

DANILO MARTINS DE MEDEIROS

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE *WETLANDS*  
CONSTRUÍDOS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO EM  
LOTEAMENTOS, CONDOMÍNIOS E COMUNIDADES  
ISOLADAS**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau  
de Mestre em Engenharia  
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Pablo H.  
Sezerino

Coorientadora: Profa. Dra. Maria  
Elisa Magri

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor  
Maiores informações em:  
<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

DANILO MARTINS DE MEDEIROS

**ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE WETLANDS  
CONSTRUÍDOS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO EM  
LOTEAMENTOS, CONDOMÍNIOS E COMUNIDADES  
ISOLADAS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de março de 2017.

---

Prof.<sup>a</sup> Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.<sup>a</sup>  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.<sup>a</sup> Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Claudia Lavínia Martins, Dr.<sup>a</sup>  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e familiares que sempre me apoiaram.

A minha namorada a doutoranda Janaína Menezes Perez que me apoiou e auxiliou durante o curso de mestrado.

Ao professor e orientador Pablo Heleno Sezerino que me apoiou e orientou nos momentos de dificuldades e de dúvidas.

A professora e co-orientadora Maria Elisa Magri por colaborar com a realização do trabalho.

Aos alunos de mestrado e doutorado do GESAD.

A todos meus amigos.



## RESUMO

Em virtude do baixo índice de atendimento por sistemas adequados de tratamento de esgoto sanitário nos municípios brasileiros, destaca-se a necessidade em se identificar a aplicabilidade da ecotecnologia dos *wetlands* construídos (WC) como unidade de tratamento de esgoto sanitário. Estes WC vêm sendo empregados no tratamento de esgoto de diferentes origens em países desenvolvidos a mais de três décadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a potencialidade de utilização de *wetlands* construídos no Brasil como alternativa tecnológica de tratamento de esgoto empregada sob o contexto da descentralização, do licenciamento ambiental, do parcelamento do solo urbano e ocupação do solo rural. Para consecução destes objetivos realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre estudos publicados relacionados aos *wetlands* em escala real e piloto, aplicados no tratamento de esgoto sanitário em diferentes países e no Brasil. Foi elaborado um banco de dados sobre os vários modelos de WC, com dados de projeto, operacionais e de desempenho, bem como com resultados de qualidade afluente e efluente dos WC avaliados. A análise de desempenho demonstrou que os WC avaliados atendem aos critérios ambientais como eficiência de tratamento e padrões para lançamento de efluentes sanitários, bem como possuem grande potencial para serem empregados como área verde urbana em loteamentos e condomínios. Foram propostos fluxogramas orientadores para auxiliar na tomada de decisão relativo ao processo de licenciamento ambiental de WC como unidade de tratamento de esgotos em loteamentos, condomínios, comunidades rurais e isoladas, bem como na identificação do atendimento às leis e normas aplicáveis.

**Palavras-chave:** tratamento descentralizado de esgoto, *wetlands* construídos, loteamentos e condomínios, comunidades rurais e isoladas, licenciamento ambiental.





## ABSTRACT

Due to the low rate of attendance for adequate sanitary sewage treatment systems in Brazilian municipalities, it is necessary to identify the applicability of constructed *wetland* (CW) as a sanitary sewage treatment unit. These WC have been used to treat sewage from different origins in developed countries for more than three decades. The objective of this work was to evaluate the potential use of constructed wetlands in Brazil as a technological alternative for the treatment of sewage used under the context of decentralization, environmental licensing, urban land parceling and rural land occupation. In order to achieve these objectives, a bibliographic research was carried out on published studies related to wetlands in real and experimental pilot scale, applied in the treatment of sanitary sewage in different countries and in Brazil. A database was prepared on the various CW models, with design, operational and performance data, as well as quality results of the affluent and the effluent from the evaluated CW. The performance analysis showed that CW meet environmental criteria such as treatment efficiency and standards for sanitary effluent discharge, as well as having great potential to be used as an urban green area in allotment and condominiums. Flow charts were proposed to assist in the decision making regarding the licensing of CW as a sewage treatment unit in allotment, condominiums, rural and isolated communities, as well as in the identification of compliance with the laws and norms applicable to environmental licensing.

**Keywords:** decentralized treatment of sewage, constructed *wetlands*, allotment and condominiums, rural and isolated communities, environmental licensing.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação das diferentes abordagens dos sistemas de esgoto sanitário. ....	25
Figura 2. Esquema representativo do funcionamento geral de um tanque séptico. ....	27
Figura 3. Esquema representativo do funcionamento geral de RAC. ....	28
Figura 4. Curva granulométrica da areia com características desejadas para o emprego em WC. ....	32
Figura 5. <i>Wetland</i> construído horizontal (WCH). ....	35
Figura 6. Bactérias ao longo de um perfil longitudinal de WCH. ....	36
Figura 7. Esquema representando o WCV. ....	38
Figura 8. Esquema representando o WCV-FS. ....	40
Figura 9. Sistema típico francês de <i>wetland</i> construído (WCV-SF) ....	41
Figura 10. Dimensões e características geotécnicas do meio filtrante para WCV-SF. ....	42
Figura 11. Exemplos de WCSH. ....	43
Figura 12. <i>Layout</i> geral do sistema de WCV. ....	46
Figura 13. Alternativas de Tratamento de esgoto sanitário oriundos de tanque séptico. ....	51
Figura 14. ETE composta por RAC seguido de WCV e tanque de desinfecção implantada em condomínio residencial no município de Palhoça – SC. ....	56
Figura 15. Alternativas de tratamento de esgoto sanitário nos domicílios rurais. ....	57
Figura 16. Alternativas de tratamento de esgotamento sanitário em municípios rurais por região geográfica. ....	58
Figura 17. Vista do RAC seguido de WCV implantado em sistema municipal. ....	59
Figura 18. Vista do <i>wetland</i> com impermeabilização e plantado com <i>Typha</i> sp. ....	60
Figura 19. Vista de WCH implantado em Campos Novos/SC. ....	60
Figura 20. Fluxograma utilizado para compilação e ordenamento das informações. ....	69
Figura 21. Desempenho médio de 44 WCH empregados como tratamento secundário de esgoto doméstico e sanitário em diferentes países. ....	73
Figura 22. Evolução das eficiências de tratamento em função dos carregamentos médios aplicados nas unidades de WCH. ....	74
Figura 23. Comportamento dos carregamentos removidos nas unidades de WCH em função dos carregamentos aplicados. ....	76
Figura 24. Plantas mais utilizada nos WCH avaliados. ....	77
Figura 25. Composição do meio filtrante dos WCH avaliados. ....	77
Figura 26. Intervalo de vazão dos WCH avaliados. ....	78
Figura 27. Desempenho médio de 45 WCV empregados como tratamento secundário de esgoto doméstico e sanitário em diferentes países. ....	79
Figura 28. Evolução das eficiências de tratamento em função dos carregamentos médios aplicados nas unidades de WCV. ....	80

Figura 29. Comportamento dos carregamentos removidos nas unidades de WCV em função dos carregamentos aplicados.....	83
Figura 30. Plantas mais utilizadas em WCV nos diversos países avaliados .....	83
Figura 31. Composição do meio filtrante empregados nos WCV avaliados.....	84
Figura 32. Desempenho médio de 30 unidades WCSH empregados como tratamento secundário e terciário de esgoto doméstico e sanitário em diferentes países. ....	84
Figura 33. Evolução das eficiências de tratamento em função dos carregamentos médios aplicados nas unidades de WCSH. ....	86
Figura 34. Comportamento dos carregamentos removidos nas unidades de WCSH em função dos carregamentos aplicados. ....	87
Figura 35. Plantas mais utilizada em WCSH nos diversos países avaliados. ....	88
Figura 36. Composição dos meios filtrantes empregados nos WCSH avaliados. ....	88
Figura 37. Layout e detalhes construtivos do WCV implantado em indústria de embalagens. ....	91
Figura 38. Layout e detalhes construtivos do WCV-FS implantado em condomínio de terrenos. ....	92
Figura 39. Número de documentos publicados na Alemanha, França e Dinamarca relacionados aos <i>wetlands</i> construídos como unidades de tratamento de efluentes e correlatos. ....	95
Figura 40. Arranjo tecnológico constituído por RAC e WCV com sistema estendido para precipitação química de fósforo no tanque de sedimentação. ...	100
Figura 41. Recomendações de dimensões e formas de alimentação para utilização de WCV sob um equivalente populacional de até 30 p.e. ....	101
Figura 42. Matriz de decisão para utilização da desinfecção por cloro. ....	106
Figura 43. Fluxograma para orientar a escolha da ecotecnologia de acordo com os objetivos e atividades pretendidos.....	108
Figura 44. Fluxograma com arranjos tecnológicos empregando WC no tratamento de nível primário, secundário e terciário de esgoto doméstico e sanitário. WCSH e WCV-SF são utilizados como tratamento de nível primário e secundário. Fonte: O autor.....	109
Figura 45. Fluxograma para orientar a aprovação do arranjo tecnológico composto por WC pelos órgãos ambientais no Estado de Santa Catarina, de acordo com o corpo receptor dos efluentes tratados. ....	111
Figura 46. WCSH utilizado em empreendimento turístico em Koh Phi Phi ilha perto da Tailândia. ....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração efluente e eficiência de remoção de DBO em sistemas anaeróbicos aplicados no tratamento de esgoto sanitário.....	29
Tabela 2. Processos de remoção de poluentes nos WC.....	31
Tabela 3. Exemplos de distribuição granulométrica recomendados por normas internacionais e por publicações. Adaptado de Wallace e Knight (2006) e Kadlec e Wallace (2009).....	33
Tabela 4. Superfícies específicas necessárias em m <sup>2</sup> /hab em função do número de habitantes equivalentes. ....	49
Tabela 5. Resolução CONSEMA n. 13/2012: lista de atividades potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente. ....	62
Tabela 6. Faixas prováveis de remoção de poluentes considerado em conjuntos com tanque séptico (%). ....	63
Tabela 7. Padrões de lançamento de efluentes, enquadramento dos corpos receptores e proposta do CONSEMA em metas progressivas para ETE com $Q \leq 5 \text{ L.s}^{-1}$ .....	65
Tabela 8. Padrões de lançamento de efluentes sanitários, frequência de monitoramento, média anual até 2020, conforme proposta do CONSEMA. ....	66
Tabela 9. Exemplo da matriz das publicações avaliadas.....	68
Tabela 10. Desempenho dos sistemas 1 e 2 .....	92
Tabela 11. Critérios de projetos para WCV recomendados para empreendimentos turísticos na União Europeia.....	96
Tabela 12. WCV empregados como normativa dinamarquesa. ....	99
Tabela 13. Desempenho do arranjo tecnológico avaliado.....	100
Tabela 14. Intervalo de concentração do efluente tratado ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) pela média das concentrações dos efluentes tratados nos WC avaliados ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).....	114
Tabela 15. Intervalo dos carregamentos aplicados pelos carregamentos removidos nos WC avaliados .....	115



**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
**CONSEMA** – Conselho Estadual do Meio Ambiente  
**d<sub>10</sub>** – Diâmetro efetivo  
**d<sub>60</sub>** – Diâmetro a 60%  
**EAS** – Estudo Ambiental Simplificado  
**EIA-RIMA** – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente  
**ETE** – Estação de Tratamento de Esgotos  
**FATMA** – Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina  
**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**p.e.** – Pessoa equivalente  
**PNAD** – Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios  
**RAC** – Reator Anaeróbio Compartimentado  
**SBR** – Sequential Batch Reactor  
**SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
**TDH** – Tempo de Detenção Hidráulica  
**TH** – Taxa Hidráulica  
**TI** – Tanque Imhoff  
**TS** – Tanque Séptico  
**U** – Coeficiente de Uniformidade  
**UASB** – Upflow anaerobic sludge blanket  
**UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina  
**WC** – *Wetland* Construído  
**WCH** – *Wetland* Construído de Fluxo Horizontal  
**WCSH** – *Wetland* Construído em Sistemas Híbridos  
**WCV** – *Wetland* Construído de Fluxo Vertical  
**WCV-SF** – *Wetland* Construído de Fluxo Vertical – Sistema Francês  
**WCV-FS** – *Wetland* Construído de fluxo Vertical com Fundo Saturado





## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
2.1 Objetivo Geral .....	23
2.2 Objetivos Específicos .....	23
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>24</b>
3.1 Abordagens de sistemas de tratamento de esgoto sanitário .....	24
3.2 Tecnologias utilizadas para o tratamento descentralizado de esgoto .....	26
3.2.1 Tratamento Primário .....	26
3.2.2 Tratamento secundário e terciário .....	29
3.2.3 Wetlands construídos (WC).....	29
3.2.4 Wetland Construído Horizontal (WCH) .....	34
3.2.5 Wetland Construído Vertical (WCV) .....	38
3.2.5.1 Wetland Construído Vertical com Fundo Saturado (WCV-FS).....	40
3.2.6 Wetlands construídos de fluxo vertical – Sistema Francês (WCV-SF).....	40
3.2.7 Wetlands construídos em sistemas híbridos - WCSH .....	43
3.2.8 Operação e manutenção em WC .....	44
3.3 Diretrizes normatizadas aplicadas em WC .....	45
3.3.1 Dinamarca.....	45
3.3.2 Alemanha.....	47
3.3.3 França .....	48
3.4.. Critérios brasileiros normatizados para tecnologias de tratamento de esgoto aplicados aos loteamentos, condomínios, comunidades rurais e isoladas .....	50
3.5 Parcelamento do Solo Urbano .....	53
3.5.1 Loteamentos.....	53
3.5.2 Condomínios.....	55
3.6 Comunidades Rurais e Isoladas .....	57
3.6.1 Saneamento Rural .....	57
3.7 WC aplicados em sistemas municipais no estado de SC.....	59
3.8 Licenciamento Ambiental no Estado de Santa Catarina .....	61
3.8.1 Leis e Normas aplicáveis .....	61
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>67</b>
4.1 Levantamento de dados bibliográficos .....	67
4.2 Compilação e ordenamento das informações.....	69
4.3 Interpretação da informação levantada .....	69
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>72</b>
5.1 WCH aplicados em diferentes países.....	72
5.2 WCV aplicados em diferentes países.....	78
5.3 WCSH aplicados em diferentes países.....	84
5.4 WCV-SF .....	88
5.5 WCV em escala real monitorados pelo GESAD.....	90
5.6 Avaliação da performance dos wetlands nos países cuja tecnologia é consolidada .....	94
5.6.1 Diretrizes para WCH empregados na Dinamarca .....	98

**SUMÁRIO** (Continuação)

5.6.2 Diretrizes para WCV empregados na Dinamarca .....	98
5.7 Critérios e instrumentos para orientar o processo de licenciamento ambiental da ecotecnologia dos wetlands construídos empregados no tratamento de esgotos de condomínios, loteamentos, comunidades rurais e domicílios isolados .....	102
5.7.1 Critérios a serem considerados pelos projetistas e analistas ambientais .	102
5.7.2. Considerações sobre aplicação de WC computando como áreas verdes em condomínios e loteamentos .....	117
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE – Publicações avaliadas.....</b>	<b>1334</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento e o lançamento inadequado de águas residuárias domésticas no solo e corpos d'água, representam uma das principais fontes poluidoras dos recursos hídricos no Brasil. Apenas 48,6% da população brasileira estão conectadas às redes de esgoto sanitário. Em relação ao total de esgoto gerado, somente cerca de 39,0% é tratado, sendo o restante lançado sem tratamento nos solos e corpos d'água, colocando em risco a saúde dos ecossistemas e da população local. Já em relação ao total de esgotos coletados, 69,4 % são tratados (SNSA, 2014).

A fragilidade dos ecossistemas aquáticos e a necessidade de assegurar os usos múltiplos da água exigem a implementação de tecnologias alternativas àquelas consideradas convencionais, para ampliar o índice de cobertura do tratamento de esgoto sanitário.

Os sistemas convencionais de tratamento de esgoto são projetados visando, principalmente, à remoção de matéria orgânica, dificultando, assim, o atendimento às exigências da legislação e normas aplicadas pelos órgãos ambientais, uma vez que os efluentes desses sistemas apresentam concentrações de nitrogênio e fósforo próximas às do esgoto bruto (MOTA e VON SPERLING, 2009).

O tratamento de esgoto sanitário é dispendioso e muitos países em desenvolvimento utilizam apenas um tratamento primário, podendo este ser biológico, químico (oxidação) ou constituído por processos físico-químicos (ALVES et al., 1993).

A necessidade de sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos está se tornando a cada dia mais necessária devido aos níveis de poluição dos corpos d'águas e a sua escassez. A deficiência no tratamento de águas residuárias ou inexistência de sistemas de tratamento comprometem a acessibilidade à água, ao saneamento, tendo como consequência a poluição ambiental e proliferação de doenças.

A descentralização dos sistemas de tratamento de esgotos, em associação com a governança local, é cada vez mais reconhecida como um modo potencialmente adequado para contribuir para a redução da população mundial sem acesso a uma fonte de água limpa ou com falta de saneamento adequado (BIEKER et al., 2010; IDRC, 2010).

Os sistemas de tratamento descentralizados de esgotos têm grande flexibilidade de construção com varias possibilidades de configuração dos arranjos tecnológicos, ficando a escolha deste, para o sistema mais ambientalmente sustentável, que neste caso deve assegurar

proteção da qualidade do meio ambiente, a conservação de recursos, e a reutilização de água, bem como, a reciclagem de nutrientes (HO, 2005).

Em função da realidade socioeconômica de municípios de pequeno porte, e de comunidades rurais e isoladas, é essencial o uso de tecnologias de tratamento que tenham uma concepção simples, equipamentos e instalações não sofisticados, baixo consumo de energia e alto grau de eficiência (FORESTI et al., 1999; CHERNICHARO, 1997). Diante deste contexto, a ecotecnologia dos *wetlands* construídos vem despertando grande interesse mundial (KHAN, 2001).

