



9647 ECOTECNOLOGIA DE WETLANDS CONSTRUÍDOS: A EFICIÊNCIA DAS MACRÓFITAS EMERGENTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES EM EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS

Aliciane de Souza Peixoto⁽¹⁾

Engenheira Ambiental, especialista em Gestão e Tecnologias do Saneamento pela Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/FIOCRUZ), atua na coordenação e elaboração de projetos de saneamento, especialmente em tecnologias alternativas para o tratamento de efluentes e, também, como Agente da Propriedade Industrial na elaboração de registros de patentes.

Maria José Salles⁽²⁾

Pesquisadora/Doutora em Saúde Pública, Engenheira Civil, com atuação na área de Políticas Públicas, coordenação de disciplinas nos cursos de Especialização do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental (DSSA), docente do curso de mestrado do DSSA e membro da coordenação executiva da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz (ENSP/FIOCRUZ).

Luis Eduardo Martin⁽³⁾

Mestre em Saúde Pública pela ENSP/FIOCRUZ, graduado em Direito e em Engenharia Civil. Atualmente exerce o cargo de Engenheiro na Divisão de Engenharia de Saúde Pública na Superintendência Estadual da FUNASA do Rio de Janeiro, na administração de serviços autônomos de água e esgotos e na área de engenharia civil, com ênfase em fiscalização de obras de saneamento básico e como professor nos cursos de Gestão e Tecnologias do Saneamento, promovidos pelo DSSA, da ENSP/Fiocruz.

Priscila Grimberg⁽⁴⁾

Doutoranda em Políticas Públicas, Estratégia e Desenvolvimento pelo Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE-UFRJ). Mestre em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Atua em projetos de desenvolvimento territorial, incluindo: engajamento de partes interessadas, planos de desenvolvimento sustentável, Estratégia de Valor Compartilhado e licenciamento em setores extrativos como mineração, indústria de celulose, petróleo e aço.

Endereço⁽¹⁾: Rua do Acre, 83 sala 706 – Centro – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20081-000 - Brasil - Tel: +55 (21) 3565-2990 - e-mail: annepeixoto@yahoo.com.br.

RESUMO

Os *wetlands* construídos são sistemas de engenharia projetado para otimizar processos encontrados em ambientes naturais sendo, portanto, considerado uma opção ecológica e sustentável para tratamento de efluentes. Apesar dessa tecnologia já ser difundida, existem ainda muitos conhecimentos fragmentados ou a serem descobertos para tornar ainda mais viável a sua implementação. Assim, este trabalho analisou as eficiências das experiências brasileiras sobre o tema na última década, levantando as pesquisas feitas com macrófitas emergentes no território brasileiro, utilizando como meio de suporte solo, areia e brita e descrevendo e quantificando suas principais características, finalidades e parâmetros. Para isso, determinou-se uma metodologia com estratégia de busca das publicações e critérios de seleção, a fim de dar integralidade nas diversas variáveis que constituem tal tecnologia, o que impossibilitaria um resultado com análises comparativas de projetos. Diante disso, foram selecionados 16 trabalhos que investigaram as eficiências de remoções de parâmetros em 26 *wetlands* construídos, onde foi possível verificar que a região sul possui maior número de pesquisas sobre o tema e que a maioria dos sistemas construídos é para o trato de efluentes do tipo doméstico e agrícola. Em geral, os sistemas atenderam aos padrões exigidos pela legislação, apenas em alguns casos as eficiências não foram satisfatórias.

PALAVRAS-CHAVE: *wetlands*, efluentes, macrófitas emergentes

INTRODUÇÃO

Há no mundo uma preocupação com a escassez de água. A demanda por este recurso é indispensável para diversas atividades humanas, desde o processo de produção até ao abastecimento público. Desta forma, é importante que seja mantido sua qualidade para que se possa atender a todas essas finalidades.



Dentro de uma visão de que o investimento em saneamento básico resulta em maior qualidade de vida e diminuição da taxa de mortalidade, o Brasil vem consolidando planos de saneamento nas esferas federais, estaduais, municipais e distritais, a fim de universalizar o saneamento. Entretanto, ainda são baixos os índices de cobertura e atendimento de coleta de tratamento de esgoto, 43%, contribuindo para péssima qualidade da água de nossos corpos hídricos. De acordo com dados do Atlas Esgoto da ANA (2017, p. 52), mais de 110 mil km, o correspondente a 6,2%, de trechos rios estão com a qualidade comprometida para o abastecimento humano por excesso de carga orgânica, já que metade da população brasileira não possui tratamento de esgoto considerado adequado, muitas vezes buscando soluções individuais para tratar seus dejetos.

Segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS, saneamento “é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre seu bem estar físico, mental e social”. Sob uma análise moderna, há uma associação de saneamento a sistemas constituídos de infraestrutura física (obras e equipamentos) e uma estrutura educacional, legal e institucional. Essas definições, e outras formuladas visando a conceituar o saneamento, deixam claro que saneamento constitui um conjunto de ações sobre o meio ambiente físico, portanto de controle ambiental, cujo objetivo é proteger a saúde humana (Barros, et al. 1995).

Contudo, o saneamento ambiental pode se enquadrar e ir muito além dos exemplos acima citados e abranger uma série de componentes que podem ser, diferentemente, definidos por autores diversos.

Assim, dentro dessa grande área de atuação, a Lei 11.445 de 05/01/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, em seu Art. 3o, considera saneamento básico “ao conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas”. Serviços esses considerados essenciais à população brasileira no sentido de salvaguardar a saúde pública.

A saúde pública é viabilizada através da ação do Estado, conforme o Art. 196 da Constituição Federal de 1.988:

A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação.

Dentro do contexto deste trabalho, trataremos apenas do componente esgotamento, lançamento de efluentes, ou seja, o tratamento das águas residuárias de diversas atividades antrópicas, visto que a poluição e contaminação dos mananciais propiciam a presença de elementos nocivos à saúde ambiental, colocando esse eixo do saneamento básico diretamente ligado à saúde pública.

Um dos efeitos negativos da urbanização está associado ao desenvolvimento de grandes contingentes populacionais, aglomerados em centros urbanos, produzindo dejetos em quantidades superiores àquelas que o ambiente pode assimilar.

