. Biofilm responses to marine fish farm wastes. *Environmental Pollution*, 159: 825-832.
- SEMA-SP. 2009. Cadernos da Mata Ciliar. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo. Departamento de Proteção da Biodiversidade. (disponível em: https://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/Cadernos_Mata_Ciliar_1_Preservacao_Nascentes.pdf).
- SEIXAS, J.; FOLLE, S. & MACHETTI, D. 1980. Construção e Funcionamento de Biodigestores. EMBRAPA, (disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98798/1/cirtec-04.pdf>).
- SEIXAS, M.F.L. 2010. Projeto de reflorestamento da mata ciliar do rio Bananal no município de Barra Mansa – Rio de Janeiro. Niterói: Anais do VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Universidade Federal Fluminense – UFF. (disponível em: http://www.inovarse.org/sites/default/files/T10_0244_1452.pdf).
- SETELOMBAS. 2010. <https://www.setelombas.com.br/2010/10/bacia-de-evapotranspiracao-bet/>. Acesso em: 12 de Junho de 2020.
- SILVA, A.L.; LIMA, I.R & COSTA, M.D. 2018. Implantação de biodigestores em contexto comunitário na zona rural do município de Santa Rita – PB. *Revista Práxis: saberes da extensão*. 6(12): 97-105.
- SILVA, W.T.L. 2014. *ABC da Agricultura Familiar, 37 - Saneamento básico rural*. EMBRAPA. Brasília. 74p. (ISBN: 978-85-7035-376-4).
- SNIS. 2018. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>). Acesso em: 07 de mar. 2020.
- SOUSA, C.E. 2015. *Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba.
- SOUSA, C.E & CRISPIM, M.C. 2019. Saneamento básico no Brasil e gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI JR., A. & SOBRAL, M.C. (Eds.). *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade*. pp. 747-763. 1ª. Ed. Barueri, Manole. (ISBN-13: 978-8520441152).
- SOUZA, A.H.F.F. 2020. *Avaliação da eficiência da biorremediação por perifiton em rio urbano*. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação Associação em Rede em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba.
- SZLAUER-LUKASZEWSKA A. 2007. Succession of periphyton developing on artificial substrate immersed in polysaprobic wastewater reservoir. *Polish J. of Environ. Stud.* 16: 753-762.
- VADEBONCOEUR, Y. & STEINMAN A.D. 2002. Periphyton Function in Lake Ecosystems. *The Scientific World Journal*. 29(2): 1449-1468. (doi: 10.1100/tsw.2002.294).
- WETZEL, R.G. 1983. *Periphyton of freshwater ecosystems*. The Hague. Dr. W. Junk Publishers. Developments in Hidrobiology 17. (ISBN: 978-94-009-7293-3).