Os *wetlands* construídos tem sido recomendado mundialmente como uma tecnologia simples, efetiva e economicamente viável comparativamente aos sistemas convencionais de tratamento de águas residuais (TULADHA et al., 2008), e por décadas tem sido utilizado para o tratamento de vários tipos de águas residuárias, incluindo as águas residuais cinzas, domésticas e municipais (CONKLE et al., 2008).

Os *wetlands* construídos são amplamente empregados no pós-tratamento de efluentes anaeróbios, pois comprovadamente apresentam elevada capacidade de remoção de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e sólidos, assim como de nutrientes (USEPA, 2000; BRIX et al., 2000).

Recentemente, a literatura apresenta diversos trabalhos com elevadas remoções de compostos orgânicos em *wetland* construído horizontal (WCH), além das transformações das frações nitrogenadas, em especial a nitrificação em *wetland* construído vertical (WCV) (COOPER, 1999; VYMAZAL, 2007).

Diante deste cenário, o Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD), vinculado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), vem ao longo de uma década pesquisando e aplicando sistemas tipo *wetlands* no tratamento de águas residuárias domésticas, industriais e agropecuárias com o foco no controle da poluição. Esta pesquisa em particular vem sendo desenvolvida junto ao GESAD, e tem como objetivo investigar a potencialidade de aplicação de WCH e WCV no tratamento de esgoto sanitário em sistemas municipais, loteamentos, condomínios, comunidades rurais, unidades isoladas, sob o contexto do licenciamento ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a aplicabilidade da ecotecnologia dos *wetlands* construídos como unidade de tratamento de esgotos em loteamento, condomínios, comunidades rurais e isoladas, sob o contexto do licenciamento ambiental do estado de Santa Catarina.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Confeccionar um banco de dados, por meio de pesquisa bibliográfica, contendo informações de projeto, desempenho e operação de *wetlands* construídos de fluxo vertical e horizontal, aplicados no tratamento de esgoto sanitário;

- Avaliar o desempenho dos *wetlands* construídos quanto às exigências estabelecidas no processo de licenciamento ambiental de sistemas municipais descentralizados, loteamentos e condomínios;

- Criar instrumentos para dar subsídios aos projetistas e analistas ambientais na tomada de decisão da escolha da tecnologia para o tratamento de esgotos de condomínios, loteamentos, sistemas municipais, comunidades rurais e domicílios isolados.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item descrevem-se os pressupostos teóricos fundamentados na literatura acadêmica, em relação ao tratamento descentralizado de esgotos e a ecotecnologia dos *wetlands* construídos de fluxo vertical e de fluxo horizontal.

Serão abordados os mecanismos de remoções de poluentes em *wetlands* construídos, bem como seu potencial de aplicação no tratamento de esgoto sanitário em loteamentos, condomínios, comunidades rurais e isoladas.

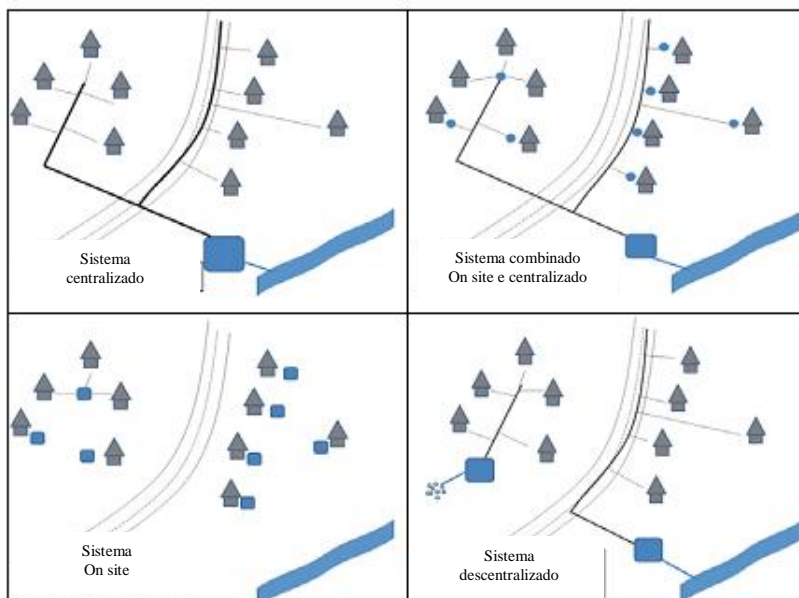
#### 3.1 Abordagens de sistemas de tratamento de esgoto sanitário

As abordagens de tratamento de águas residuais domésticas variam desde os sistemas centralizados convencionais, até aos sistemas descentralizados e, em nível local, os denominados sistemas *cluster* ou *on site* (Figura 1).

Os sistemas convencionais de tratamento de esgoto ou centralizados envolvem processos de coleta e tratamento, de onde se recolhem, tratam e lançam no ambiente grandes quantidades de águas residuárias (WEST, 2001). Áreas densamente povoadas são, em geral, historicamente servidas por sistema de coleta e tratamento centralizados. Estes sistemas estão longe de serem considerados sustentáveis, por vários motivos, dentre os quais citam-se: demandam muita energia, requerem equipamentos sofisticados e geram lodo com elevado potencial poluidor (LENS; ZEEMAN e LETTINGA, 2001).

Os sistemas descentralizados de tratamento de esgotos podem ser definidos sob várias perspectivas, destacando-se àquelas que relacionam-se com a proximidade da fonte geradora, bem como pela capacidade de tratamento avaliada por meio da carga orgânica tratada e expressa como pessoa equivalente (p.e.). De acordo com o Instituto Inglês de Controle de Poluição das Águas (WWPT), uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) pode ser considerado de pequeno porte, descentralizada, quando atende menos de 1.000 p.e., ao passo que a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), fixa o limite de atendimento de 10.000 p.e. (DE FRAJA FRANGIPANE e PASTORELLI, 1997).

Figura 1. Representação das diferentes abordagens dos sistemas de esgoto sanitário.



Fonte: Adaptado de WECF (2010).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução CONAMA 377/2006, e o Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (CONSEMA), por meio RESOLUÇÃO nº 13/20012, definem ETE de pequeno porte àquelas com vazão de final de plano menor ou igual a 50 L/s.

Os arranjos tecnológicos que compreendem um sistema de tratamento descentralizado incluem sistemas *on site*, no local, caracterizado pela coleta, transporte, tratamento, destinação, reutilização de águas residuárias provenientes de uma única residência ou edifício, e sistemas *cluster*, em grupo, com coleta das águas residuárias provenientes de duas ou mais residências ou edifícios, transportando-os para um local adequado para o seu tratamento e disposição final (USEPA, 2004).

De acordo com resultados do estudo da USEPA (2004), os sistemas de gestão de águas residuais descentralizadas são apropriados para comunidades de baixa densidade, variando às condições do local, sendo mais rentável do que sistemas centralizados.

A avaliação e seleção da tecnologia mais adequada de tratamento de águas residuárias, centralizado ou descentralizado, deve considerar o custo do ciclo de vida de um sistema, incluindo a concepção, construção, operação, manutenção, reparação e substituição (MASSOUD et al., 2009).

Estudos desenvolvidos sobre estimativas de custo para uma abordagem descentralizada de gestão de águas residuais em uma comunidade rural revelaram que os sistemas descentralizados na modalidade de *cluster* e *on site*, geralmente, possuem um menor custo total e um menor custo anual para operação e manutenção de águas residuais, comparativamente aos sistemas centralizados (USEPA, 1997).

No contexto urbano de países desenvolvidos a centralização é a abordagem mais aplicada para tratamento de águas residuárias, porém, os processos de descentralização já são mundialmente reconhecidos. Tem-se que 25% da população dos EUA são atendidas por ETE de pequeno porte. Na Itália 6% da população é servida por ETE com menos de 2.000 p.e., as quais representam 73% das ETE existentes (AVEZZU et al., 2010).

### **3.2 Tecnologias utilizadas para o tratamento descentralizado de esgoto**

No que se refere ao tratamento, as ETE podem abranger diferentes níveis, denominados tecnicamente de tratamento primário, secundário e terciário. Metcalf e Eddy (1991) apresenta a classificação do tratamento baseado nos diferentes níveis, tais como:

(i) Preliminar: remoção de material flutuante presente na água residuária e sólidos grosseiros;

(ii) Primário: remoção de uma parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica presente nas águas residuárias;

(iii) Secundário: contempla a remoção da matéria orgânica biodegradável (em solução ou suspensão) e sólidos suspensos;

(iv) Terciário ou avançado: remoção de sólidos suspensos residual e remoção de nutrientes, bem como a desinfecção.

#### **3.2.1 Tratamento Primário**

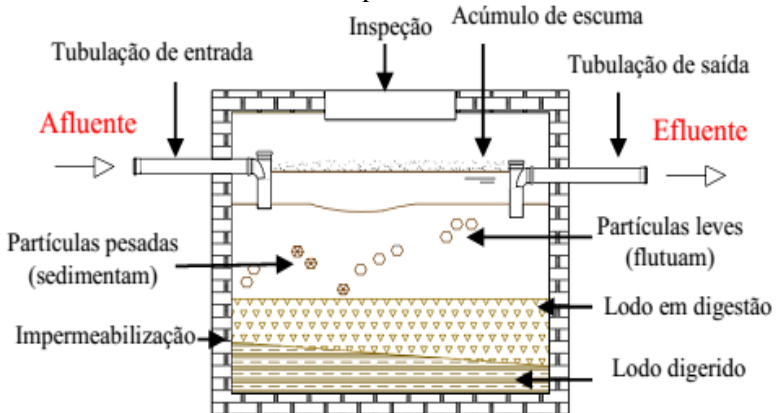
O sistema de tratamento descentralizado em nível primário mais utilizado no mundo é o tanque séptico, sendo uma tecnologia aplicada tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Estes



sistemas removem sólidos sedimentáveis, funcionam também como um reator anaeróbico, os quais promovem a digestão parcial de matéria orgânica. Porém, possuem desvantagens, tais como: (i) dependem das características do solo local; (ii) não são eficazes na remoção de compostos de fósforo e de nitratos; (iii) não reduzem organismos patogênicos (MASSOUD et al., 2009). Deste modo, as unidades tipo tanque séptico exigem tratamento secundário e até mesmo terciário para que possam atender aspectos legais e normativos.

A Figura 2 apresenta o funcionamento geral de um tanque séptico com seus dispositivos.

Figura 2. Esquema representativo do funcionamento geral de um tanque séptico.



Fonte: Adaptado da NBR 7229 (ABNT, 1993) e Trein (2015).

Dentre outras tecnologias utilizadas para tratamento a nível primário destacam-se: (i) tanque imhoff; (ii) reator anaeróbico compartimentado (RAC); (iii) reator UASB; (iv) *wetland* construído – modalidade primeiro estágio do sistema Francês e de sistemas híbridos.

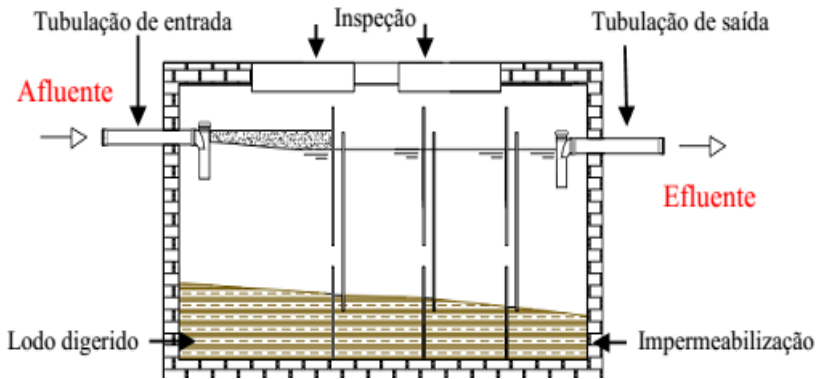
O tanque séptico com apenas um compartimento é o tratamento primário mais comum utilizado em pequena escala em conjunto com *wetlands* construídos em todo o mundo.

Nos últimos anos, projetos foram desenvolvidos para melhorar deficiências na remoção de sólidos e poluentes orgânicos em tanque sépticos. Dentre esses projetos destaca-se o RAC. O princípio básico dos tanques compartimentados é o de proporcionar um aumento do

tempo de detenção e um aumento do contato entre a água residual e a biomassa ativa no lodo acumulado no fundo (UN-HABITAT, 2008).

No RAC o aumento do tempo de detenção é conseguido através da inserção de chicanas no tanque e para direcionar o fluxo das águas residuais de baixo para cima, de modo que a água residual passe pela camada e biomassa de lodo sedimentado. A Figura 3 apresenta o funcionamento geral de um RAC com três câmaras, com seus respectivos dispositivos.

Figura 3. Esquema representativo do funcionamento geral de RAC.



Fonte: Adaptado de Trein (2015).

Para arranjos tecnológicos compostos por tanque de sedimentação compartimentado, com duas ou mais seções, seguido de *wetlands* construídos, a segmentação do tanque tem como objetivo reduzir a concentração de DBO e de sólidos suspensos (SS), bem como para evitar a colmatação do WC com excessivo carregamento orgânico e de partículas (TREIN et al., 2015).

Em termos de desempenho no tratamento de esgotos, as diferentes tecnologias de tratamento primário apresentam variadas faixas de eficiência de remoção de matéria orgânica, expressa em termos de DBO (Tabela 1).

Tabela 1. Concentração efluente e eficiência de remoção de DBO em sistemas anaeróbicos aplicados no tratamento de esgoto sanitário.

<b>Sistema anaeróbio</b>	<b>DBO efluente</b>	<b>Eficiência de remoção DBO</b>
Lagoa anaeróbia	70-160	40-70
Reator UASB	60-120	55-75
Tanque séptico	80-150	35-60
Tanque Imhoff	80-150	35-60
Tanque séptico + Filtro anaeróbio	40-60	75-85

Fonte: Adaptado de Chernicharo (2006)

### 3.2.2 Tratamento secundário e terciário

Para o tratamento secundário, as tecnologias indicadas para a abordagem descentralizada são tanto os reatores que se baseiam no processo depurativo de biomassa aderida em material suporte, tais como os filtros anaeróbios, biofiltros aerados submersos, filtros de areia, valas de filtração e sistemas tipo *wetlands* construídos, quanto reatores que propiciam o desenvolvimento de biomassa suspensa, tais como os reatores anaeróbios de fluxo ascendente de manta de lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB), reator em batelada sequencial (*Sequencing Batch Reactor* - SBR) e, em casos específicos, as lagoas de estabilização (MASSOUD; TARHINI e NASR, 2009; SEZERINO et al., 2012).

Já para a promoção do tratamento terciário ou avançado, enfatizando a remoção de sólidos suspensos remanescentes e a transformação do nitrogênio, Metcalf e Eddy (1991) destacam entre outras tecnologias, unidades de filtração, tais como filtros de areia, filtros biológicos percoladores (*trickling filters*) e sistemas tipo *wetlands* construídos.

### 3.2.3 *Wetlands* construídos (WC)

Os *wetlands* construídos (WC) são sistemas que utilizam processos naturais para promover o tratamento de águas residuais. Estes sistemas podem ser considerados como uma ecotecnologia capaz de promover a conversão da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, tais como ocorrem naturalmente nos banhados e áreas alagadas (KLADEC, 1987).

Diferentemente dos ambientes naturais, os WC possuem a vantagem de serem projetados, podendo assim ter flexibilidade quanto à seleção de local de implantação, dimensionamento e, sobretudo, o controle hidráulico, otimizando o desempenho do tratamento.

Os sistemas de WC vêm se desenvolvendo rapidamente nas últimas três décadas e têm sido empregados no tratamento dos mais variados tipos de águas residuárias, tanto orgânicas quanto inorgânicas, destacando-se a aplicação no tratamento de efluentes domésticos, industriais e agrícolas (VYMAZAL, 2009).

Os WC foram classificados de acordo com a nomenclatura clássica, com base nas características hidráulicas, posição e direção do fluxo de água, distinguindo-se entre sistemas de fluxo superficial e de fluxo subsuperficial. No primeiro, a maioria do fluxo ocorre por meio de uma coluna de água que recobre um substrato bentônico, enquanto que o fluxo no outro é através de um meio filtrante poroso composto geralmente por areia e brita (FONDER et al., 2013).

Para os WC de escoamento subsuperficial a literatura aponta uma subclassificação quanto ao sentido do seu escoamento hidráulico, como sendo horizontal ou vertical com ciclos de enchimento e drenagem, vertical ascendente e vertical descendente (FONDER et al., 2013).

Quando a alimentação nos WC se dá por um lado do meio filtrante, são classificados como horizontal (WCH). Se a alimentação é espalhada sobre a superfície do meio filtrante, atravessando-o verticalmente, são classificados como vertical (WCV). Além disso, em WCH a alimentação é contínua, enquanto no WCV é intermitente.

Com atuação dos principais elementos nos WC, destacando-se o meio filtrante, microrganismos e macrófitas, são proporcionados os seguintes processos de remoção de poluentes, conforme apresentado na Tabela 2.

Tanto o material filtrante, os microrganismos e as macrófitas, atuam em conjunto para realizar a depuração das águas residuárias a serem tratadas nos WC.

Tabela 2. Processos de remoção de poluentes nos WC.

<b>Poluentes</b>	<b>Processos</b>
Matéria Orgânica particulada	Sedimentação e filtração, convertido a DBO solúvel
Matéria Orgânica Solúvel	Fixação pelo biofilme bacteriano, posteriormente degradado geralmente em meio aeróbio
Sólidos Suspensos	Filtração; Decomposição por bactérias durante longo tempo de retenção
Fósforo	Adsorção no material filtrante; Assimilação pelas macrófitas; Precipitação química
Patógenos	Filtração; Predação; Absorção
Metais pesados	Adsorção; Assimilação pelas macrófitas
Compostos orgânicos	Adsorção pelo biofilme e material filtrante; Decomposição por bactérias devido ao longo tempo de retenção

Fonte: Adaptado de Hoffmann e Platzer (2011).