Os efluentes líquidos industriais são gerados após o uso da água e podem conter diversos tipos de resíduos, alterando suas características químicas, físicas, biológicas e sensoriais (GIORDANO, 2004). Para Telles e Costa (2007) as impurezas podem estar presentes no corpo d’água nas formas dissolvidas ou em suspensão, possuindo 5 (cinco) tipos básicos de contaminantes naturais: sólidos em suspensão; sais dissolvidos; materiais orgânicos dissolvidos, microorganismos e gases dissolvidos (NEVES, 2015).

A indústria têxtil, por exemplo, possui um elevado nível de consumo de água, aproximadamente 150 litros de água para a produção de 1(um) quilo de tecido, com descarte de 88% do volume de efluentes resultantes dos processos de lavagem, tingimento e acabamento dos tecidos. Tais efluentes possuem um elevado potencial poluente e apresentam diversos elementos tóxicos ao corpo d’água receptor. Segundo, NAGEL-HASSEMER (2006) o uso de corante durante o processo de tingimento e lavagem, transfere ao efluente cor forte, característica visual mais notável do resíduo têxtil (NEVES, 2015). Outros estudos sobre as características de efluentes de indústrias têxteis relatam a presença de alumínio, coliformes totais, fósforo, manganês e ferro. Segundo Jordão e Pessoa (2011, p. 19):



“parâmetros” de qualidade são grandezas que indicam as características da água, ou dos esgotos, ou dos corpos d’água (...) são de natureza física, química e biológica. Não se deve confundir os termos “parâmetros” e “padrão” de qualidade (...) padrão constitui um valor do parâmetro que não deverá ser excedido. (...) os parâmetros de qualidade de interesse são aqueles relacionados às exigências legais, e às necessidades de projeto, operação e avaliação do desempenho das ETEs.

A Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – estabelece como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Os padrões da qualidade hídrica são definidos e normatizados por meio de legislações que estabelecem e padronizam os usos preponderantes da água (BRASIL, 1997). As principais regulamentações para o enquadramento são: a Portaria do Ministério da Saúde e as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), dessa forma as resoluções:

- ✓ Portaria do Ministério da Saúde nº 29.014/2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de portabilidade.
- ✓ Resolução CONAMA nº 357/2005, dispõe sobre a classificação de corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, que deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade, sendo complementada e alterada pela resolução CONAMA no 430/2011 que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes;
- ✓ Resolução CONAMA nº 396/2008, que estabelece o enquadramento das águas subterrâneas e considera que o enquadramento dos corpos de água em classes dar-se-á segundo as características hidrogeológicas dos aquíferos e os seus respectivos usos preponderantes, a serem especificamente definidos e
- ✓ Resolução CNRH nº 91/2008, que estabelece os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d’água superficiais e subterrâneos, considerando que o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, é instrumento de gestão de recursos hídricos da esfera do planejamento, que se expressa por meio do estabelecimento de metas intermediárias e final a serem alcançadas, devendo levar em conta a integração da gestão das águas superficiais e subterrâneas.

O enquadramento faz com que os padrões de qualidade estabelecidos para cada classe sejam formados pelos padrões mais restritivos dentre todos os usos contemplados naquela classe, conforme cita o Art. 9º da PNRH (ANA, 2007).

Art. 9º da Lei 9.433/97 - O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa a:

- I - assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas;
- II - diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

Portanto, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na Resolução CONAMA 430/11 ou mais restritiva.

Os efluentes provenientes das atividades antrópicas apresentam taxas de poluentes e contaminantes que precisam ser removidas, a fim de atender os padrões determinados pela legislação, antes de serem lançados em um corpo hídrico receptor.

O Brasil adota o IQA – Índice de Qualidade das Águas para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público após tratamento. A avaliação do IQA, criada nos Estados Unidos em 1970, apresenta limitações, pois são, em sua maioria, indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos, deixando de lado vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (ex: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.



Há mais de uma década, no Brasil, se iniciou as primeiras experiências com a utilização da ecotecnologia chamada *wetland* construídos (WC). Segundo Dotro (2017), os *wetlands* construídos são sistemas de engenharia projetado para otimizar processos encontrados em ambientes naturais sendo, portanto, considerado uma opção ecológica e sustentável para tratamento de efluentes. Comparado com outras tecnologias de tratamento de efluentes, os WCs têm baixos requisitos de operação e manutenção (O&M) e podem, efetivamente, tratar esgoto bruto, primário, secundário ou terciário e muitos tipos de águas residuais como esgoto doméstico, águas pluviais, efluentes de aterros sanitários, agrícolas e industriais.

Tal tecnologia vem sendo implantada e estudada como uma forma alternativa às tradicionais ETEs, sendo economicamente viável e de fácil aplicação e manutenção. A idéia é que, por meio da própria natureza, seja possível purificar a água e manter nessa região de tratamento uma área verde, como um parque, por exemplo (ALBIZZATI, 2012).

Os *wetlands* também podem ser conhecidos por nomes diversos, tais como: zona de raízes, leitos cultivados, alagados construídos e outros. São utilizados no tratamento e no pós-tratamento de efluentes, sendo compostos por vegetação, substratos e micro-organismos que atuam na remoção de poluentes e da carga orgânica.

As eficiências são diversas, variam de acordo com a sua configuração, que pode ser formatadas de acordo com o seu fluxo superficial e subsuperficial, vertical ou horizontal, além e sofrer influência das particularidades locais, tais como a carga orgânica do afluente, índices pluviométricos, solo, temperatura, entre outros.

Apesar de já ser difundida essa tecnologia dos alagados, existem ainda muitos conhecimentos fragmentados ou a serem descobertos. Essa tecnologia é utilizada em muitos países no mundo há décadas, estando o Brasil, apesar do seu potencial comprovado, muito atrás em pesquisas sobre o tema. De acordo com Silva (2007, p.7), as pesquisas vêm sendo difundidas por diversas instituições de pesquisas, entretanto sem muitas publicações e com poucos sistemas implementados. Isso causa a falta de integração entre os experimentos, ocasionam o retardado e postergam ainda mais a possibilidade de implementação desta tecnologia em políticas públicas. Felizmente os estudos e discussões sobre o tema vêm crescendo na última década, mas conforme dito, ainda de forma não integrada.