(i) Material filtrante:

É um dos elementos primordiais, pois, além de manter as condições hidráulicas, serve de suporte para o desenvolvimento das macrófitas e do biofilme, onde ocorrem todas as reações bioquímicas para que se suceda o tratamento do efluente.

Para escolha do material filtrante de WC, de modo a obter uma boa eficiência de tratamento, o mesmo deve ter boa condutividade hidráulica e promover a adsorção de íons de fósforo e amônio (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

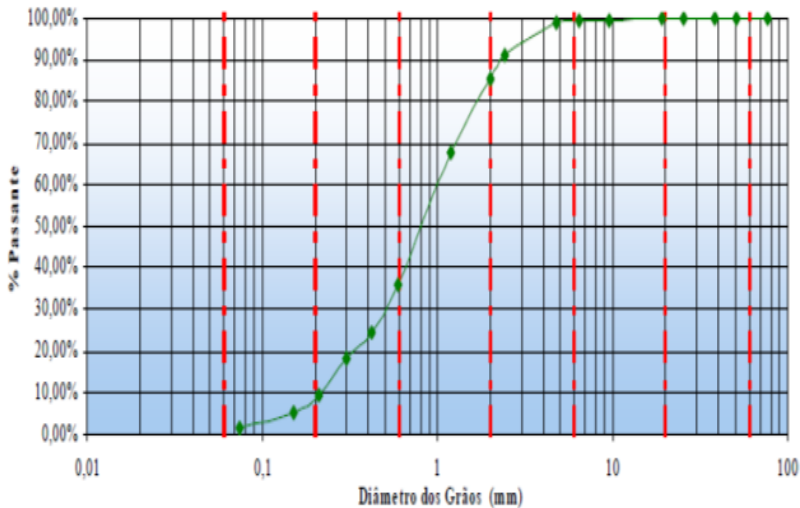
Brix e Arias (2005) relataram que as propriedades físicas e químicas do material filtrante, incluindo tamanho da partícula, área superficial, porosidade, condutividade hidráulica, pH e teor de matéria orgânica, são determinantes para os processos mediados por micro-organismos.

Segundo Ladd et al. (2004) materiais filtrantes como argila, por exemplo, possuem maior capacidade de proteção à biomassa microbiana, proporcionando um ambiente suscetível às interações mais estreitas entre microrganismos e os poluentes, entretanto, a mesma apresenta baixa condutividade hidráulica e conseqüentemente pode acelerar o processo de colmatação do meio filtrante.

No caso da utilização de areia, a literatura apresenta recomendações quanto a sua granulometria e índices físicos, tais quais, diâmetro efetivo ( $d_{10}$ ) superior ou igual a 0,20 mm; coeficiente de

uniformidade (U) menor ou igual a 5 unidades; coeficiente de permeabilidade, ou condutividade hidráulica saturada (Ks), maior ou igual a  $10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$  ou  $\geq 0,36 \text{ m.h}^{-1}$  (PLATZER, 1999; ARIAS et al., 2001; BRIX e ARIAS, 2005). Na Figura 4 apresenta-se uma curva granulométrica confeccionada a partir de uma areia comercial dentro das características indicadas.

Figura 4. Curva granulométrica da areia com características desejadas para o emprego em WC.



Fonte: Sezerino (2006)

Nos países onde a ecotecnologia é consolidada há várias recomendações internacionais fundamentadas em normas técnicas e em publicações que dão diretrizes sobre a distribuição granulométrica do meio filtrante empregado em WC (Tabela 3). As diretrizes granulométricas para o meio filtrante foram propostas, de modo a obter uma taxa hidráulica adequada para minimizar problemas de colmatção do meio filtrante, bem como em função do nível de tratamento a ser aplicado (KNOWLES et al., 2011).

Tabela 3. Exemplos de distribuição granulométrica recomendados por normas internacionais e por publicações. Adaptado de Wallace e Knight (2006) e Kadlec e Wallace (2009).

País	Granulometria	Referência
Áustria	0-4 mm (água cinza)	ÖNORM (2005)
	1-4 mm (tratamento terciário)	
	4-8 mm (tratamento primário)	
Republica tcheca	d<20 mm	Vymizal (1996)
Alemanha	0,2-1,0 mm (areia)	GFA (1998)
Reino Unido	10-12 mm	Griffin et al. (2008)
	1-8 mm	US EPA (1988)
Estados Unidos	3-6 mm	TVA (1993)
	12-25 mm	US EPA (1993)
	2-28 mm	Reed et al. (1995)
	20-30 mm	US EPA (2000)
	d>4 mm	Wallace and Knight (2006)
Diretrizes Europeias	3-6 mm	EC/EWPCA (1990)
	6-12 mm	
Associação internacional da água (IWA)	8-16 mm	IWA (2000)

Fonte: adaptado de KNOWLES et al. (2011)

(ii) Macrófitas:

As macrófitas emergentes utilizadas nos *wetlands* são plantadas diretamente no material filtrante e devem suportar condições adversas, baixas concentrações de oxigênio, pouca umidade disponível no meio e presença de compostos poluentes (GIZ, 2011).

As espécies amplamente utilizadas são *Phragmites australis* (espécie não nativa do Brasil), *Typha* spp e *Juncus* spp, todavia, principalmente no Brasil vários trabalhos vem sendo desenvolvidos com as mais variadas espécies, destacando-se a *Pennisetum purpureum schum*, *Cynodon*, *Eleocharis* spp, *Brachiaria* spp, *Mentha aquatica* entre outras (MATOS et al., 2010; 2009: 2008).

As ações atribuídas pelas macrófitas nos WC são evidenciadas em estudos difundidos por Brix (1997), tais como: (i) estabilização da superfície do leito; (ii) promoção de boas condições para o processo físico de filtração; (iii) aeração da rizosfera; (iv) promoção de área

disponível para aderência de microrganismos nas raízes; (v) retirada de nutrientes devido à necessidade nutricional das plantas; (vi) embelezamento paisagístico.

Atualmente, diante da comunidade acadêmica, vinculam-se grandes discussões quanto à magnitude da capacidade de transferência de oxigênio pelas macrófitas para o material filtrante. Dan et al. (2011) relataram que a taxa de transferência de oxigênio pelas macrófitas, tanto em WCV quanto em WCH, não é suficiente para atender a demanda completa de oxigênio dentro do material filtrante. O processo de transferência de oxigênio pelas raízes das macrófitas pode afetar principalmente a comunidade microbiana no sistema.

### (iii) Microrganismos:

O reconhecimento de que a remoção da maioria dos poluentes nos *wetlands* ocorre via atividade microbiana vem sendo cada vez mais difundido e discutido.

Considerando a ecologia do solo, como é o caso no maciço filtrante dos WC, as atividades microbianas e enzimáticas são indicadores do estado do solo, visto que as mesmas podem ser altamente variáveis dependendo da disponibilidade de substrato, teor de umidade e temperatura (TRUU et al., 2008).

De acordo com Philippi e Sezerino (2004), as bactérias são as principais responsáveis pelo tratamento biológico de efluentes por desempenhar três funções básicas: a oxidação da matéria carbonácea, a nitrificação e a desnitrificação.

Segundo Cooper et al. (1996), os WCV são comparáveis com os filtros biológicos, por ambos apresentarem o mesmo princípio de crescimento de microrganismos e formarem o biofilme, aderido a um meio suporte.

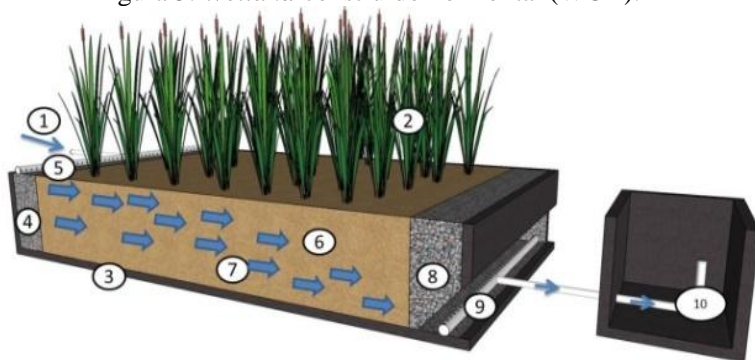
### 3.2.4 *Wetland* Construído Horizontal (WCH)

WCH têm sido comumente utilizados para o tratamento de águas residuais domésticas em nível local, coletivo, municipal e também para tratar outros tipos de águas residuárias, como efluentes industriais oriundos de refinarias de petróleo, fábricas de produtos químicos, papel e celulose, curtumes, têxteis, abatedouros, destilaria, vinícola, de processamento de alimentos, provenientes da agricultura, chorume e várias águas de escoamento superficial (VYMAZAL, 2009).



Os WCH são módulos simplesmente escavados ou construídos no solo, impermeabilizados geralmente com manta geotêxtil impermeável. Neste sistema a água residuária é mantida abaixo da superfície do leito e escoa horizontalmente de uma extremidade a outra até atingir a zona de saída. Na saída o nível de esgoto é controlado por meio de um controlador de nível (VYMAZAL, 2009) (Figura 5).

Figura 5. *Wetland* construído horizontal (WCH).



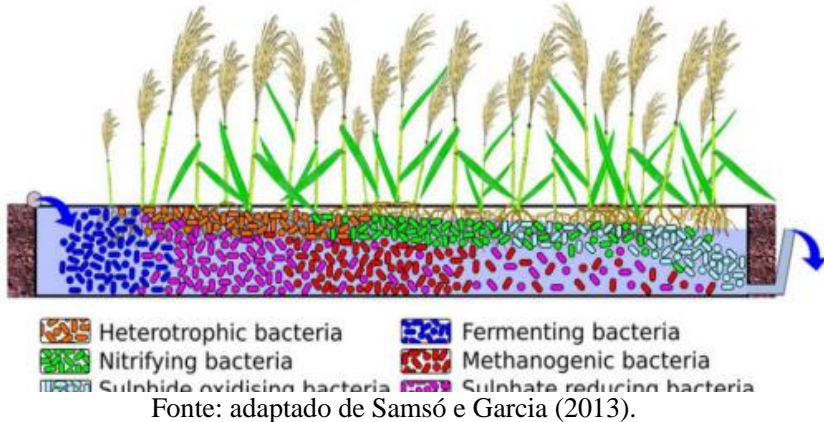
1) esgoto afluyente; 2) macrófitas; 3) impermeabilização; 4) zona de entrada; 5) tubulação de alimentação; 6) material filtrante; 7) sentido do fluxo; 8) zona de saída; 9) tubulação de coleta; 10) controlador de nível.

Fonte: Acervo GESAD

Os WCH são mantidos sob operação contínua, ou seja, o fornecimento de água residuária não é intermitente e não exige bombeamento ou uso de energia elétrica. A alimentação contínua e o emprego do controlador de nível acarretam em pouca oxigenação do sistema, o que não proporciona remoção satisfatória dos nutrientes, com baixa taxa de conversão do nitrogênio amoniacal a nitrato. Devido à pouca oxigenação do efluente nestes sistemas podem predominar condições anaeróbias (GIZ, 2011).

Samsó e Garcia (2013) realizaram estudos com modelagem matemática sobre bactérias ao longo do perfil longitudinal em WCH (Figura 6) alimentado com esgoto sanitário. Dentre as bactérias destacaram-se as heterotróficas, nitrificantes, sulfato redutoras, metanogênicas, fermentativas, sulfito oxidativas.

Figura 6. Bactérias ao longo de um perfil longitudinal de WCH.



Pelo fato dos WCH operarem com baixos custos operacionais, não utilizar de bombeamento e energia elétrica, constituem uma boa opção para tratamento de esgoto sanitário em unidades isoladas e residências alocadas em áreas rurais (GIZ, 2011).

Quanto ao desempenho de WCH aplicados no tratamento de esgoto doméstico, estudos realizados em escala real com arranjo tecnológico composto por tanque séptico seguido de WCH, apresentaram eficiência compatível com o tratamento secundário, destacando uma remoção de 82% a 98% para DQO e de 82% a 90% para SST (SEZERINO et al., 2012).

Para o dimensionamento de WCH a literatura propõe três diferentes formas para WCH, conforme segue (SEZERINO et al., 2015):

- (i) modelo oriundo da cinética de primeira ordem aplicada a reatores pistão;
- (ii) relação área per capita;
- (iii) carregamento orgânico superficial e taxa hidráulica.

Da cinética de primeira ordem em reatores fluxo de pistão tem-se, então, a possibilidade de estimar a área superficial requerida para o WCH, de acordo com a Equação 1 (SEZERINO et al., 2015).

$$A = Q \times (\ln C_o - \ln C_e) / (Kt \times p \times n) \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

A = área superficial requerida (m<sup>2</sup>)

$Q$  = vazão afluente ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )

$C_o$  = concentração afluente em termos de  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} = \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$C_e$  = concentração efluente em termos de  $\text{DBO}_5$  ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} = \text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$K_t$  = obtida pela Equação 3 ( $\text{d}^{-1}$ )

$n$  = porosidade do material filtrante ( $\text{m}^3$  vazios  $\cdot \text{m}^{-3}$  material)

$p$  = profundidade média do filtro (m)

Os parâmetros físicos e dinâmicos que são relevantes no projeto de WCH utilizados no Brasil são (SEZERINO et al., 2015):

- vazão de efluente a ser tratado: aplicam-se, via de regra, para pequenas vazões, inferiores a  $10.000 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$  (cujo equivalente populacional se refere a cerca de 66 pessoas, quando considerado um *per capita* de  $150 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ );
- tempo de retenção hidráulico (t) no reator *wetland* construído: na maioria dos estudos brasileiros, esse tempo é teórico, obtido pela relação entre volume da unidade, vazão afluente e porosidade do material filtrante, sendo reportado no máximo 12 dias de retenção. Não está reportado na literatura brasileira um tempo de retenção hidráulico mínimo requerido, tampouco esse elemento é empregado como parâmetro de projeto;
- constante de reação, ou constante de degradação biológica: raros são os estudos que apresentam a constante obtida a partir da remoção de  $\text{DBO}_5$ , dada a dificuldade do estabelecimento do modelo de escoamento do reator. Valores para  $K_{20}$  variam de  $0,36$  a  $1,08 \text{ d}^{-1}$ ;
- material filtrante: devido à necessidade de utilização de materiais com elevada condutividade hidráulica, mais de 64% dos trabalhos brasileiros pesquisados utilizam brita na composição dos WCH;
- área superficial do filtro: não existe uma recomendação de área mínima requerida do filtro na literatura brasileira, tampouco uma tendência de padronização de área por equivalente populacional. Apresenta-se e discute-se na comunidade acadêmica brasileira como ponto de partida para a obtenção da área do superficial, o emprego do modelo oriundo da cinética de primeira ordem aplicada a reatores pistão, considerando-se uma eficiência mínima de remoção de  $\text{DBO}_5$  como sendo 80%;
- profundidade e geometria: verifica-se como profundidade valores máximos de 1,50 m e uma geometria retangular, com comprimento bem superior à largura, a fim de promover uma tendência de escoamento de fluxo pistão;

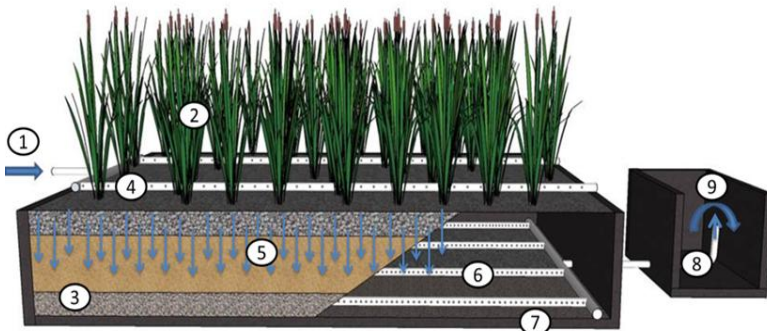
- macrófitas: apesar da *Typha* spp., popularmente conhecida por Taboa, destacar-se como a mais empregada, nota-se uma variação na utilização das plantas, motivado muitas vezes pela estética.

### 3.2.5 Wetland Construído Vertical (WCV)

Os WCV são módulos escavados ou construídos no solo, impermeabilizados, com material filtrante e macrófitas do tipo emergentes. A alimentação nestes sistemas é realizada de forma intermitente através de bombeamento, por meio de pulsos sob toda a área superficial da unidade de tratamento (KADLEC e WALLACE, 2009).

Na Figura 7 demonstra-se um esquema clássico de um módulo vertical descendente com alimentação intermitente, o qual é amplamente empregado nos países da Europa e no Brasil.

Figura 7. Esquema representando o WCV.



- 1) afluyente; 2) macrófitas; 3) material filtrante; 4) tubulação de alimentação; 5) sentido do fluxo; 6) tubulação de coleta; 7) impermeabilização; 8) controlador de nível; 9) efluente final.

Fonte: Acervo GESAD.

Os WCV removem matéria orgânica, retêm sólidos e promovem a conversão do nitrogênio amoniacal a nitrato, principalmente devido à alimentação intermitente (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

Phillipi e Sezerino (2004) relatam que a alimentação intermitente promove um grande arraste de oxigênio atmosférico para o material filtrante através da convecção e difusão. Segundo Cooper et al.

(1996) e Platzer (1999), quando uma nova alimentação é realizada, uma nova quantidade de oxigênio se adiciona ao oxigênio já disposto na massa sólida.

Os processos de remoção de poluentes em WCV são similares aos WCH, conforme apresentado na Tabela 2, e são diretamente influenciados pelas taxas de carregamento tanto hidráulico quanto orgânicos e inorgânicos, tipo de material filtrante, estratégias operacionais, temperatura, presença de macrófitas e o potencial redox do meio (BIEDERMAN et al., 2002; WU et al., 2014).

Segundo Trein et al. (2015) o dimensionamento dos WCV é dependente das taxas hidráulicas e cargas orgânicas aplicadas sobre a área superficial do módulo. Recomendações de literatura apontam para valores de taxa hidráulica variando de 100 a 120 mm.d<sup>-1</sup> em regiões de clima frio, e para regiões de clima quente até um limite de 250 mm.d<sup>-1</sup> (PLATZER, 1999). Em relação ao carregamento orgânico limitam-se valores máximos de 30 g DQO m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> para climas frios e cerca de 40 a 70 g DQO m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> em climas quentes, o que, para efluentes domésticos, corresponde a aproximadamente 20 a 35 g DBO m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (PLATZER et al., 2007; HOFFMAN et al., 2011). Para as condições de clima subtropical, encontradas no sul do Brasil, Sezerino (2006) destaca valores de 230 mm.d<sup>-1</sup>, 41 g DQO m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> e 15 g SS m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, para que ocorra remoção de matéria orgânica superior a 80% e uma efetiva nitrificação do nitrogênio amoniacal afluente.

Trein et al. (2015) destacam ainda como critério de dimensionamento de WCV a verificação do balanço de oxigênio, de onde se espera que a demanda de oxigênio para a oxidação da matéria orgânica carbonácea e para a nitrificação seja menor que os valores de oxigênio que adentram o módulo de *wetland* através da convecção e difusão do ar atmosférico para o meio filtrante, além da transferência de oxigênio realizada pelas macrófitas. Vários modelos de balanço de oxigênio são propostos, destacando-se o modelo apresentado por Platzer (1999).

Platzer (1999) recomenda como critério de aplicação nos WCV de 2 a 3 alimentações diárias. Já Hoffman et al. (2011) recomendam aplicações de 4 a 12 vezes por dia. Menores números de alimentações correspondem a maior tempo de repouso do filtro, favorecendo a renovação do oxigênio dentro do maciço filtrante. Além disso, a alimentação em menor número diminui a possibilidade de acúmulo de efluente retido na superfície (KAYSER e KUNST, 2005).

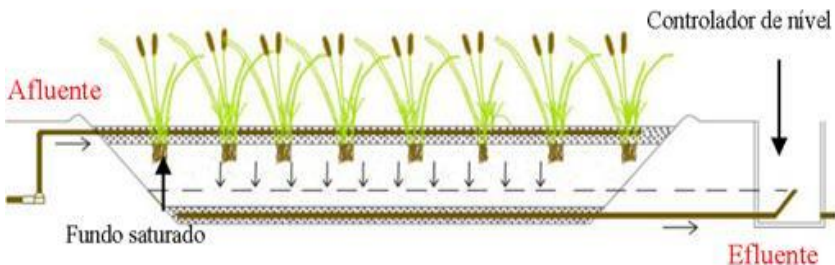
### 3.2.5.1 *Wetland* Construído Vertical com Fundo Saturado (WCV-FS)

Os WCV-FS possuem os mesmos princípios de tratamento que os WCV. Os mesmos elementos atuantes, como as macrófitas, microrganismos e material filtrante, interagem entre si e proporcionam as condições de tratamento do efluente a ser disposto para o tratamento.

A principal estratégia dos WCV-FS é proporcionar a maior remoção de nitrogênio, buscando não somente a nitrificação como é o caso dos WCV, mas a nitrificação seguida da desnitrificação em uma única unidade (KIM et al., 2014). Para isso, proporciona-se uma saturação por meio da elevação do controlador de nível, originando condições anaeróbias/anóxicas no fundo do filtro e condições aeróbias na superfície, promovendo assim ambientes oxidativos e redutores em um mesmo módulo (KIM et al., 2014).

A Figura 8 apresenta uma unidade de WCV-FS. As vias de transformação de nitrogênio são consideradas as mesmas para região aeróbia de um WCV com acréscimo de zonas anaeróbias e anóxicas devido a zona de fundo saturado.

Figura 8. Esquema representando o WCV-FS.



Fonte: Trein (2105)

Os critérios de dimensionamento nos WCV-FS são similares aos WCV, atendendo as recomendações de intermitência de aplicação e composição do material filtrante.

### 3.2.6 *Wetlands* construídos de fluxo vertical – Sistema Francês (WCV-SF)

Na França existem aproximadamente 3500 ETE constituídas por WC que são utilizadas para o tratamento de águas residuais

domésticas em pequenas comunidades. A maioria delas é composta por dois estágios de WCV em série, mas existem muitas configurações com associação em lagoas, WCH, WCV com recirculação, sistemas parcialmente saturados, entre outras tecnologias (PROST-BOUCLE e MOLLE, 2012; KIM et al., 2014).

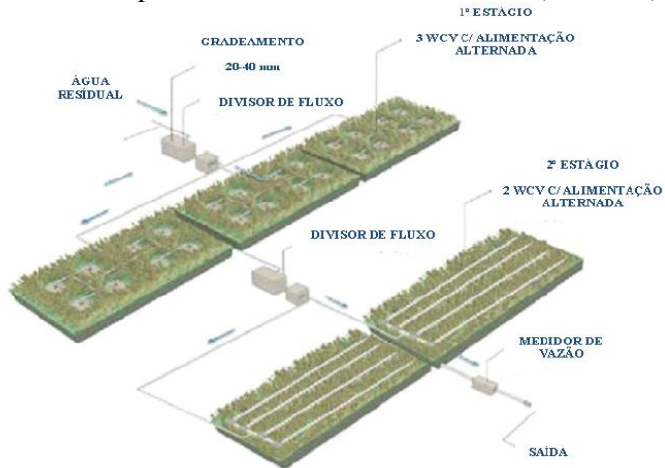
A configuração típica do sistema francês (WCV-SF) é caracterizada por dois estágios de WCV em série, que recebem diretamente o esgoto bruto, submetido usualmente apenas ao tratamento preliminar.

No WCV-SF não há tratamento prévio em nível primário ou secundário e trabalham submetidos a elevadas cargas hidráulicas ( $\sim 0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) e orgânicas ( $\sim 300 \text{ g DQO} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $\sim 150 \text{ g SST} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  e  $\sim 25\text{-}30 \text{ g NTK} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) (MOLLE et al., 2005).

O primeiro estágio é constituído por três leitos filtrantes alimentados em paralelo, que recebem o fluxo intermitente do esgoto bruto. As principais funções da primeira fase de tratamento são a retenção de SST (eficiência de remoção de 83%), bem como a degradação de parte da DQO (eficiência de remoção de 77%) (MORVANNOU et al., 2015).

O segundo estágio é constituído por dois leitos filtrantes em paralelo, que visam à remoção complementar dos poluentes e à nitrificação (MOLLE et al., 2005). A Figura 9 apresenta o esquema típico de um WCV-SF.

Figura 9. Sistema típico francês de *wetland* construído (WCV-SF)

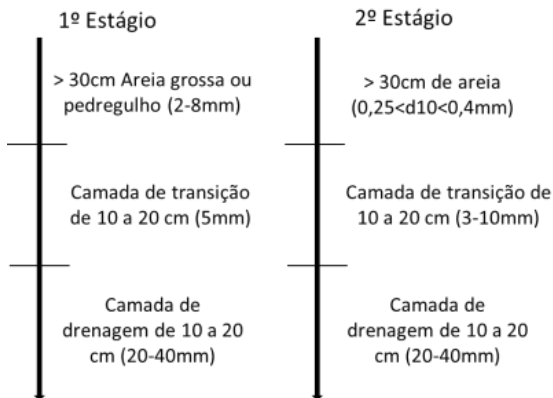


A operação do WCV-SF é realizada com alimentação de esgoto no primeiro e segundo estágio durante um período de 3,5 dias e com períodos de repouso de 7 dias para o primeiro estágio e de 3,5 para o segundo estágio, de modo a manter a permeabilidade, o teor de oxigênio e para controlar o crescimento da biomassa (LIÉNARD et al., 1999).

O meio filtrante do WCV-SF é composto por três camadas com profundidades e granulometria que o identificam, sendo a granulometria da camada filtrante principal com dimensão superior quando comparada às usualmente empregadas nos WCV (MOLLE et al., 2005).

A Figura 10 apresenta as dimensões e características geotécnicas do meio filtrante para WCV-SF.

Figura 10. Dimensões e características geotécnicas do meio filtrante para WCV-SF



Fonte: adaptado de Molle et al. (2005)

As principais características e vantagens do sistema francês em relação às demais modalidades de WC são: excelente oxigenação dos leitos filtrantes, possibilitando elevada nitrificação; processos anaeróbios praticamente ausentes, não havendo geração de odor; baixos custos de implantação e operação; ampla capacidade de absorção de elevados picos temporários de vazão; remoção do lodo é necessária de 10 a 15 anos; e baixo impacto visual, com possibilidade de integração à paisagem, sobretudo em áreas rurais (AERMC, 2005; MOLLE et al., 2005).

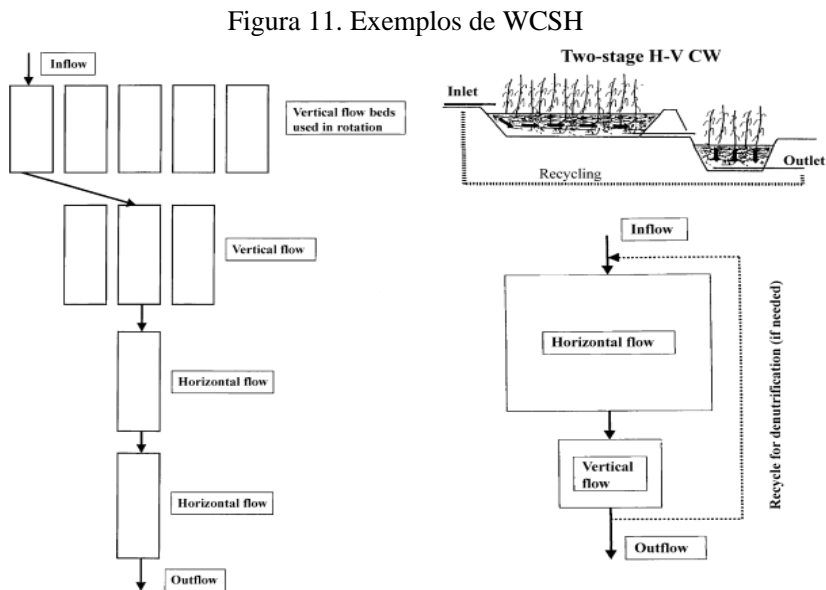


### 3.2.7 Wetlands construídos em sistemas híbridos - WCSH

Vários tipos de WC têm sido combinados e ordenados de modo a obter elevada eficiência de tratamento, especialmente para remoção de nitrogênio. Estes sistemas híbridos são compostos geralmente por WCV e WCH com diferentes possibilidades de configuração do arranjo tecnológico, WCH-WCV, WCV-WCH incluindo a recirculação de um estágio para o outro (VYMAZAL, 2005).

Sistemas híbridos com quatro estágios de *wetlands* construídos, 5WCV-3WCV-WCHWCH, baseados em conceitos de Seidel (Figura 11), também tem sido aplicados no tratamento de esgoto sanitário em comunidades rurais.

A Figura 11 apresenta exemplos de sistemas híbridos baseados em conceitos de Seidel (esquerda) e Brix e Johansen (direita) (BRIX, 1998; COOPER, 1999).



Fonte: adaptado de VYMAZAL (2005).

No WCH a nitrificação não é efetiva devido ao baixo teor de oxigênio no leito filtrante. Já nos WCV prevalecem as condições aeróbias, que proporcionam a nitrificação do efluente, contudo nestes sistemas a desnitrificação é pequena ou desprezível (COOPER, 1999).

Com a combinação de WCH e WCV é possível obter um efluente com baixas concentrações de nitrogênio total, bem como de outros poluentes (COOPER, 1999; VYMAZAL, 2007).

WCSH com mais de dois tipos de WC, com a inclusão de *wetland* construídos de superfície livre (WCSL), por exemplo, também tem sido aplicado no tratamento de águas residuais domésticas (VYMAZAL, 2005).

Arranjos tecnológicos com tanque imhoff como tratamento primário seguido de três estágios de WC (WCV-WCH-WCSL), implantados em escala real em comunidade rural na Espanha, demonstrou serem uma ecotecnologia robusta para o tratamento das águas residuais domésticas e capazes de proporcionar o reuso de águas em pequenas comunidades (ÁVILA et al., 2015).

Nos WCSH com configuração tanque imhoff seguido de WCSH (WCV-WCH-WCSL), as vias metabólicas aeróbicas e de retenção de sólidos são reforçadas no WCV, sendo que outros mecanismos de remoção tais como a biodegradação anaeróbica predominam no WCH. A fotodegradação através da exposição à luz solar tem um papel ativo na remoção de contaminantes orgânicos no WCSL (ÁVILA et al., 2015).

Arranjos compostos por tanque imhoff seguidos de WCV-WCH-WCSL quando aplicados no tratamento de esgoto sanitário apresentam, um excelente desempenho global de tratamento para os parâmetros de qualidade da água convencionais, variando de 98% a 99% de eficiência média de remoção para SST, DBO<sub>5</sub> e N-NH<sub>4</sub> (ÁVILA et al., 2015).

O efluente final dos sistemas tanque imhoff seguido de WCSH (WCV-WCH-WCSL) atendem as normas espanholas existentes para aplicação de vários tipos de reutilização, como recarga de aquíferos por infiltração no solo, silvicultura, irrigação de florestas e para áreas verdes não acessíveis ao público (ÁVILA et al., 2015).

### **3.2.8 Operação e manutenção em WC**

Duas décadas de estudos em WC têm provado que o entupimento ou colmatação pode limitar o tempo de vida do maciço filtrante e pode ameaçar a viabilidade generalizado da tecnologia (KNOWLES et al., 2011).

A colmatação ocorre devido a presença de uma combinação de sólidos orgânicos, inorgânicos e contribuição de biomassa presente na

água residual que ficam retidos no meio filtrante dos WC e adquirem propriedades físicas que podem ser prejudiciais para o sistema hidráulico (KNOWLES et al., 2011).

No entanto, o volume ou a massa de matéria obstruída no filtro não se correlaciona necessariamente com alterações na condutividade hidráulica correspondente. Esta falta de entendimento é uma barreira para o desenvolvimento de ferramentas de simulação em WC, e requer novas técnicas experimentais a serem desenvolvidas que podem elucidar como a natureza do material retido no maciço filtrante influencia a condutividade hidráulica (KNOWLES et al., 2011).

Os pontos gerais a considerar ao projetar um WC a fim de reduzir a velocidade de colmatação são (KNOWLES et al., 2011):

- (i) Propiciar uma distribuição uniforme sobre a área do WC;
- (ii) Promover uma alimentação intermitente do afluente;
- (iii) Incorporação de um estágio de pré-tratamento efetivo na remoção de sólidos em suspensão e material graxo.

### **3.3 Diretrizes normatizadas aplicadas em WC**

Nos países onde a ecotecnologia dos *wetlands* construídos é consolidada, há varias diretrizes oficiais publicadas como normas técnicas e guias fundamentadas em publicações de periódicos. Na União Europeia, por exemplo, entidades governamentais tais como a Agência Ambiental da União Europeia, produziram diretrizes sobre a gestão sustentável da água em instalações turísticas alocadas em áreas consideradas ambientalmente sensíveis. Nesses locais geralmente não há serviços públicos ou privados de coleta e tratamento de esgoto sanitário. As diretrizes foram fundamentadas em pesquisas realizadas e em publicações de periódicos.

#### **3.3.1 Dinamarca**

Diretrizes oficiais para o tratamento local de efluentes domésticos foram publicadas pelo Ministério do Meio Ambiente da Dinamarca, como consequência de novos requisitos para o tratamento individual de esgoto sanitário em residências e moradias em áreas rurais. As diretrizes propostas para os *wetlands* construídos de fluxo vertical foram orientadas para atender desempenhos de remoção de 95% DBO e 90% de nitrificação (BRIX e ARIAS, 2005).

O sistema proposto pode ser ampliado com a precipitação química do fósforo com policloreto de alumínio no tanque de sedimentação, para satisfazer os requisitos de 90% de remoção de fósforo (BRIX e ARIAS, 2005).

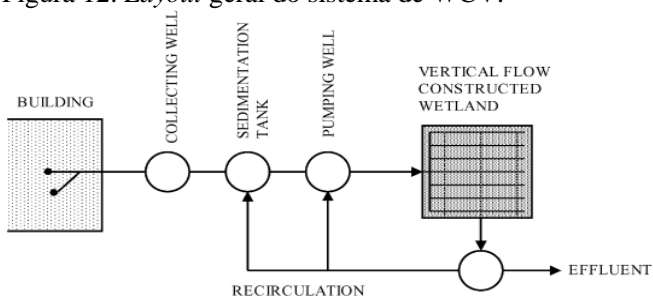
A área de superfície necessária do leito de filtração proposta foi de 3,2 m<sup>2</sup>/p.e. e a profundidade efetiva do filtro de 1,0 m. As características granulométricas definidas para o meio filtrante foram areia com  $d_{10}$  entre 0,25 e 1,2 mm,  $d_{60}$  entre 1 e 4 mm, e um coeficiente de uniformidade ( $U = d_{60}/d_{10}$ ) inferior a 3,5 (BRIX e ARIAS, 2005).

No esquema proposto (Figura 12), o esgoto após a sedimentação é distribuído sobre a superfície do leito filtrante usando uma rede de tubos de distribuição e por meio de bombeamento em pulso.

A camada de drenagem no fundo do leito é passivamente arejada através de tubos verticais que se prolongam para a atmosfera, a fim de melhorar a transferência de oxigênio para o meio filtrante.

Metade do efluente nitrificado do filtro é recirculado para a primeira câmara do tanque de sedimentação ou para o bombeamento, a fim de melhorar a desnitrificação e para estabilizar o desempenho do sistema de tratamento (BRIX e ARIAS, 2005).

Figura 12. *Layout* geral do sistema de WCV.



Fonte: adaptado de Brix e Arias (2005)

Um sistema de redução de fósforo foi instalado no tanque de sedimentação, utilizando uma pequena bomba dosadora de policloreto de alumínio. A mistura de produtos químicos é obtida por uma bomba de transporte aéreo simples, que também circula a água no tanque de sedimentação.