OBJETIVOS

Analisar os resultados de pesquisas sobre as potencialidades de experiências brasileiras na aplicação de *wetlands* construídos para o tratamento de águas residuárias utilizando macrófitas emergentes.

Objetivos específicos:

- ✓ Levantar trabalhos publicados no Brasil sobre o tema;
- ✓ Descrever e quantificar os elementos, características e parâmetros mais utilizados e pesquisados nos *wetlands* construídos em nosso país.
- ✓ Descrever os tipos de efluentes tratados (domésticos, agrícolas e/ou industriais), os principais parâmetros estudados e a remoção das concentrações de nutrientes e poluentes obtidas;
- ✓ Avaliar os resultados de experiências brasileiras a partir das características técnicas utilizadas.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para esta pesquisa bibliográfica utilizou-se experiências dentro do território brasileiro, datados a partir do ano de 2010. Assim, a metodologia foi dividida em 3 (três) fases: I. Estratégia de busca das publicações; II. Seleção das publicações e III. Apuração dos resultados das publicações.



ESTRATÉGIA DE BUSCA

•Correspondência entre palavras chaves e descritores

A fim de facilitar o acesso aos trabalhos sobre o tema, foi feita uma consulta no DECS — Descritores em Ciências da Saúde —, para que, através das palavras chaves, fosse possível identificar outros termos (Tabela 1). A pesquisa no DeCS (<http://decs.bvs.br/>) é fundamental na seleção dos descritores, que consiste em um vocabulário estruturado, baseado em coleções de termos, organizados para facilitar o acesso à informação. Os vocabulários são usados como uma espécie de filtro entre a linguagem utilizada pelo autor e a terminologia da área (PELLIZZON, 2004).

Tabela 1 – Correspondência entre palavras chaves e descritores.

PALAVRAS CHAVES	DESCRITORES DECS	DESCRITORES MESH
Tratamento de águas residuárias	Zonas úmidas Plantas de tratamento de águas residuárias Esgotos Tratamento Biológico Efluentes tratados Tratamento de lodos	Wetlands Wasterwater treatment Wasterwater treatment Plant Biological Filters Treated Effluents Sludge Treatment
Fitorremediação	Fitorremediação Biorremediação Degradação Biológica	Biodegradation, Environmental
Saneamento	Monitoramento Ambiental Higiene do Meio Saneamento Ambiental	Sanitation
Macrófitas	Macrófitas Flora aquática	Macrophytes

Fonte: ENSP (2017)

•Identificação das Publicações

Realizou-se um levantamento de publicações sobre o assunto em anais de eventos brasileiros sobre saneamento, tais como: 2º e 3º simpósio de Wetlands Construídos (2015 e 2017), ASSEMAE - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (<http://www.assemae.org.br/artigos>) e ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (<http://abes-dn.org.br>), onde foram identificados 29 trabalhos que compõem o tema desta pesquisa.

Posteriormente, fez-se o uso da correspondência entre as palavras chaves e alguns descritores para buscas em sites de pesquisas acadêmicas, tais como BDTD – Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (<http://bdt.d.ibict.br/vufind/>), google acadêmico (<https://scholar.google.com.br>) e scielo (<http://www.scielo.br>). Alguns trabalhos foram encontrados em 2 (duas) ou mais fontes e/ou estratégia de pesquisas. Logo, foram identificados 74 (setenta e quatro) trabalhos através dessa sistematização que somados aos 29 (vinte e nove) identificados anteriormente totalizaram 103 pesquisas sobre o tema.

MÉTODO DE SELEÇÃO DAS PUBLICAÇÕES PARA O ESTUDO

A fim de refinar a quantidade de experiências para o estudo, foi feita a leitura dos títulos, resumos e dos resultados das 103 publicações identificadas para seleção de trabalhos que mais se aproximavam do objetivo principal desta pesquisa. Após esta etapa, foram pré-selecionados 65 trabalhos.

Considerando ser ainda uma expressiva quantidade de trabalhos e com uma infinidade de variáveis que impossibilitariam uma análise comparativa a fim de atingir o objetivo em encontrar experimentos com parâmetros de projetos otimizados, adotou-se mais alguns critérios de seleção das publicações a serem estudadas e lidas na íntegra, tais como:

- ✓Experiências em escalas reais ou piloto dentro do território brasileiro;
- ✓Escritos em português;
- ✓Data de publicação a partir de 2010;



- ✓ Wetlands Construídos com espécies de macrófitas emergentes;
- ✓ Meios de suporte: solo, brita e/ou areia;
- ✓ Padrões de parâmetros analisados (aqueles exigidos pela resolução CONAMA nº 430 e/ou outros com potencial risco à saúde humana e ambiental);
- ✓ Artigos científicos, teses e dissertações, assim como trabalhos apresentados em anais nacionais e de conclusão de curso de graduação.

Por fim, foram selecionados 16 trabalhos que responderiam à pergunta principal desta pesquisa com resultados quantitativos, comparativos e significativos para integração e otimização de parâmetros de projetos.

RESULTADOS DAS PUBLICAÇÕES

Para apuração dos resultados, foram utilizadas tabelas para o armazenamento dos dados e informações colhidas nos trabalhos selecionados.

De posse desses dados e informações, verificou-se:

- ✓ Os tipos de escoamento dos wetlands, as escalas e as localidades das pesquisas;
- ✓ Quais atividades ou tipos de efluentes estão utilizando a ecotecnologia de *wetlands* construídos no Brasil;
- ✓ Quais as macrófitas mais utilizadas em pesquisas;
- ✓ Em quais etapas de tratamento são mais utilizados os *wetlands* construídos;
- ✓ A eficiência entre sistemas plantados com macrófitas e sistemas não plantados e
- ✓ A eficiência na remoção de parâmetros comparados à legislação nos diferentes sistemas.

RESULTADOS OBTIDOS

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar os resultados de pesquisas sobre experiências brasileiras na aplicação de *wetlands* construídos para o tratamento de águas residuárias utilizando macrófitas emergentes. Entretanto, tal tecnologia é constituída de infinitas variáveis que dificultam uma análise comparativa entre projetos. Por isso os resultados foram divididos e organizados de forma a atender aos objetivos específicos anteriormente estipulados.