Metade do efluente do WC é retornado para o tanque de sedimentação, ou, alternativamente, para o poço de bombeamento, para

aumentar a remoção de nitrogênio e estabilizar o desempenho do sistema (BRIX e ARIAS, 2005).

O efluente oriundo do WCV é uma alternativa atraente para a prática comum de infiltração no solo, e proporciona um tratamento eficiente de águas residuais para lançamento em corpos d'água (BRIX e ARIAS, 2005).

### 3.3.2 Alemanha

Na Alemanha por meio um programa saneamento sustentável encomendado pelo Ministério Federal Alemão para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ), publicou-se orientações sobre *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial para tratamento de águas cinza e de esgoto doméstico.

As diretrizes propostas foram fundamentadas em experiências com WC em diversos países, como as Filipinas, Síria e Albânia. Na Alemanha os WC são considerados como tecnologias adequadas para a gestão sustentável de águas residuais.

Em climas quentes, a área específica pode ser relativamente baixa, devido à atividade biológica ser relativamente alta. No entanto, é considerado arriscado construir WC com baixa área específica, pois acarreta em um risco maior de falha no processo, como a colmatação do meio filtrante (GIZ, 2011).

Segundo Giz (2011) recomenda-se os seguintes critérios básicos de projeto e dimensionamento para WCH aplicados no tratamento de esgoto sanitário:

- (i) A inclinação de leito deve ser de 0,5 a 1% para alcançar uma boa drenagem;
- (ii) A profundidade do leito filtrante é normalmente em torno de 60 cm, com uma adicional de borda livre de 15 cm para acumulação de água;
- (iii) A área superficial específica exigida é de cerca de 3 a 10 m<sup>2</sup>/p.e. dependendo da temperatura e de outros fatores;
- (iv) A carga orgânica por unidade de superfície não deve exceder de 4 a 10 g DBO.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> em climas frios ou 16 g DQO.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> em climas quentes. Em climas frios o valor mínimo de projeto não deve ser inferior a 5 m<sup>2</sup>/p.e.;
- (v) A carga hidráulica deve ser de 60 a 80 mm.d<sup>-1</sup> para águas cinza e de 40 mm.d<sup>-1</sup> para esgoto sanitário.

As recomendações básicas de projeto e dimensionamento de WCV aplicados no tratamento de esgoto sanitário segundo (GIZ, 2011) são:

- (i) As tubulações de distribuição do esgoto sobre a superfície do meio filtrante devem ser cobertos com cascalho para evitar o acúmulo de esgoto durante o bombeamento em pulsos;
- (ii) Os tubos de distribuição devem ser concebidos de tal maneira que alcancem uma distribuição uniforme de águas residuais em todo o leito filtrante. Isto é assegurado escolhendo o diâmetro adequado dos tubos de distribuição, o comprimento dos tubos, diâmetro dos orifícios e o espaçamento entre os furos;
- (iii) A distância entre os tubos de drenagem pode ser de cerca de 5 m. A tubulação de drenagem deve ser coberto com cascalho para permitir uma boa drenagem. Uma declividade de 0,5 a 1% em direção à saída é importante para WCV;
- (iv) A profundidade dos leitos filtrantes de areia deve ser de pelo menos 50 cm, com um adicional de 20 cm de cascalho na base para cobrir a tubos de drenagem, 10 centímetros de cascalho na parte superior do leito e 15 cm de altura livre para a acumulação de água. O cascalho em cima evita a acumulação de água livre na superfície;
- (v) A área superficial específica exigida é normalmente de 3 a 4  $\text{m}^2/\text{p.e.}$  em regiões frias, e de 1 a 2  $\text{m}^2/\text{p.e.}$  em regiões quentes;
- (vi) A carga orgânica por área de superfície deve ser limitada a 20 g  $\text{DQO} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  em climas frios para aplicação no tratamento de águas cinzas e esgoto sanitário. Em climas quentes, recomenda-se carregamento variando de 60 a 70 g  $\text{DQO} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ , correspondente a cerca de 30 a 35 g  $\text{DBO} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ . No entanto, isto pode também variar dependendo da opção de reutilização e da legislação local;
- (vii) A carga hidráulica para WCV em climas frios não deve ser superior a faixa de 100 a 120  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ .

### 3.3.3 França

Na França os critérios para dimensionamento propostos para o WCV-SF foram fundamentados em Cooper et al. (1996), sendo que este

método de dimensionamento é utilizado para pequenas comunidades, menor que 100 habitantes, seguindo o proposto na equação 2.

$$A1 = 3,5 \cdot P^{0,35} + 0,6 P \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

A1 = área do primeiro filtro vertical (m<sup>2</sup>);

P = número de habitantes conectados (pessoas).

A superfície do segundo filtro será de 50% de A1, se o efluente é oriundo de tratamento primário e 60% de A1 se for efluente bruto. Isso dá valores entre 3,2 m<sup>2</sup>/hab para até 4 hab e 1,3 m<sup>2</sup>/hab para comunidades com até 100 habitantes para tratar efluente bruto (AERMC, 1999).

Para unidades maiores, é recomendado dimensionar como segue (AERMC, 1999):

- (i) para reduzir apenas DBO<sub>5</sub>, 1 m<sup>2</sup>/hab é suficiente (em área total);
- (ii) se a nitrificação é necessário, deve-se utilizar uma área de superfície de 2 m<sup>2</sup>/hab.

A distribuição das áreas das duas fases será realizada de modo que a segunda fase tenha uma área de superfície igual à metade da primeira ou 0,7 m<sup>2</sup>/hab para primeiro estágio e 0,3 m<sup>2</sup>/hab para o segundo ou 1,3 m<sup>2</sup>/hab para A1, e 0,7 m<sup>2</sup>/hab para A2 se há necessidade de nitrificação (AERMC, 1999) (Tabela 4).

Tabela 4. Superfícies específicas necessárias em m<sup>2</sup>/hab em função do número de habitantes equivalentes.

População atendida	Efluente	A1(m <sup>2</sup> /hab)	A2(m <sup>2</sup> /hab)	Área Total(m <sup>2</sup> /hab)
4 hab.	pré-tratado	2	1	3
	Bruto	2	1,2	3,2
100 hab.	pré-tratado	0,8	0,4	1,2
	Bruto	0,8	0,5	1,3
>100 hab.	DBO	0,7	0,3	1
	DBO+nitrificação	1,3	0,7	2

Fonte: AERMC (1999)

Na França, a nitrificação é um objetivo almejado no processo de tratamento. A maioria dos filtros de primeiro estágio são dimensionados

em  $1 \text{ m}^2/\text{hab}$  no caso de um sistema *on site* e  $1,5 \text{ m}^2/\text{hab}$  no caso de um sistema em *cluster* (AERMC, 1999).

O dimensionamento do segundo estágio é baseado em grande parte na permeabilidade do meio filtrante. Em geral, considera-se  $1 \text{ m}^2/\text{hab}$ , no entanto, com uma brita de boa qualidade, alta permeabilidade, pode chegar até  $0,5 \text{ m}^2/\text{hab}$ . Usando este material, mesmo que represente um custo significativo, torna-se possível dividir a superfície por dois, e, por conseguinte, obter o volume necessário menor. Portanto, torna-se rentável adotar como meio filtrante materiais com qualidade geotécnica que proporcionem uma boa permeabilidade (AERMC, 1999).

A prática atual francesa para filtros verticais se resume em critérios de projeto, como área por habitante, carga orgânica aplicada e permeabilidade do meio filtrante, como sendo: (i)  $2,5 \text{ m}^2/\text{hab}$ ; (ii)  $20 \text{ g DBO}_5 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ; (iii)  $10 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$  (AERMC, 1999).

Para tratamento de esgoto bruto, o WCV-SF geralmente requer dois estágios. No entanto, para tratamento secundário, por exemplo, oriundo de uma lagoa de tratamento primário, um único estágio pode ser suficiente. Portanto, o número de estágios depende da qualidade da água que alimentara o dispositivo seguinte (AERMC, 1999).

O número de unidades de WC por estágio foi definido em função de critérios operacionais, sendo que um mínimo de dois WC é obrigatório, a fim de operar alternadamente, e proporcionar um período de descanso, de modo a evitar a rápida colmatção do filtro. Este modelo é aplicado ao tratamento primário ou secundário para pequenas instalações (AERMC, 1999).

Para instalações de mais de 100 pessoas, três unidades de WC geralmente são utilizadas no primeiro estágio e duas unidades no segundo estágio, de modo a proporcionar períodos de repouso de cerca de  $2/3$  do tempo (AERMC, 1999).

### **3.4 Critérios brasileiros normatizados para tecnologias de tratamento de esgoto aplicados aos loteamentos, condomínios, comunidades rurais e isoladas**

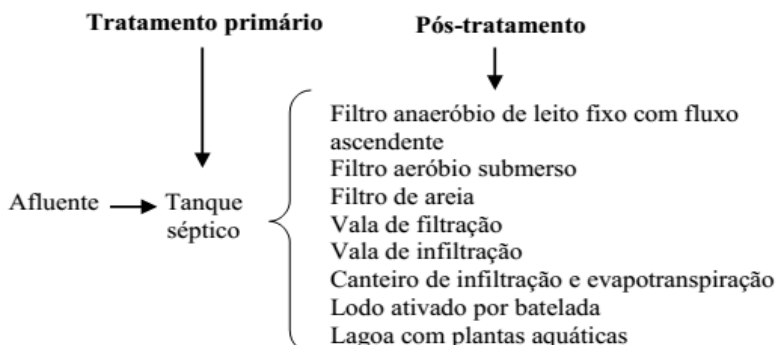
A NBR 7229 (ABNT, 1992) trata sobre o tratamento primário de esgoto sanitário com tanque séptico (TS), sendo que o mesmo não remove nutrientes e não atende as normas técnicas, resoluções e leis que dispõem sobre padrões de lançamento de efluentes sanitários. Deste modo,



é necessário a aplicação de tratamento complementar de efluentes oriundos de tanque séptico.

A NBR 13679 (ABNT, 1997) apresenta alternativas tecnológicas para o pós-tratamento de efluentes de tanque séptico e, também, apresenta parâmetros para lançamento de efluentes em galeria pluvial e outros corpos receptores (Figura 13).

Figura 13. Alternativas de Tratamento de esgoto sanitário oriundos de tanque séptico.



Fonte: Adaptado da ABNT (1997).

No Brasil não há diretrizes normatizadas sobre *wetlands* construídos, no entanto, a NBR 7229 (ABNT, 1992) e NBR 13969 (ABNT, 1997) fornecem informações sobre a construção de diferentes unidades de pós-tratamento e disposição de efluentes líquidos de tanque séptico, como o filtro de areia e valas de infiltração que possuem características similares de projeto, implantação e operação com os *wetlands* construídos de fluxo vertical e horizontal (SEZERINO et al., 2012).

Filtro de areia (FA):

O filtro é um tanque preenchido de areia e outros meios filtrantes, com fundo drenante e com esgoto em fluxo descendente, onde ocorre a remoção de poluentes, tanto por ação biológica quanto física (ABNT, 1997).

Os fatores determinantes no projeto e na operação dos filtros de areia segundo NBR 13969 (ABNT, 1997) são: especificação do material para filtração; manutenção da condição aeróbia e intermitência na

aplicação de esgotos; taxa de aplicação; alternância de uso e manutenção.

Para projetos de filtro de areia (FA) a NBR 13969 (ABNT, 1997) recomenda que a taxa de aplicação deve ser limitada a  $100 \text{ L.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  para cálculo da área superficial do filtro e para efluentes oriundos de tanque séptico;  $200 \text{ L.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  para efluente do processo aeróbio de tratamento; para locais cuja temperatura média mensal de esgoto é inferior a  $10^{\circ}\text{C}$ , as taxas devem ser limitadas, respectivamente, a  $50 \text{ L.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  e  $100 \text{ L.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .

Sobre operação a NBR 13969 (ABNT, 1997) recomenda a manutenção da condição aeróbia e intermitência. Para tanto, a aplicação do efluente deve ser feita de modo intermitente, com emprego de uma pequena bomba ou dispositivo dosador, permitindo o ingresso de ar através do tubo de coleta durante o período de repouso.

Para manutenção do FA a NBR 13969 (ABNT, 1997) recomenda o repouso do filtro com objetivo de realizar a digestão do material retido no meio filtrante e para remoção dos sólidos da superfície do filtro de areia. Para tanto, devem ser previstas duas unidades de filtro, cada uma com capacidade plena de filtração.

#### Vala de Filtração (VF):

A vala de filtração (VF) é uma vala escavada no solo, preenchida com meios filtrantes e provida de tubos de distribuição de esgoto e de coleta de efluente filtrado, destinada à remoção de poluentes através de ações físicas e biológicas sob condições essencialmente aeróbias (ABNT, 1997).

O sistema de VF se diferencia do FA por não possuir área superficial exposta ao tempo, sendo construído no próprio solo, podendo ter suas paredes impermeáveis (ABNT, 1997).

Os fatores determinantes no projeto e na operação das VF são similares ao FA: taxa de aplicação; manutenção da condição aeróbia no interior do filtro e intermitência na aplicação de esgoto; processo construtivo; alternância.

A taxa de aplicação do efluente a ser considerada não deve ser superior a  $100 \text{ L.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  para efluente oriundo de tanque séptico. Os intervalos de aplicação de efluente do tanque séptico em vala de filtração não devem ser inferiores a 6 h (ABNT, 1997).

A VF deve ser operada em condições aeróbias. Para tanto, devem ser previstos tubos de ventilação protegidos contra o ingresso de

insetos. Além disso, o funcionamento da vala deve ser intermitente (ABNT, 1997).

A VF deve ser operada alternadamente. Para tanto, devem ser previsto pelo menos duas unidades, cada uma com capacidade plena de filtração. O intervalo entre a alternância não deve ser superior a três meses (ABNT, 1997).

### **3.5 Parcelamento do Solo Urbano**

O parcelamento de solo urbano poderá ocorrer mediante loteamento ou desmembramento (BRASIL, 1979).

Desmembramento é a subdivisão de gleba em lotes destinados à edificação, com aproveitamento do sistema viário existente, desde que não implique a abertura de novas vias e logradouros públicos nem prolongamento, modificação ou ampliação dos já existentes (BRASIL, 1979).

O loteamento ocorre pela subdivisão de gleba em lotes destinados à edificação, exigindo prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes ou a abertura de novas vias e de novos logradouros públicos (BRASIL, 1979).

Apesar de não estar explícito na lei federal de parcelamento do solo, considera-se os condomínios horizontais ou de terrenos como parcelamento do solo urbano e caracteriza-se por ser uma área privada e restrita aos moradores, regida pela Lei n. 4591/64 (BRASIL, 1964), sendo indispensável à apresentação do projeto de edificação aprovado pelo ente municipal (MPSC, 2015).

O parcelamento do solo urbano somente será permitido para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definida pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal (BRASIL, 1979).

Entretanto, não será permitido o parcelamento do solo em seguintes situações: (i) em áreas de preservação ecológica (ii) naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção; (iii) em área sujeita a alagamentos.

#### **3.5.1 Loteamentos**

Nos municípios que não há normas que regulamentem a ocupação da gleba a ser loteada, aplicar-se-á a Lei Federal do Parcelamento do Solo Lei n. 6766/1979 e suas alterações, que estabelece

a exigência mínima de trinta e cinco por cento (35%) da gleba destinada a áreas de uso público, à circulação, equipamentos urbanos e comunitários, espaços livres de uso público (BRASIL, 1979).

De um modo geral, para parcelamento do solo via loteamentos estão previstos para a gleba a ser parcelada áreas destinadas ao uso público, como área institucional, área de arruamento e área verde que devem computar juntas 35% da área útil da gleba.

A área institucional é destinada à edificação de equipamentos comunitários como praças, ginásios de esporte, salão comunitário, entre outros. Consideram-se comunitários os equipamentos públicos de educação, cultura, saúde, lazer e similares (MPSC, 2015).

A área de arruamento é destinada à abertura de vias de circulação na gleba, feita pelo proprietário, com prévia aprovação da prefeitura e transferência gratuita das áreas das ruas ao município, como pode ser realizado por este para interligação do seu sistema viário, caso em que deverá indenizar as faixas necessárias às vias públicas (MPSC, 2015).

Já a área verde destina-se a parques, a jardins e à preservação do patrimônio natural, seja qual for o tipo de vegetação. A resolução conjunta IBAMA/FATMA n.1/95, define área verde nos seguintes termos: circulação, equipamentos urbanos e comunitários, espaços livres de uso público.

A composição da área verde deve atender aos parâmetros estabelecidos em Plano Diretor, nas leis de Zoneamento Urbano e de Uso do Solo Municipal (MPSC, 2015).

Nas glebas desprovidas de vegetação ou em estágio inicial de regeneração da Mata Atlântica, situadas em municípios que não tenham estabelecidos em lei os parâmetros de composição da área verde, a mesma deve corresponder a 40 m<sup>2</sup> por lote, conforme previsto na Resolução Conjunta IBAMA/FATMA nº. 01/95.

A ecotecnologia dos *wetlands* construídos, como as demais ETE, geralmente são alocados nos loteamentos computando como área institucional ou de utilidade pública.

Já para alocação da ecotecnologia em áreas verdes a mesma deverá atender os quesitos legais e características funcionais destinadas às áreas verdes, como área mínima, tipo de vegetação, atração da avifauna, entre outras. A alocação da ecotecnologia computando como área verde favorece sua potencialidade de aplicação por empreendedores.

Dentre as infraestruturas básicas dos loteamentos estão o sistema de abastecimento de água, drenagem de águas pluviais, sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários (BRASIL, 1979).

Os sistemas de tratamento esgoto individual, no lote, adotados em loteamentos geralmente são definidos conforme lei municipal, plano diretor, diretrizes da vigilância sanitária municipal, órgão competente pelo saneamento municipal, bem como do órgão ambiental competente.

Os arranjos tecnológicos adotados no tratamento de esgoto sanitário individual ou no lote em loteamentos geralmente são aqueles normatizados pelas NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997 (ABNT, 1993; ABNT, 1997), composto principalmente por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, com posterior lançamento de esgoto sanitário na galeria de águas pluviais ou com infiltração no solo.

Quando os sistemas adotados são coletivos ou em *cluster* há várias modalidades de sistemas de tratamento de esgoto sanitário aplicadas aos loteamentos, como as ETE compactas, lodos ativados em batelada, UASB seguido de lodos ativados, UASB seguido de filtro aeróbio submerso, reator anaeróbio compartimentado (RAC) seguido WCV, entre outras.

### 3.5.2 Condomínios

Em condomínios o regime jurídico é de direito privado regido pela Lei Federal n. 4.591/64. O “condomínio deitado ou de lotes” é marcado por ser uma área privada, com praças e ruas particulares, seu acesso é bloqueado à população e só se realiza por meio de autorização dos moradores. Salienta-se que, para a construção do condomínio, o projeto deverá ser aprovado pelo município e seguir os ditames da Lei n. 4.591/64 e da Lei municipal (MPSC, 2015).

Nas glebas desprovidas de vegetação ou em estágio inicial de regeneração da Mata Atlântica, destinadas à implantação de condomínios e situadas em municípios que não tenham estabelecidos em lei os parâmetros de composição da área verde, a mesma deve corresponder a 40 m<sup>2</sup> por lote, conforme previsto na Resolução Conjunta IBAMA/FATMA n°. 01/95.

Dentre as infraestruturas básicas dos condomínios estão os sistemas de abastecimento de água, drenagem de águas pluviais, sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários.

O sistema de tratamento de esgotos sanitários utilizados em condomínios pode ser individual, tratamento no lote, ou coletivo,

atendendo todo o condomínio. A operação e manutenção do sistema de coleta e tratamento esgotos são de responsabilidades do condomínio.

A área destinada a ETE em condomínios geralmente é uma área a parte, não sendo computadas de áreas institucionais ou de utilidade pública, pois em condomínios não há.

A ecotecnologia dos *wetlands* construídos poderia ser alocada nos condomínios computando como área verde, desde que o *wetland* atenda os quesitos legais e características funcionais destinadas às áreas verdes. A locação de *wetlands* computando como área verde poderia favorecer sua potencialidade de aplicação por empreendedores.

A concepção dos sistemas de tratamento adotados em condomínios de terrenos, no lote ou em *cluster*, são as mesmas aplicáveis aos loteamentos, conforme proposto pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997) para tratamento no lote e ETE compactas, UASB seguido de lodos ativados, UASB seguido de filtro aeróbio submerso, reator anaeróbio compartimentado (RAC) seguido WCV, entre outras, para os sistemas coletivos.

A Figura 14 apresenta o perfil geral de uma ETE implantada para o tratamento de esgoto sanitário em condomínio fechado localizado no município de Palhoça-SC, e composta por sistema de recalque, RAC, WCV e tanque de contato com desinfecção por cloro. A ETE foi projetada para atender até 2200 pessoas.

Figura 14. ETE composta por RAC seguido de WCV e tanque de desinfecção implantada em condomínio residencial no município de Palhoça – SC.



Fonte: Adaptado de Trein et al. (2015).

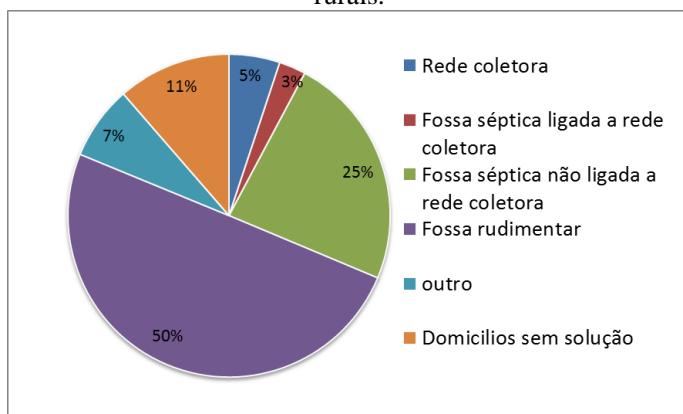
### 3.6 Comunidades Rurais e Isoladas

#### 3.6.1 Saneamento Rural

Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), aproximadamente 161 milhões de habitantes, 84,36% da população brasileira, residem em área urbana, enquanto 30 milhões, 15,64 % da população, residem em áreas consideradas rurais, os quais totalizam aproximadamente 8 milhões de domicílios em áreas rurais.

Em áreas rurais os sistemas de tratamento de esgoto sanitário adotados em maior parte são fossas rudimentares (50%) e outras soluções (7%), os quais representam os domicílios rurais (Figura 15), respectivamente. Além disso, 11% dos domicílios não dispõem de nenhuma solução (IBGE – PNAD, 2014). Estes sistemas de tratamento são inadequados e comprometem qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas e colocam em risco a saúde da população local.

Figura 15. Alternativas de tratamento de esgoto sanitário nos domicílios rurais.



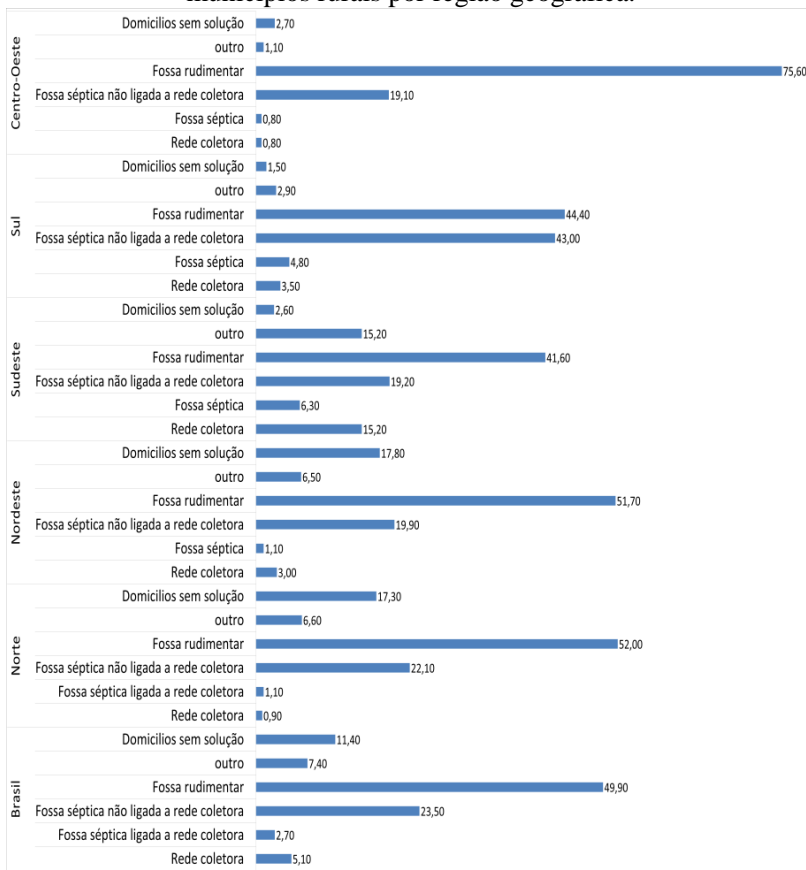
Fonte: adaptado de IBGE – PNAD (2014).

Dentre as soluções adotadas para o esgotamento sanitário em domicílios rurais, destaca-se o predomínio da utilização de fossas rudimentares em todas as regiões do Brasil, no entanto as regiões Norte

e Nordeste apresentam também elevados percentuais de domicílios sem soluções para esgoto sanitário (FUNASA, 2013).

Segundo o PNAD (2014) somente 3% dos domicílios rurais possuem coleta de esgoto ligada à rede geral e 25% possuem fossa séptica não ligada à rede coletora. A Figura 16 apresenta as alternativas de tratamento de esgotamento sanitário em municípios rurais por região geográfica.

Figura 16. Alternativas de tratamento de esgotamento sanitário em municípios rurais por região geográfica.



Fonte: IBGE – PNAD (2014).



### 3.7 WC aplicados em sistemas municipais no estado de SC

Nos países onde a ecotecnologia é considerada consolidada os arranjos tecnológicos com WCV são bastante aplicados no tratamento de águas residuais domésticas em municípios de pequeno porte, com baixa densidade populacional e com características de zonas rurais. No Brasil a ecotecnologia dos WC ainda é pouco utilizada em sistemas municipais.

No município de Meleiro/SC foi implantado um sistema municipal de tratamento de esgoto composto por rede coletora, estruturas acessórias e ETE composta por um PV de chegada, sistema de recalque, RAC como tratamento primário, WCV como tratamento secundário, tanque de contato como tratamento terciário e emissário terrestre até o corpo receptor (Rio Manoel Alves). O WCV possui uma área superficial de 3900 m<sup>2</sup> e foi projetado para atender na primeira etapa 3000 p.e., com vazão média de 600 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>. As Figuras 17 e 18 apresentam o RAC seguido por WCV implantado no município Meleiro/SC.

Figura 17. Vista do RAC seguido de WCV implantado em sistema municipal.



Fonte: Acervo GESAD.

O *wetland* implantado é de fluxo vertical descendente, constituído de uma camada de areia grossa entre duas de brita n. 4. A impermeabilização de fundo é constituída por uma manta geotêxtil de um milímetro de espessura. A planta utilizada foi a macrófita *Typha*

angustifolia (taboa) as quais foram distribuídas de forma equitativa sob a área superficial.

Figura 18. Vista do *wetland* com impermeabilização e plantado com *Typha sp.*



Fonte: Acervo GESAD

Em relação à aplicação de WCH também há exemplos de aplicação em comunidades rurais e loteamentos no município de Campos Novos/SC (Figura 19). Diversas unidades estão sendo implantadas, sendo algumas delas já em carga e outras em processo de finalização de construção. Há unidades projetadas e implantadas para atender um equivalente populacional variando de 200 pessoas até duas mil pessoas.

Figura 19. Vista de WCH implantado em Campos Novos/SC.



Fonte: adaptado de Wetlands Brasil (2016).

Destaca-se que Campos Novos pode ser considerado um município de referência tratando-se da aplicação de *wetlands* construídos, onde o SAMAE do município é o responsável pela operação.

### **3.8 Licenciamento Ambiental no Estado de Santa Catarina**

O licenciamento ambiental é um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso, destacando-se a resolução CONAMA n. 237/1997 (BRASIL, 1997).

#### **3.8.1 Leis e Normas aplicáveis**

A resolução CONSEMA nº 13/2012 do Estado de Santa Catarina apresenta a listagem das atividades consideradas potencialmente poluidoras ou causadoras de degradação ambiental e com os respectivos estudos ambientais necessários para realizar o licenciamento ambiental. Dentre as atividades constantes estão: extração de minerais, atividades agropecuárias e silviculturais, aquicultura, indústrias, construção civil, serviços de infraestrutura, serviços diversos, atividades diversas, entre outras.

Nas atividades diversas constam as seguintes atividades relacionadas ao parcelamento do solo urbano e a ocupações de áreas rurais e isoladas, destacando-se: (i) desmembramento exclusivo ou predominantemente residencial; Loteamento e/ou condomínio de terrenos; (ii) condomínios de casas ou edifícios; (iii) atividades de hotelaria, com capacidade de 100 ou mais hóspedes; (iv) condomínios residenciais horizontais rurais; (v) empreendimentos turísticos sustentáveis com área útil da propriedade superior a 2 (dois) hectares; (vi) conjuntos habitacionais destinados à população de baixa renda; (vii) condomínios comerciais horizontais ou verticais; (viii) loteamento com fins industriais e comerciais.

Os estudos ambientais geralmente aplicados são RAP – Relatório Ambiental Prévio, EAS – Estudo Ambiental Simplificado, EIA-RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do

Meio Ambiente e são enquadrados conforme o porte da atividade. Para enquadramento da atividade de sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário utiliza-se a vazão média de final de plano, em litros por segundo, e para loteamentos e condomínios utiliza-se a área útil, em hectares.

A Tabela 5 apresenta as atividades de loteamentos, condomínios e sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, que são consideradas potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente pela resolução CONSEMA n. 13/2012 (SANTA CATARINA, 2012).

Tabela 5. Resolução CONSEMA n. 13/2012: lista de atividades potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente.

<b>Porte</b>	<b>Estudo ambiental</b>	
Sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário		
$Q(2) \leq 50$	Pequeno	RAP
$50 < Q(2) < 50$	Médio	EAS
$Q(2) > 400$	Grande	EIA-RIMA
Loteamentos e condomínios de terrenos		
$AU \leq 1$	Pequeno	EAS
$1 < AU < 5$	Médio	EAS
$AU > 5$	Grande	EAS

AU = área útil (hectare); Q(2) = vazão média ao final do plano (l/s).

Fonte: Instrução Normativa n. 03 e n. 05 – FATMA/SC.

Empreendimentos potencialmente poluidores que tem como impacto ambiental a degradação de recursos hídricos devido à geração de esgoto sanitário, caso dos loteamentos, condomínios, sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, necessitam realizar o licenciamento ambiental perante o órgão ambiental competente.

Dentre as exigências para o licenciamento ambiental para loteamentos e condomínios referente a estação de tratamento de esgoto sanitário destacam-se: (i) o estudo ambiental (Tabela 5); (ii) teste de infiltração e de determinação do lençol freático para casos de infiltração do esgoto sanitário tratado; (iii) anuência da concessionária de serviços de esgoto, visando sua manutenção e operação do sistema de tratamento; (iv) responsabilidade pela operação e manutenção do sistema de tratamento de esgoto sanitário; (v) relatório do programa de monitoramento da qualidade dos efluentes tratados e do corpo receptor, com respectivos laudos de análise.

Os sistemas comumente adotados para tratamento individual de esgoto sanitário em loteamentos e condomínios de terrenos são aqueles

constantes nas NBR 7229/93 (ABNT, 1993) e NBR 13969/97 (ABNT, 1997), constituídos de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio submerso, filtro aeróbio, filtro de areia, vala de filtração, lodos ativados em batelada e lagoa com plantas.

A Tabela 6 apresenta os percentuais de remoção de poluentes para arranjos apresentados pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997).

Tabela 6. Faixas prováveis de remoção de poluentes considerado em conjuntos com tanque séptico (%).

Parâmetros	Sistema					
	Filtro anaeróbio submerso	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de filtração	Lodos ativados batelada	Lagoa com plantas
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
Sólidos sedimentáveis (mL.L <sup>-1</sup> )	>70	80 a 95	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	-	>90	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 80	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes (NMP/100mL)	-	30 a 70	>99	>99,5	-4	-

Fonte: Adaptado NBR 13969 (ABNT, 1997)

Quando os sistemas adotados são coletivos ou em *cluster* há várias modalidades de sistemas de tratamento de esgoto sanitário aplicadas a loteamentos e condomínios, como as ETE compactas, lodos ativados em batelada, UASB seguido de lodos ativados, UASB seguido de filtro aeróbio submerso, reator anaeróbio compartimentado (RAC) seguido WCV, entre outras.

Empreendimentos potencialmente poluidores como loteamentos, condomínios, sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, devem atender o que dispõe a legislação e normas sobre projeto, operação de unidades de tratamento, bem como sobre padrões para lançamento de efluentes e para enquadramento do corpo receptor. Dentre essas legislações e resoluções destacam-se as resoluções do CONAMA n. 430/2011 (BRASIL, 2011), Lei n. 6514/2009 (SANTA CATARINA, 2009) e CONAMA n. 357/2005 (BRASIL, 2005).

No estado de Santa Catarina, por meio do CONSEMA, foi elaborada uma proposta para lançamento de esgotos sanitários

fundamentada no Art. 44 da Lei Federal 11.445/2007 que estabelece: (i) o licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes gerados nos processos de tratamento de água considerará etapas de eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, em função da capacidade de pagamento dos usuários; (ii) a autoridade ambiental competente estabelecerá procedimentos simplificados de licenciamento em função do porte das unidades e dos impactos ambientais esperados; (iii) a autoridade ambiental competente estabelecerá metas progressivas para que a qualidade dos efluentes de unidades de tratamento de esgotos sanitários que atenda aos padrões das classes dos corpos hídricos em que forem lançados, a partir dos níveis presentes de tratamento e considerando a capacidade de pagamento das populações e usuários envolvidos.

Nesse contexto, a Proposta do CONSEMA foi a adequação do Art. 177 da Lei Estadual 14.675/2009 (Código Ambiental do Estado de Santa Catarina) aos preceitos da Lei do Saneamento (Lei Federal 11.445/2007) e Resolução CONAMA 430/2011 (CONSEMA, 2015).

Nesta proposta as ETE foram categorizadas de acordo com as suas vazões de projeto (Q). Também foram definidas metas progressivas para atendimento dos parâmetros legais para lançamento de efluentes e enquadramento do corpo receptor, bem como critérios operacionais, como a definição da frequência de monitoramento nos parâmetros de interesse.

As ETEs foram categorizadas visando permitir o estabelecimento de exigências de diferentes níveis de obrigações técnicas e de gestão, de acordo com a capacidade técnico-financeira dos operadores das estações (CONSEMA, 2015).

A Tabela 7 apresenta leis, normas e resoluções com padrões para lançamento de efluentes e de enquadramento dos corpos receptores aplicáveis no licenciamento ambiental de loteamentos, condomínios e sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, bem como a proposta elaborada pelo CONSEMA em metas progressivas a serem atingidas até o ano de 2031 para ETE com  $Q \leq 5 \text{ L.s}^{-1}$ . A Tabela 8 apresenta as categorias de ETE com  $Q \leq 5 \text{ L.s}^{-1}$ ,  $Q \leq 60 \text{ L.s}^{-1}$  e  $Q \geq 60 \text{ L.s}^{-1}$  com padrões a serem atingidos até 2020.