QUANTO AO LEVANTAMENTO DOS TRABALHOS

De acordo com os critérios adotados na metodologia e atendendo aos primeiros objetivos específicos deste trabalho, foram selecionados 16 (dezesesseis) pesquisas brasileiras, sendo 12 (doze) em escala real e 4 (quatro) em escala piloto, com 26 *wetlands* construídos. Tais experimentos foram classificados e quantificados conforme seus tipos, suas localidades, parâmetros, características e finalidades. (**Tabelas 2 à 5**).

Tabela 2 – Resultado das publicações.

CÓD.	AUTOR	TÍTULO	ANO	UF	TIPO DE TRABALHO
1	ZERWES, F.V	Avaliação citogenética do tratamento com o processo UASB/biofiltro anaeróbico de fluxo subsuperficial de efluentes de propriedade rural.	2015	RS	Artigo
2	SEZERINO, P.H.	<i>Wetlands</i> construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos	2015	PR	Artigo
3	RODRIGUES, E.B.	Zona de raízes: experiência vivenciada numa escola rural no município de campos novos/sc	2015	SC	Artigo
4	PELLISSARI, C.	<i>Wetlands</i> construídos aplicados no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira	2015	SC	Artigo



5	MONTEIRO, V.R.C.	Monitoramento de <i>wetlands</i> construídos de escoamento horizontal e vertical empregados no tratamento de águas cinzas	2015	PR	Anais
6	KITAMURA, R.S.A.	Desempenho de um sistema de <i>wetlands</i> empregado para o pós-tratamento de lixiviado gerado em aterro sanitário	2015	PR	Anais
7	OLIVEIRA, C.L.B	Retenção do fósforo de águas residuárias em leitos cultivados com taboa e arroz	2015	SP	Anais
8	COSTA, D.T.	Eficiência de <i>typha domingensis</i> pers. Em flutuação na remoção e acumulação de metais oriundos de efluente doméstico	2015	RS	Anais
9	SÁNCHEZ, G.	Desempenho de fitoextração da macrófita <i>cyperus papyrus</i> em <i>wetland</i> construído vertical com fundo saturado empregado no tratamento de esgoto	2015	SC	Anais
10	SILVA, E.M.	<i>Wetland</i> construído de fluxo subsuperficial para tratamento de resíduos líquidos de bovinocultura de leite	2014	MG	Anais
11	PELISSARI, C.	<i>Wetlands</i> construídos de fluxo vertical empregado no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira	2013	SC	Artigo
12	JESUS, F.,L.F.	Desempenho e influência dos capins <i>tifton 85</i> (<i>cynodon</i> sp.) E vetiver (<i>chrysopogon zinzanioides</i>) no tratamento de esgoto sanitários em sistemas alagados construídos	2016	MG	Dissertação
13	SIQUEIRA, E.R.,	Tratamento dos resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído	2014	GO	Dissertação
14	FACHINNI, F.	Avaiação sazonal do efluente do sistema de pós-tratamento com <i>wetland</i> construído em vinícola da serra gaúcha	2015	RS	Monografia
15	GIRARDELLO, T.	Avaliação da eficiência do capim vetiver na remoção de nutrientes em lagoas de tratamento de efluente industrial	2015	SC	Dissertação
16	MELLO, D.	Comparativo da eficiência de tratamento de esgoto sanitário bruto e pós- reator uasb, em sistema piloto de <i>wetland</i> construído com <i>pontederia parviflora alexander</i>	2013	PR	Monografia

A Figura 1 mostra os tipos de trabalhos selecionados, em sua maioria, trabalhos discutidos e apresentados em anais de congressos e/ou eventos sobre o tema.

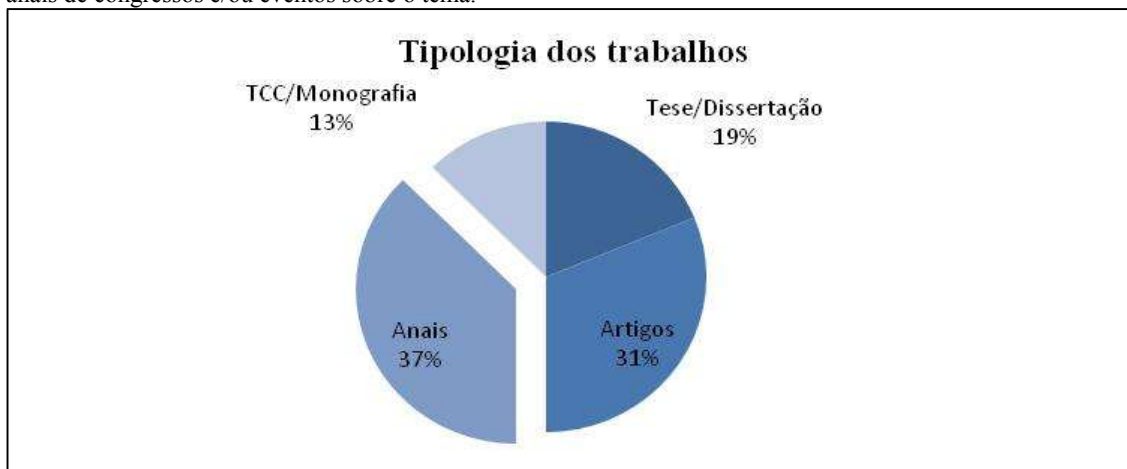


Figura 1 - Tipos dos trabalhos selecionados.



A Figura 2 demonstra os Estados com pesquisas sobre *wetlands* construídos. Destaque à região sul do país, onde 75% das pesquisas selecionadas estão localizadas.

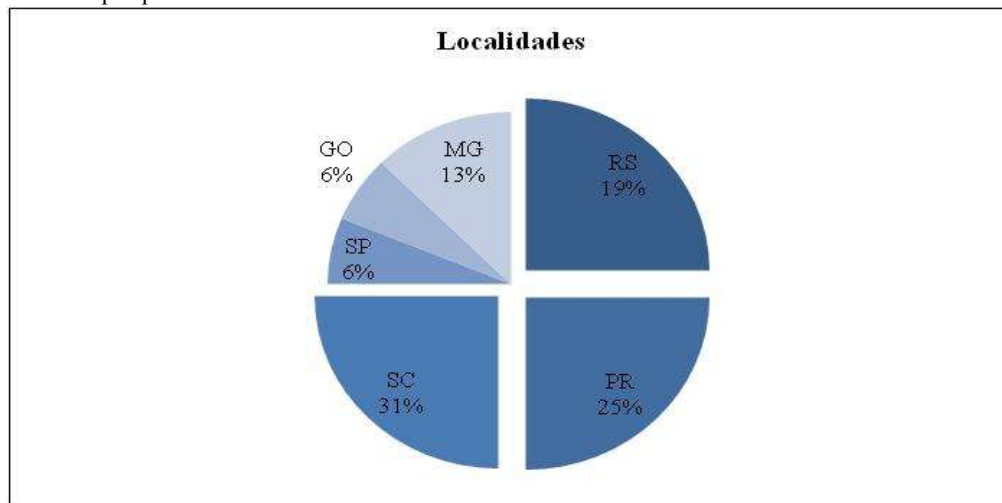


Figura 2 – Localização dos trabalhos selecionados.

QUANTO ÀS DESCRIÇÕES DOS SISTEMAS INSTALADOS

Tabela 3 – Tabela de parâmetros e características físicas das unidades de WCs.

CÓD.	QUANT. WC	ESCALA	ETAPA DO TRATAMENTO	EFLUENTE	FLUXO	TDH (DIAS)
1	2	real	terciário em série	doméstico (águas cinzas)	WCFH	10,17
2	2	real	secundário	doméstico	WCFH	-
3	1	real	terciário	doméstico (escolar)	WCFH	13
4	2	real	secundário	Bovinocultura Leiteira	WCFH e WCFV	-
5	2	real	primário	Doméstico (águas cinzas)	WCFH e WCFV	-
6	1	real	primário, secundário e terciário	Lixiviado de aterro sanitário	N/I	31 94 35
7	3	piloto	secundário	doméstico	WCFH	5
8	1	real	primário	doméstico	WCFS	-
9	1	real	secundário	doméstico	WCFVd-FS	30
10	1	real	secundário	Bovinocultura Leiteira	WCFH	3,6
11	1	real	secundário	Bovinocultura Leiteira	WCFV	2
12	3	piloto	primário	Doméstico (sanitário)	WCFH	0,6-0,9
13	2	piloto	primário	Resíduos de Fossas e Tanques Sépticos (RFTS)	WCFV	6
14	1	real	terciário	Vinícola	WCFH	-
15	1	real	terciário	Laticínio	WCFS	1,67
16	2	piloto	primário e secundário	Doméstico (sanitário)	N/I	-



OBS. Alguns autores compararam mais de 1 sistema em um mesmo experimento, como: Filtros Plantados e não Plantados; Etapas de tratamento e fluxos combinados.

Legenda: WCFH – Fluxo Horizontal; WCFS – Fluxo Superficial; WCFV – Fluxo Vertical; WCFVd-FS – Fluxo Vertical descendente com Fundo Saturado e N/I – não identificado.

•Parâmetros e características

O Figura 3 destaca que mais da metade dos trabalhos selecionados, são de sistemas utilizados para o tratamento de efluentes domésticos, sendo 13% de trabalhos apenas águas cinzas, 19% apenas sanitários e 25% para ambos. As pesquisas também retratam efluentes da bovinocultura leiteira, sendo abordados em 43% dos trabalhos.

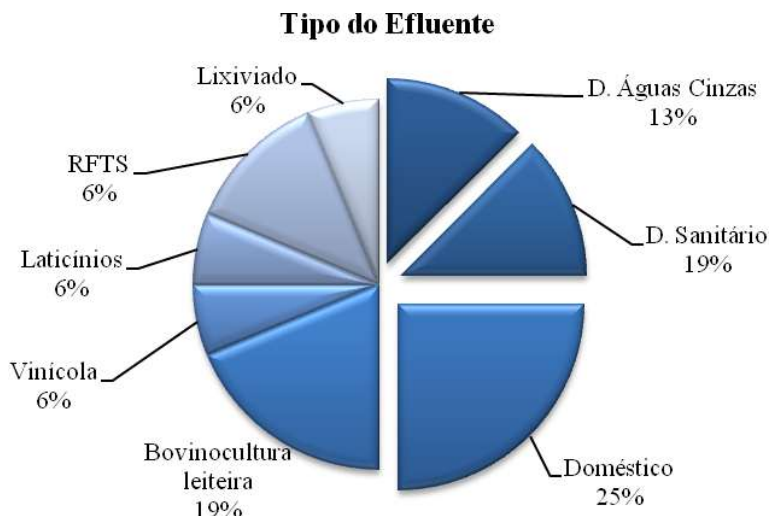


Figura 3 –Tipos de efluentes tratados com WCs.

Vale ressaltar que os resultados demonstrados não descrevem características da maioria dos trabalhos sobre *wetlands* construídos no território brasileiro, mas apenas daqueles que possuem semelhança de parâmetros de projeto, tais como o uso do material filtrante, o uso de macrófitas do tipo emergente e/ou a eficiência na remoção de parâmetros exigidos pela legislação, conforme critérios descritos na metodologia desta pesquisa. Nos 16 trabalhos selecionados foram encontrados 26 sistemas construídos com diversas finalidades, elementos, parâmetros e características.

Em relação ao tipo de fluxo mais utilizados em alagados construídos, utilizando como substratos solo, areia e brita, destacam-se os *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial horizontal (WCFH) com 58% (Figura 4).

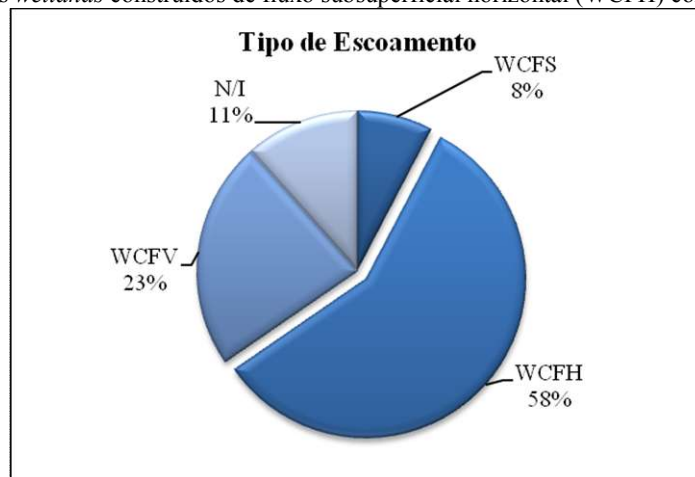


Figura 4 –Tipos de escoamentos utilizados no WCs.