Tabela 7. Padrões de lançamento de efluentes, enquadramento dos corpos receptores e proposta do CONSEMA em metas progressivas para ETE com  $Q \leq 5 \text{ L.s}^{-1}$

	CONSEMA média anual até 2020	CONSEMA média anual até 2031	CONSEMA média anual a partir de 2031	CONAMA n. 430	Lei n. 14975	CONAMA n. 357	NBR 13969 ***
pH	5 a 9	5 a 9	5 a 9	5 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura (°C)	<40	<40	<40	<40		<40	<40
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	<90	75	60	<120	<60	<5	<60
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	250	210	160	ND	ND	ND	<150
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	(b)	(b)	(b)	ND	ND	<1000	<1000
Sólidos sedimentáveis (mL.L <sup>-1</sup> )	<1 (a)	0,7	0,5	<1	<1	ND	<0,5
Óleos e graxas totais (mg.L <sup>-1</sup> )	75	60	50	100	30	Ausentes	<50
Nitrogênio total (mg.L <sup>-1</sup> )	N/A	N/A	N/A	ND	ND	ND	ND
Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	N/A	N/A	N/A	ND	ND	ND	ND
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	(c)	(c)	(c)	ND	4 *ou Remoção de 75%	0,03 a 0,05 **	ND

\* Para lançamento em lagoas, lagunas e estuários; \*\* Para água doce classe II; \*\*\* Para lançamento nas galerias de águas pluviais; ND – não definido. (a) Valor máximo (Resolução CONAMA 430/2011); (b) Depende de estudo do corpo receptor elaborado pelo interessado com base Termo de Referência e Matriz de Decisão; (c) Para ambientes lênticos, intermediários e lóticos, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005; PA: Padrão de acompanhamento; N/A: não aplicável. A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes.

Tabela 8. Padrões de lançamento de efluentes sanitários, frequência de monitoramento, média anual até 2020, conforme proposta do CONSEMA.

Parâmetros	ETE Categoria 1 Q ≤ 5 L.s <sup>-1</sup>		ETE Categoria 2 Q ≤ 60 L.s <sup>-1</sup>		ETE Categoria 3 Q ≥ 60 L.s <sup>-1</sup>	
	Valor	Frequência	Valor	Frequência	Valor	Frequência
pH	5 a 9	Trimestral	5 a 9	Bimestral	5 a 9	Mensal
Temperatura (°C)	<40	Trimestral	<40	Bimestral	<40	Mensal
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	90	Trimestral	80	Bimestral	80	Mensal
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	250	Mensal	220	Mensal	220	Mensal
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL) *	b	Trimestral	b	Bimestral	b	Mensal
Sólidos sedimentáveis (mL.L <sup>-1</sup> )	<1(a)	Trimestral	<1	Bimestral	<1	Mensal
Óleos e graxas totais (mg.L <sup>-1</sup> )	75	Trimestral	65	Bimestral	50	Mensal
Nitrogênio total (mg.L <sup>-1</sup> )	N/A	N/A	PA	Bimestral	PA	Mensal
Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	N/A	N/A	PA	Bimestral	PA	Mensal
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	C	Trimestral	c	Bimestral	c	Mensal

(a) Valor máximo da Resolução CONAMA 430/2011; (b) Depende de estudo do corpo receptor elaborado pelo interessado com base Termo de Referência e Matriz de Decisão; (c) Para ambientes lênticos, intermediários e lóticos, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005; PA: Padrão de acompanhamento; N/A: não aplicável; \*A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes. Fonte: (CONSEMA, 2015).



## 4 METODOLOGIA

A base metodológica para execução deste trabalho consistiu no levantamento bibliográfico em periódicos classificados pelo sistema WebQualis da CAPES e em plataforma de busca como WEB OF SCIENCE, dentro da área Engenharia I, em extratos variando de A1, A2, B1 e B2, seguido da compilação, ordenamento e interpretação das informações relacionáveis aos critérios de projeto e desempenho das diferentes modalidades de *wetlands* construídos empregados no tratamento de esgotos sanitários.

A busca foi direcionada aos países elencados como base onde a tecnologia dos *wetlands* é consolidada, aplicados no tratamento de esgoto em escala unifamiliar até uma escala municipal, com dados de monitoramento, projeto, eficiência e qualidade fundamentados na proposta do Conselho Estadual de Meio Ambiente – CONSEMA, do Estado de Santa Catarina.

Os dados levantados foram compilados, ordenados e interpretados com vista à identificação da potencialidade de uso da tecnologia para sistemas municipais descentralizados, loteamentos, condomínios, unidades isoladas, os quais necessitam de licenciamento ambiental no Estado de Santa Catarina.

Foram levantadas, também, as leis e normas aplicáveis para implantação de loteamentos, condomínios e empreendimentos alocados em áreas rurais e isoladas, bem como as instruções normativas IN 03 e IN 05 da Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (FATMA), as quais são utilizadas no procedimento de licenciamento ambiental de atividades relacionadas ao parcelamento do solo urbano e sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário, respectivamente.

De posse destas informações, buscou-se trabalhar no desenvolvimento de um fluxograma para orientar o processo do licenciamento ambiental de empreendimentos cuja alternativa de tratamento de esgotos seja os *wetlands* construídos.

### 4.1 Levantamento de dados bibliográficos

WebQualis é um sistema de classificação de periódicos nacionais e internacionais, no qual há publicações que representam a produção intelectual dos programas de pós-graduação brasileiros de

todas as áreas do conhecimento, podendo ser acessado por meio do endereço eletrônico <http://qualis.capes.gov.br>.

A consulta no WebQualis pode ser realizada pelo ISSN (*International Standard Serial Number*) do periódico, por parte do título do periódico ou área de avaliação.

O ISSN é um código de oito dígitos que tem como finalidade identificar e individualizar o título de uma publicação seriada em âmbito internacional. Para realizar a busca de periódicos basta inserir o código ISSN do periódico.

A busca no WebQualis através da classificação e área de avaliação é realizada por meio de filtros que restringem a busca dos periódicos, de acordo com a área e o estrato escolhido. Esse mecanismo é bem útil para quando se precisam selecionar apenas os periódicos mais qualificados.

A Tabela 9 apresenta um exemplo da matriz com levantamento das publicações avaliadas, bem como os indicadores utilizados para auxiliar a busca na plataforma de pesquisa.

Tabela 9. Exemplo da matriz das publicações avaliadas.

Periódico	Extrato	ISSN	Título do artigo pesquisado	Palavras-chave	Endereço eletrônico	Autores / ano
Ecological Engineering	A1	0925-8574	The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines	Constructed wetlands; Phosphorus, Nitrogen; Recirculation	<a href="http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0925857405001576">http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0925857405001576</a>	BRIX e ARIAS 2005
Ambiente Construído	B2	1678-8621	Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construído	Esgoto. Tratamento. Wetlands construídos. Desempenho	<a href="http://www.scielo.br/pdf/ac/v15n4/1678-8621-ac-15-04-0351.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ac/v15n4/1678-8621-ac-15-04-0351.pdf</a>	TREIN et al. 2015

Os periódicos mais recorrentes na pesquisa foram:

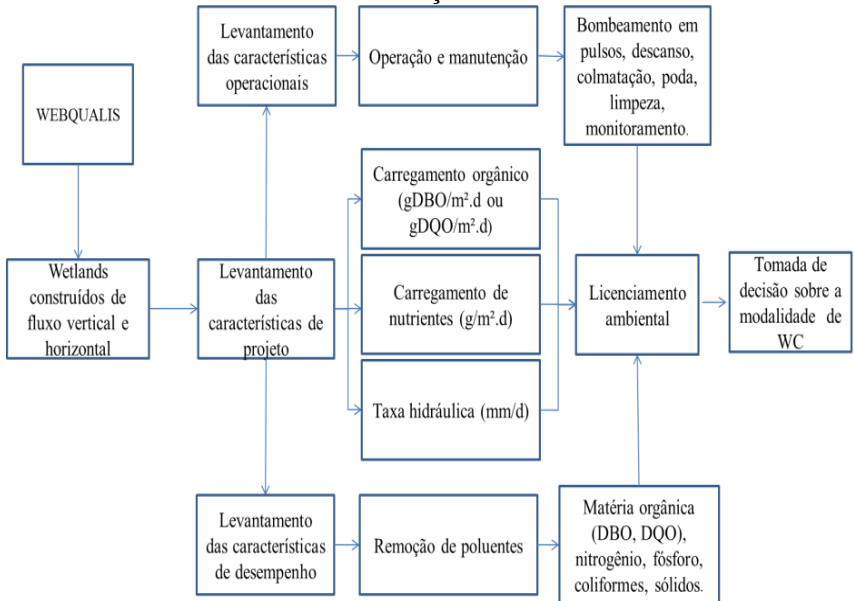
- (i) Ecological Engineering;
- (ii) Science of the Total Environment;
- (iii) Water Science & Technology;
- (iv) Engenharia Sanitaria e Ambiental.

No APÊNDICE I constam as publicações avaliadas.

## 4.2 Compilação e ordenamento das informações

Os dados técnicos relativos a projetos, concepção e desempenho dos *wetlands* foram levantados, compilados e ordenados, conforme o fluxograma apresentado na Figura 20.

Figura 20. Fluxograma utilizado para compilação e ordenamento das informações.



Fonte: O autor

## 4.3 Interpretação da informação levantada

A interpretação da informação foi baseada na comparação de requisitos de projetos, desempenho e condições operacionais de estudos realizados em vários países que possuem experiências na aplicação de *wetlands* construídos no tratamento de esgoto sanitário.

Utilizou-se, também, como base comparativa os países onde a tecnologia dos *wetlands* construídos é consolidada e normatizada, destacando-se a Dinamarca, a França e a Alemanha.

Ainda, foram avaliados os estudos realizados pelo Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado – GESAD, da Universidade

Federal de Santa Catarina, desenvolvidos no Estado de Santa Catarina, no qual se destacam: (i) os trabalhos desenvolvidos pela UFSC em parceria com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, desde 1994; (ii) os *wetlands* desenvolvidos nos municípios de Biguaçu e Palhoça, no qual avaliou-se ao longo de dois anos dois sistemas de tratamento, compreendendo um condomínio de terrenos para uso residencial, composto por um reator anaeróbio compartimentado (RAC) seguido de WCV-FS (área superficial de 3141 m<sup>2</sup>), e um empreendimento comercial composto por RAC seguido de WCV (área superficial 189 m<sup>2</sup>).

As informações levantadas foram comparadas com as exigências para implantação de sistemas municipais de coleta e tratamento de esgoto sanitário, de loteamentos, condomínios, unidades em áreas rurais, isoladas e relacionadas com as exigências para o licenciamento ambiental do Estado de Santa Catarina.

Dado a diversidade de informações, modelos de WC, tipo de água residual, composição dos arranjos com WC, os resultados obtidos foram analisados e selecionadas as publicações de interesse, aquelas relacionadas ao tratamento de água residual doméstica, municipal, urbana e com dados de projeto, dimensionamento, desempenho e operacional.

Após compilação e ordenamento dos dados, elaborou-se gráficos, tabelas e figuras relacionadas à interpretação das informações levantadas em diversos países, onde ecotecnologia é considerada como consolidada, bem como no Brasil.

A eficiência do tratamento foi calculada como a percentagem de remoção para os parâmetros SST, DBO, NH<sub>4</sub>, NT e PT, empregando-se para este cálculo de desempenho a equação 3.

$$E(\%) = (1-C/C_0) \times 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

C<sub>0</sub> e C são as concentrações (em mg.L<sup>-1</sup>) na entrada e saída da unidade de tratamento composta por *wetlands* construídos.

A ênfase desta avaliação foi referente ao desempenho de tratamento de vários tipos de WC aplicados no tratamento de esgoto doméstico e sanitário, incluindo: (i) WCH; (ii) WCV; (iii) WCV-FS (iv) WCSH e (v) WCV-SF.

O desempenho com as diferentes características de projeto em WC e as variáveis operacionais pertinentes como taxa de carregamento

hidráulico, carregamento de DBO, SST,  $\text{NH}_4$ , NT, PT, espécies vegetais, configurações físicas e temperatura na remoção de contaminantes em sistemas de WC, também foram avaliadas.

Como as concentrações variam muito em consequência do consumo de água, que varia substancialmente em cidades, bairros, comunidades, aldeias e também entre países, optou-se pela elaboração de gráficos correlacionando carregamento aplicado, eficiência e carregamento removido.

Também utilizou-se tabelas para descrição das características de projeto e operacionais das unidades de WC avaliadas (APÊNDICE II, APÊNDICE III e APÊNDICE IV).

O carregamento aplicado ( $K_o$ ) de SST, DBO,  $\text{NH}_4$ , NT e PT foram calculados como a carga aplicada por área superficial de WC, e o carregamento removido como a diferença do carregamento na entrada e saída ( $K_o - K$ ). O carregamento  $K$  e  $K_o$  foram calculados pelas equações 4 e 5.

$$K_o = (Q \times C_o)/A \qquad \text{Equação (4)}$$

$$K = (Q \times C)/A \qquad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$C_o$  e  $C$  são as concentrações na entrada e saída da unidade de tratamento composta por *wetlands* construídos ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e  $Q$  é a vazão média ( $\text{m}^3.\text{d}^{-1}$ ).

Quando não disponibilizado dados de vazão na entrada e saída nas unidades de WC, considerou-se a contribuição de 150L/p.e. sem computar perdas por evapotranspiração e tampouco entradas por precipitação pluviométrica, sendo, então, a vazão na entrada igual a de saída.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando diferentes modalidades de *wetlands* construídos empregados no tratamento de esgotos sanitário e doméstico, já consolidadas e difundidas em diferentes países, notadamente na Europa, propôs-se destacar os desempenhos de tratamento desta ecotecnologia, com o intuito de subsidiar a tomada de decisão em relação ao emprego do WC no tratamento de esgotos de loteamentos, condomínios, comunidades rurais e domicílios isolados.

A partir da base de dados oriunda de diferentes revistas especializadas no tema, e de experiências aplicadas no estado de Santa Catarina, apresenta-se um panorama geral da eficiência dos WC como unidade de tratamento de esgoto sanitário e doméstico.

Destaca-se que todas as modalidades de *wetlands* construídos levantadas e avaliadas, foram precedidas de unidades de tratamento primário, quer seja por meio de tanque séptico, tanque Imhoff, reator anaeróbio compartimentado, lagoa anaeróbia ou reator tipo UASB, com exceção do sistema francês que é precedido de sistema preliminar.

### 5.1 WCH aplicados em diferentes países

WCH são comumente empregados para tratar águas residuais domésticas sob diferentes escalas de aplicação destacando-se sistemas *on-site*, *cluster* e em nível municipal, bem como em diferentes níveis de tratamento, tanto em nível secundário como terciário.

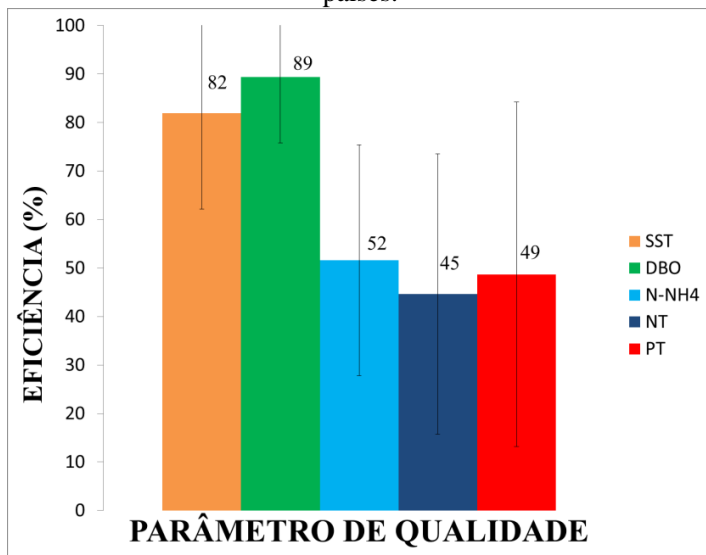
Resultados compilados de 44 sistemas de WCH aplicados em diferentes países (APÊNDICE II) apresentaram diferentes desempenhos médios para SST, DBO, N-NH<sub>4</sub>, NT e PT, conforme apresentado na Figura 21. Este desempenho demonstrou ser dependente da temperatura e do carregamento aplicado.

De um modo geral os WCH avaliados apresentaram baixa capacidade de nitrificação, devido à pouca oxigenação do meio filtrante, como também de remover NT e PT. Contudo, apresentaram elevada capacidade de remoção de DBO (89%) e de SST (82%), corroborando com estudos considerados clássicos desenvolvidos por Brix et al. (2003).

Estudos realizados em escala real com arranjo tecnológico composto por tanque séptico seguido de WCH também apresentaram eficiência compatível com o tratamento secundário, destacando uma

remoção de 82% a 98% para DQO e de 82% a 90% para SST (SEZERINO et al., 2012).

Figura 21. Desempenho médio de 44 WCH empregados como tratamento secundário de esgoto doméstico e sanitário em diferentes países.

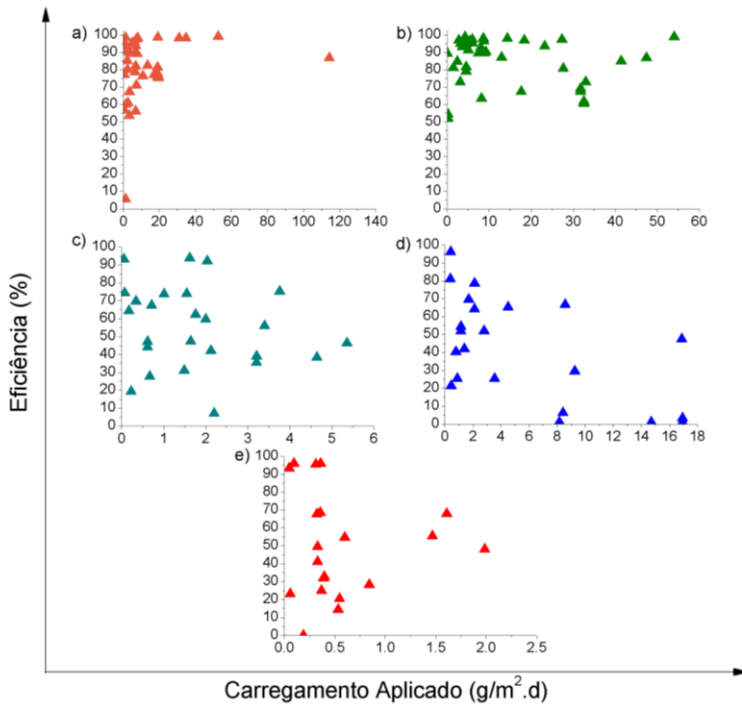


Apesar da baixa capacidade de nitrificação e de remoção de N-NH<sub>4</sub> (52%), NT (45%) e PT (49%) em WCH, quando comparados com WCV e WCSH, estes sistemas podem ser aplicados em comunidades rurais e domicílios isolados ou em substituição aos sistemas de tratamento de esgoto sanitário constituídos por fossas rudimentares ou, ainda, em locais onde não se apresentam nenhuma solução, como ocorre em algumas regiões brasileiras, conforme levantamento realizado pelo PNAD (2014) (Figura 15 e Figura 16).