No que diz respeito ao tempo de detenção hidráulica (TDH), Tabela 3, os autores utilizaram tempos diversificados para o tratamento dos efluentes, a seguir:

- ✓ Domésticos - os autores utilizaram TDHs que variaram entre 0,6 à 30 dias, sendo o primeiro em escala piloto na Área Experimental de Tratamento de Resíduos Urbanos da Universidade de Viçosa e o último em escala real localizado em um condomínio residencial (SÁNCHEZ, 2015 e JESUS, 2016);
- ✓ RFTS – 6 dias (SIQUEIRA, 2014);
- ✓ Bovinocultura e Leiteira – 2 à 3,6 dias (PELLISSARI, 2013 e SILVA, 2015);
- ✓ Lixiviado de aterro sanitário – Total de 150 dias (KITAMURA, 2015);
- ✓ Laticínios – 1,67 dias, sendo etapa de tratamento terciário em série e de fluxo superficial (GIRARDELLO, 2015).

•Finalidade

Conforme demonstrado na Figura 5, dos 26 *wetlands* instalados, a maioria (79%) foram para fins de tratamentos primários (43%) e secundários (36%), o restante (21%) serviu como tratamento terciário, com objetivo de polimento.



Figura 5 – Etapas de Tratamento dos WCs

Na Tabela 4 constam os resultados apurados nos estudos comparativos quanto às etapas de tratamento.

Tabela 4 – Tabela de estudos comparativos das eficiências entre as etapas de tratamento.

AUTOR	SISTEMA	°C	ST	DBO	DQO	NTK	N-NH4+%	P _T
ZERWES, F.V	terciário em série	-		63,73%	73,52%	58,70%		28,81%
		-		95,06%	83,39%	94,31%		54,76%
MELLO, D.	primário	18	89,8%		85,6%	97,01%	100,0%	100%
		28	87,0%		23,5%	97,88%	97,1%	98%
	secundário	18	66,7%		84,0%	89,18%	62,4%	100%
		28	93,0%		0,4%	87,50%	-	99%

No estudo de ZERWES (2015), com filtros construídos em série, o segundo filtro do tratamento terciário obteve maior percentual de eficiência para todos os parâmetros analisados (DBO, DQO, NTK e Pt) do que o primeiro filtro. Entretanto, se for contabilizar a quantidade de carga removida, o primeiro filtro retirou mais carga que o segundo, exceto para fósforo, que teve o maior número de carga retirada no segundo filtro.

Para MELLO (2013), com filtros construídos em paralelo, as eficiências foram bastante diversificadas. O sistema primário, no geral, se mostrou mais eficiente na remoção de ST, DQO e NTK que o secundário, segundo a autora isso prova que os *wetlands* funcionam muito bem como tratamento primário. Entretanto é preciso verificar o prazo de colmatação, pois tal estudo só foi monitoramento por apenas 4 meses.



A Tabela 5 descreve as espécies de macrófitas utilizadas em cada experimento e o meio de suporte o qual foram fixadas.

Tabela 5 – Tabela de macrófitas utilizadas nas pesquisas.

CÓD.	MEIO FILTRANTE	MACRÓFITA
1	Brita 4 e Brita 1	<i>Alternanthera philoxeroides</i>
2	Areia e Brita	<i>Cyperus Papyrus</i>
3	Areia grossa e Brita 3	<i>Typha sp</i>
4	Areia grossa	<i>Typha domingensis Pers</i>
5	Areia grossa	<i>Cyperus Papyrus</i>
6	N/I	<i>Echinochloa polystachya; Alternanthera philoxeroides; Eichhornia crassipes; Hydrocotyle bonariensis; Ipomea cairica; Echinochloa crus-pavonis; Typha domingensis; Cyperus difformis; N/I</i>
7	Brita 2	<i>Typha</i> <i>Arroz IAC 103</i>
8	N/I	<i>Typha domingensis Pers</i>
9	Brita e Areia Grossa	<i>Cyperus Papyrus</i>
10	Brita 2	<i>Cyperus Papyrus Nanus</i>
11	Brita e Areia grossa	<i>Typha domingensis Pers</i>
12	brita gnáissica 0	<i>Chrysopogon zizanioides</i> <i>Cynodon sp.</i>
13	areia média; brita 1 e brita 0	<i>Chrysopogon zizanioides</i>
14	brita rachão; brita 4; brita 3 e areia grossa	<i>Typha domingensis Pers</i>
15	N/I	<i>Chrysopogon zizanioides</i>
16	Areia e Brita	<i>Pontederia Parviflora Alexander</i>

•Elemento Macrófitas

A *Typha sp*, mais conhecida como tabôa, é o gênero mais utilizado entre as pesquisas selecionadas, foi utilizada por 7 autores distintos para tratar efluentes com características diversas como lixiviados de aterros, bovinocultura leiteira e domésticos. Em seguida estão o capim vetiver, o papiro e o mini papiro. Essas 4 espécies estão em 15 dos 26 sistemas construídos (Tabela 6).

Tabela 6 – Frequência das macrófitas nas pesquisas selecionadas.

NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	FREQUÊNCIA
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Erva de jacaré	1
<i>Arroz IAC 103</i>	arroz	1
<i>Chrysopogon zizanioides</i>	Capim Vetiver	3
<i>Cynodon sp.</i>	Capim Tifton 85	1
<i>Cyperus difformis</i>	negrinha, junquilha	1
<i>Cyperus Papyrus</i>	Papiro	3
<i>Cyperus Papyrus Nanus</i>	mini papiro	2
<i>Echinochloa crus-pavonis</i>	Capim jáú, capituva, canevão	1
<i>Echinochloa polystachya</i>	capim angola	1
<i>Eichhornia crassipes</i>	aguapé	1
<i>Hydrocotyle bonariensis</i>	Salsa-da-praia, Capitão, Chapéu-de-sapo, Erva-do-capitão	1
<i>Hymenachne grumosa</i>	carnivão	1
<i>Ipomea cairica</i>	Ipoméia, Campainha, Corda-de-viola, Corriola,	1



	Glória-da-manhã, Jetirana, Jitirana	
N/I	N/I	1
<i>Pontederia Parviflora Alexander</i>	camalote; orelha de veado e lanceiro	1
<i>Typha sp</i>	Taboa	7
	Toal	27*

*A diferença no somatório se dá, pois algumas espécies foram utilizadas em consórcio no mesmo sistema.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

QUANTO À AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS EXPERIÊNCIAS PELAS MACRÓFITAS EMERGENTES.

Para avaliar a eficiência das macrófitas emergentes, as quais necessitam de um meio de suporte para sua fixação no leito, escolheram-se pesquisas que analisaram a remoção de parâmetros dos efluentes entre filtros vegetados e controle (não vegetados) em *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial horizontal e vertical ou em flutuação nos de fluxo superficial. Nas tabelas 7, 8 e 9 constam os resultados apurados em 3 (três) das 5 (cinco) pesquisas com esses formatos.

Tabela 7 – Tabela de estudos comparativos entre filtros plantados e de controle (não plantados).

AUTOR	SISTEMA	ST %	SS %	DBO %	DQO %	NTK %	N-NH4+ %	P _T %	ÓLEOS E GRAXAS (%)
OLIVEIRA, C.L.B.	typha	-	-	-	-	-	-	79	-
	arroz	-	-	-	-	-	-	20	-
	controle	-	-	-	-	-	-	5	-
JESUS, F.L.F.	vetiver	92,1	-	85,0	85	37,6	-	40,9	-
	tifton 85	90,4	-	84,0	84	37,2	-	36,1	-
	controle	88,9	-	82,0	84	34,1	-	37,8	-
SIQUEIRA, E.R.,	vetiver	65,3	98,7	86,8	-	-	35,87	38,10	82,62
	controle	51,5	97,2	-65,94	-	-	39,44	-25,66	63,97

•Fixadas em meio de suporte

Oliveira (2015), Jesus (2016) e Siqueira (2014) comprovaram que as macrófitas são elementos fundamentais na constituição dos *wetlands* construídos subsuperficial, com algumas ressalvas. As 3 pesquisas utilizando *Typha*, Arroz IAC 103, *Chrysopogon zizanioides* e *Cynodon sp.* obtiveram resultados positivos para remoção DBO, SS, DQO, óleos e graxas e coliformes totais e E-coli.

Remoção de Fósforo (P)

No trabalho de Oliveira (2014) a média de remoção de fósforo foi de 79% no filtro plantado com *Typha*, 20% com Arroz IAC 103 e o 5% no controle, deixando comprovada a alta capacidade de adsorção deste atributo pela primeira planta em relação à segunda. A remoção de fósforo se dá por adsorção, sedimentação e precipitação, logo entende-se que a diferença na eficiência da remoção deste parâmetro se dá através da capacidade de adsorver da *Typha*.

No trabalho de Jesus (2016) o filtro plantado com vetiver foi capaz de maior retenção de P (40,9%) que os outros filtros, salientando ainda, que o filtro plantado com *tifton 85* teve menor eficiência que o filtro controle, 36,1% e 37,8%, respectivamente.

No experimento de Siqueira (2014), houve incremento deste parâmetro no filtro de controle em 25,66%, enquanto no filtro com vetiver houve redução não tão significativa em 38,10%.



Remoção de Nitrogênio (N)

Siqueira (2014) também utilizou o capim vetiver para o estudo comparativo das eficiências no tratamento de efluentes de RFTSSs, onde obteve melhores resultados nos filtros plantados, exceto para nitrogênio amoniacal. A remoção de NH_4^+ não foi satisfatória, tendo inclusive um melhor resultado para o filtro de controle (39,4%). Para a Autora, a baixa remoção de NH_4^+ pode ter sido causada pelo tipo de escoamento do sistema (WCFV) e seria necessário analisar todos os outros elementos do ciclo do nitrogênio, não apenas o amoniacal de forma isolada.

Entretanto, o sistema também não foi bem sucedido na remoção de fósforo o que pode indicar uma saturação do meio filtrante. Ressaltando ainda, que PELLISSARI (2015) e MONTEIRO (2015), ao compararem eficiência entre fluxos, obtiveram melhores resultados na remoção de NH_4^+ em fluxos verticais (Tabela 7).

Tabela 8 – Tabela de estudos comparativos entre fluxos.

AUTOR	FLUXO	SS	DBO	DQO	NTK	N-NH ₄ ⁺	NO ₂	NO ₃ ⁻	P-PO ₄	OD
PELLISSARI, C.	WCFH	81%	62%	74%	51%	59%	35%	42%	35%	27%
	WCFV	68%	49%	68%	17%	80%	10%	-615%	10%	-209%
MONTEIRO , V.R.C.	WCFH			82,7%		55,8%	-	-	73,6%	
	WCFV			88,0%		97,5%	-	1400,0 %	75,4%	

Remoção de Coliformes

O filtro com vetiver se mostrou ainda mais eficiente na remoção de coliformes totais (99,09%) e E-coli (99,43%) do que o filtro controle, 96,45% e 99,16% respectivamente.

Tabela 9 – Tabela de estudos comparativos entre filtros plantados e de controle (Coliformes)

Autor	Sistema	Coliformes totais	E-COLI
SIQUEIRA, E.R.	vetiver	99,09%	99,43%
	controle	96,45%	99,16%

•Em flutuação

Os autores COSTA (2015) e GIRARDELLO (2015), também analisaram a *Typha* e o *Chrysopogon zizanioides*, tabôa e capim vetiver respectivamente, em lagoas de tratamento de efluentes. O primeiro autor analisou o acúmulo de metais pela tabôa no tratamento primário de esgoto doméstico, enquanto o segundo, o tratamento das águas residuárias de uma indústria de laticínios. De acordo com suas análises obtiveram os seguintes resultados:

- ✓ A tabôa apresentou valores de eficiência acima de 70% para remoção de níquel (Ni) e chumbo (Pb) e
- ✓ O vertiver obteve uma melhora no pH, atendendo aos padrões exigidos pela legislação. Houve êxito, também para DQO (16%), NTK (20,7%) e P total (8,7%), entretanto, a autora ressalta que os resultados estão ligados ao grau de desenvolvimento das mudas. Com o capim vetiver bem desenvolvido, pode-se então chegar à conclusões mais precisas (GIRARDELLO, 2015).

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que a *Typha*, além de ser o gênero mais utilizado foi a que teve melhor retenção do atributo fósforo e dos metais como Pb e Ni nos estudos feitos em SP, MG e GO. Concluindo ainda ser este um vegetal com boa adaptabilidade, como já confirmados em alguns estudos.



O capim vetiver obteve eficiência significativa na remoção de fósforo em tratamentos primários no WCFH. Entretanto, seu percentual de remoção foi reduzido no WCFS utilizado como tratamento terciário. Contudo, se for levado em consideração os estudos quanto às etapas do tratamento, percebe-se que os tratamentos anteriores foram mais eficientes que os posteriores.

Conclui-se, também, que o tratamento em série se mostra bastante eficaz, pois somatiza as eficiências, não sobrecarregando o sistema. Além de poder intercalar o uso para manutenção.

É considerado importante o desenvolvimento de mais pesquisas comparativas entre macrófitas emergentes utilizando filtros plantados e de controle ou com o uso de flutuadores, para que se possa saber a real eficiência deste elemento na eficiência de remoção de parâmetros. Salientando, ainda, a necessidade do uso de macrófitas emergentes nativas nos experimentos para o tratamento de efluentes líquidos. A introdução de espécies exóticas ou invasoras, podem ocasionar riscos à existência de plantas nativas e à fauna.

Alguns autores destacam a importância de monitoramento do desenvolvimento das plantas, visto que a eficiência na retenção de elementos pode ser incrementada com as podas periódicas. Assim, nos estudos sobre a capacidade extratora das plantas, recomenda-se analisar a capacidade de retenção dos vegetais nos períodos de crescimento, pré e pós-podas. Como já é feito em alguns estudos, levando em consideração, ainda, o tempo que a planta leva até a sua saturação.

As pesquisas em curto período de tempo são importantes para que só possa ter uma noção da capacidade do conjunto de elementos, porém, para aplicação em escala real e para que se possa chegar a um projeto ótimo, elas se tornam inconclusivas. É necessário que tais experimentos se estendam por períodos maiores, para que seja possível a análise comportamental do sistema em temperaturas altas e baixas e em períodos secos e chuvosos e ainda, o tempo médio de colmatação dos WCs conforme o dimensionamento, o fluxo, o tipo de efluente tratado e todas outras variáveis existentes.

Silva (2007) destacou a vagarosidade nos avanços das pesquisas e a falta de publicações e unidades implementadas. Nesta última década, ao contrário, essas discussões têm aumentando em nível nacional, haja vista o número de anais de eventos e artigos em revistas, entretanto, existe a urgência de que tal assunto seja tratado em outros níveis, tais como estaduais, municipais e outras localidades. Pois, apesar desse incremento de publicações e unidades implementadas, percebe-se, ainda, a necessidade de maior integração, disseminação e discussão sobre o tema, para que sejam possíveis maiores avanços no desenvolvimento da ecotecnologia em prol da otimização de parâmetros de projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil, Brasília, 124 p , 2007.
2. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas, p. 52, 2017.
3. ALBIZZATI, EC. *et al.* Comparativo entre estações de tratamento de efluentes convencionais e jardins filtrantes, BE_310 Ciências do Ambiente, disponível em: <http://www.ib.unicamp.br/dep_biologia_animal/BE310> UNICAMP, 2012.
4. BARROS, R. T. D. V. , et al. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, v. 2, 221 p., 1995.
5. BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, Política Nacional de Saneamento Básico, 2007.
6. BRASIL. Lei nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm. > Acesso em: 17 jan. 2018.
7. BRASIL, Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014, Brasília, SNSA/MCIDADES, 212 p. : il, 2016.



8. CONAMA. Resolução no. 357, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 89. 2011. (DOU nº 053, de 18/03/2005).
9. CONAMA. Resolução no. 396, de 03 de abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 89, 2011. (DOU nº 66, de 07/04/2008).
10. CONAMA. Resolução no. 430, de 13 de maio de 2011: dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no. 357 de 17 de março de 2005, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 89. 2011. (DOU nº 92, de 16/05/2011).
11. CNRH. Resolução no. 91, de 05 de novembro de 2008: dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, (DOU de 0/02/2009).
12. DOTRO, G. LANGERGRABER, G. MOLLE, P. NIVALA, J. PUIGAGUT, J. STEIN, O. VON SPERLING, M. *Biological Wastewater Treatment Series*. IWA Publishing, v.7, 2017.
13. ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA – ENSP. Avaliação Final da disciplina BISA - Busca de Informação em Saúde Ambiental do Curso de Gestão e Tecnologias do Saneamento, FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 2017.
14. GIORDANO, Gandhi. Tratamento e controle de efluentes industriais, Revista ABES, v. 4, n. 76, 2004.
15. JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos, 6. Ed, Rio de Janeiro, ABES, 2011.
16. NEVES, Flávia Maria Chami et al. Avaliação da qualidade da água do rio Bacacheri, Curitiba, PR, Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 8, n. 4, p. 81-98, 2015. ISSN 2316-2856. Disponível em: <<https://www.uninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/425/265>>, Acesso em: 19 jan. 2018.
17. PELLIZZON, R. D. F. D. Pesquisa na área da saúde. Base de Dados DeCS (Descritores em Ciências da Saúde). Acta Cirúrgica Brasileira, v. 19, n. 2, p. 153, 2004. Disponível em: [<http://www.scielo.br/pdf/acb/v19n2/v19n2a13.pdf>]; acesso em 05 de dezembro de 2017.
18. SILVA, S.C., *Wetlands* construídos de fluxo vertical de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos, Tese Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD-003/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. UNB, Brasília, DF, 205 p, 2007.