Além disso, o baixo percentual da população brasileira sem acesso à rede de esgotos nas regiões Norte e Nordeste do Brasil tornam os WC atrativos para tratamento de esgoto sanitário nessas regiões (MACHADO et al., 2016).

A figura 22 apresenta o desempenho dos WCH avaliados em função do carregamento aplicado onde observou-se não possuir uma relação linear devido aos baixos valores de R<sup>2</sup> para SST (0,054), N-NH<sub>4</sub> (0,04), NT (0,32) e PT (0,31), com exceção da DBO (0,85).

Figura 22. Evolução das eficiências de tratamento em função dos carregamentos médios aplicados nas unidades de WCH.



Legenda: (a) SST para um total de 39 sistemas avaliados; (b) DBO para um total de 41 sistemas avaliados; (c) N-NH<sub>4</sub> para um total de 26 sistemas avaliados; (d) NT para um total de 24 sistemas avaliados; (e) PT para um total de 25 sistemas avaliados.

As concentrações médias e o intervalo das concentrações na saída dos WCH avaliados foram de: 12,2 mg SST.L<sup>-1</sup> (com variação de 2 a 104 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 39); 15 mg DBO.L<sup>-1</sup> (com variação de 1 a 89 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 41); 15 mg N-NH<sub>4</sub>.L<sup>-1</sup> (com variação de 0 a 53 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 26); 27 mg NT.L<sup>-1</sup> (com variação de 2 a 49 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 22) e 6 mg PT.L<sup>-1</sup> (com variação de 0 a 14 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 20).

O carregamento médio aplicado e o intervalo de variação calculados para os WCH avaliados foram de: 7 g SST.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (média com variação de 1 a 114 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); 8 g DBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (média com variação de 0 a 54 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); 2 g N-NH<sub>4</sub>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (média com variação de



0 a 5 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); 2 g NT.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (média com variação de 0 a 17 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>), e 0,4 g PT.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (média com variação de 0 a 3 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>).

Os WCH avaliados como tratamento secundário atendem em termos de DBO o que dispõe Lei n. 14675/2009 (60 mg.L<sup>-1</sup> ou desempenho global de 80%), e resolução CONAMA n. 430/2011 (120 mg.L<sup>-1</sup> ou desempenho global de 60%), já que para DBO a média de eficiência apresentada foi de 89% com uma concentração média de 14,8 mg.L<sup>-1</sup> na saída das unidades avaliadas.

Para os parâmetros SST, N-NH<sub>4</sub>, NT não há definição em legislação ou resolução para lançamento de efluente, com exceção de PT que é exigido pela Lei n 14675/2009 o valor de 4 mg.L<sup>-1</sup> ou desempenho mínimo de 75% para lançamento em lagoas lagunas e estuários. Os WCH avaliados obtiveram na saída uma concentração média de 5,9 mg.L<sup>-1</sup> para PT.

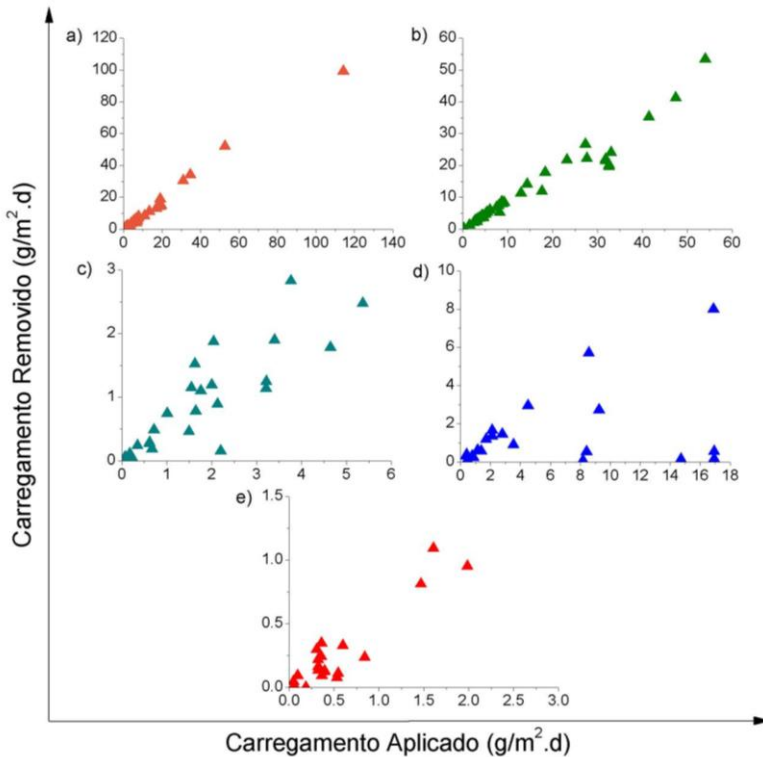
Para aplicação de WCH como tratamento secundário e cujo corpo receptor seja uma lagoa, laguna ou estuário, sugere-se realizar dosagem de policloreto de alumínio no tratamento primário com objetivo de aumentar o desempenho e atender a legislação ambiental.

Cabe ressaltar que PT não é exigido para lançamento em rios e em outros corpos d'águas superficiais, no entanto, o lançamento do efluente deve manter o enquadramento e classe do corpo receptor nos moldes da resolução CONAMA n. 357/2005 com valores de 0,03 a 0,05 mg.L<sup>-1</sup> para rios classe II, ou conforme meta ou enquadramento estabelecido pelos comitês de bacias.

No caso de lançamento de efluente em rios e pequenos cursos d'água, a qualidade do efluente a ser lançado e as características hidráulicas e físico-químicas do corpo receptor são essenciais para verificar se os arranjos tecnológicos constituídos por WCH atenderão a legislação ambiental vigente. Logo, é necessário realizar o estudo de autodepuração do corpo receptor para lançamento de efluente em rios e pequenos cursos d'água.

Nos WCH avaliados os carregamentos aplicados em função dos carregamentos removidos apresentaram uma relação linear mais confiável para SST, DBO, N-NH<sub>4</sub>, com R<sup>2</sup> de 0,99, 0,95, 0,73 respectivamente. Contudo, para NT e PT foram obtidos valores para R<sup>2</sup> de 0,08 e 0,01, respectivamente. A Figura 23 apresenta o carregamento aplicado de SST, DBO, N-NH<sub>4</sub>, NT e PT em função do carregamento removido.

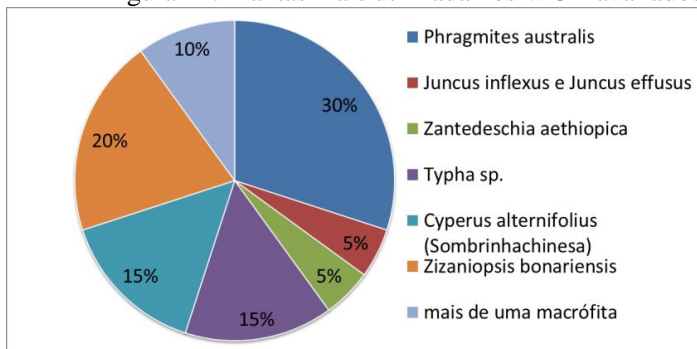
Figura 23. Comportamento dos carregamentos removidos nas unidades de WCH em função dos carregamentos aplicados.



Legenda: (a) SST para um total de 39 sistemas avaliados; (b) DBO para um total de 41 sistemas avaliados; (c) N-NH<sub>4</sub> para um total de 26 sistemas avaliados; (d) NT para um total de 24 sistemas avaliados; (e) PT para um total de 25 sistemas avaliados.

Dentre os 45 trabalhos avaliados foram obtidas 20 unidades de WCH plantadas com diversas macrófitas. A Figura 24 apresenta o gráfico com as espécies de plantas utilizadas nos diversos países pesquisados. A planta do gênero *Phragmites Australis* foi a mais utilizada (30% dos trabalhos avaliados).

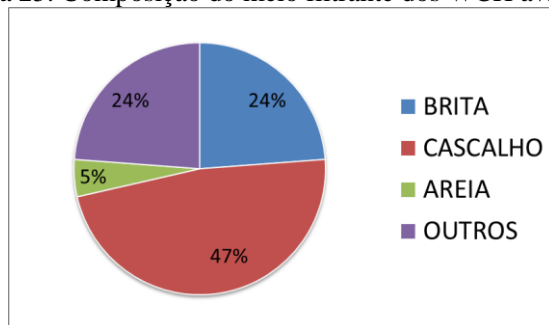
Figura 24. Plantas mais utilizada nos WCH avaliados



No Brasil, dentre 42 trabalhos brasileiros publicados entre os anos de 1998 e 2011, a *Typha sp* se destaca como sendo a macrófita mais empregada, seguida de *Eleocharis spp* e *Zizaniopsis spp* (SEZERINO et al., 2015).

Quanto ao meio filtrante dos WCH avaliados em diversos países, a maior parte é composta por cascalho (47% dos trabalhos avaliados). A Figura 25 apresenta a composição do material filtrante mais frequente constantes nas publicações avaliadas.

Figura 25. Composição do meio filtrante dos WCH avaliados

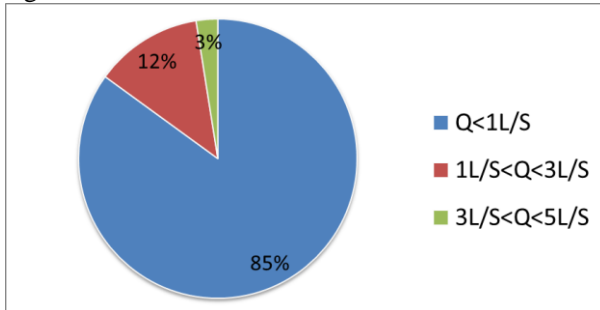


No Brasil dentre 42 trabalhos publicados entre os anos de 1998 e 2011, a brita e a areia foram os materiais filtrantes mais comuns empregados em WCH e o tempo de retenção hidráulico (t) variou entre 0,5 e 12,3 dias (SEZERINO et al., 2015).

Quanto a vazão operacional dos WCH dentre as publicações avaliadas, 85% possuem vazão menor que  $1 \text{ L.s}^{-1}$  ( $86,4 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$ ), 12%

entre  $1 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $3 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $259,2 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ) e apenas 3% entre  $3 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $5 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $432 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ) (Figura 26). Nenhum dos WCH avaliados possui vazão superior a  $5 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Figura 26. Intervalo de vazão dos WCH avaliados

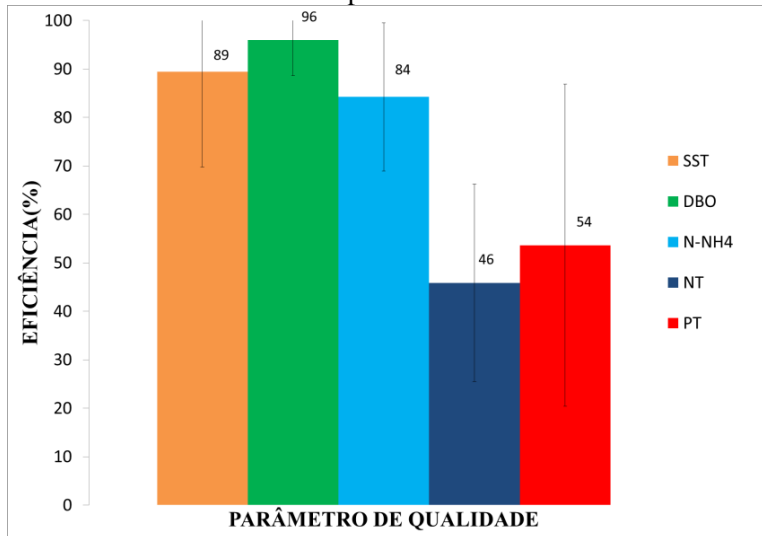


## 5.2 WCV aplicados em diferentes países

Nos últimos 10 anos percebe-se um aumento no interesse e aplicação por sistemas WCV no tratamento de esgotos de pequenas comunidades, notadamente pela possibilidade em otimizar a área superficial, comparativamente aos WCH, bem como pela possibilidade de se promover um elevado desempenho na remoção de carbono e na promoção na nitrificação, devido a maior entrada de oxigênio nos WCV comparativamente aos WCH.

Resultados compilados de 45 sistemas de WCV aplicados em diferentes países (APÊNDICE III) apresentaram variados desempenhos médios para SST, DBO,  $\text{N-NH}_4$ , NT e PT, conforme apresentado na Figura 27. Este desempenho também demonstrou ser dependente da temperatura e do carregamento aplicado.

Figura 27. Desempenho médio de 45 WCV empregados como tratamento secundário de esgoto doméstico e sanitário em diferentes países.



Constatou-se que os WCV possuem melhor desempenho médio na remoção de SST (89%), DBO (96%), N-NH<sub>4</sub> (84%), NT (46%) e PT (54%) quando comparados com WCH.

O melhor desempenho médio em relação ao parâmetro N-NH<sub>4</sub> nos WCV quando comparados com WCH (alcançando valores de 52%), se dá devido nitrificação do efluente, com maior conversão de N-NH<sub>4</sub> a nitrato, que ocorre principalmente pela alimentação intermitente e arraste de oxigênio para o meio filtrante nos WCV (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

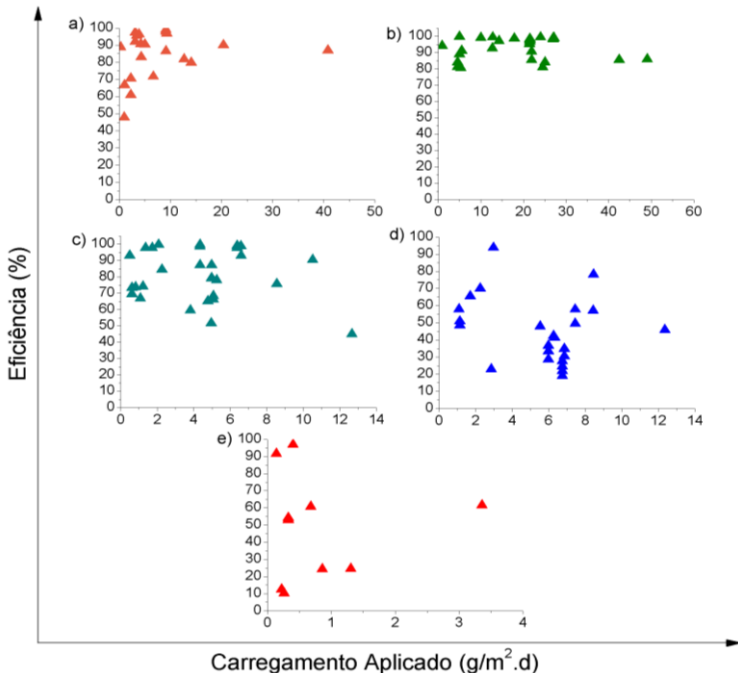
Nos WCV também foi constatado que não houve uma redução significativa de NT, apresentando desempenho similar ao WCH (atingindo valores de 45%). O desempenho de NT nos WCH e WCV avaliados foi semelhante, pois ambos sistemas não foram capazes de promover a desnitrificação do efluente, uma vez que não há ambientes oxidativos e redutores simultaneamente nas unidades de WCH ou de WCV.

A recirculação do efluente de arranjos tecnológicos compostos por RAC seguido de WCV, com 100% recirculação, é uma alternativa para proporcionar um melhor desempenho na remoção de NT quando o efluente do WCV é recirculado para o TS ou RAC (BRIX et al., 2003).

A promoção de ambientes oxidativos no WCV e redutores devido a recirculação do efluente no RAC ou TS proporcionam condições para ocorrer o processo de desnitrificação (BRIX et al., 2003).

Nos WCV os carregamentos aplicados em função da eficiência demonstraram não possuir uma relação linear devido aos baixos valores de  $R^2$  para SST (0,041), DBO (0,001),  $N-NH_4$  (0,02), NT (0,07) e PT (0,012). A Figura 28 apresenta o desempenho dos WCV avaliados em função do carregamento aplicado.

Figura 28. Evolução das eficiências de tratamento em função dos carregamentos médios aplicados nas unidades de WCV.



Legenda: (a) SST para um total de 21 sistemas avaliados; (b) DBO para um total de 28 sistemas avaliados; (c)  $N-NH_4$  para um total de 30 sistemas avaliados; (d) NT para um total de 25 sistemas avaliados; (e) PT para um total de 11 sistemas avaliados.

As concentrações médias e o intervalo das concentrações na saída dos WCV avaliados foram de: 9 mg SST.L<sup>-1</sup> (com variação de 0,7

a 216 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 27); 11 mg DBO.L<sup>-1</sup> (com variação de 1 a 54 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 34); 6,8 mg N-NH<sub>4</sub>.L<sup>-1</sup> (com variação de 0 a 59 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 39); 40 mg NT.L<sup>-1</sup> (com variação de 4 a 190 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 32) e 4,2 mg PT.L<sup>-1</sup> (com variação de 0,4 a 13 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 21).

O carregamento médio aplicado e o intervalo de variação calculado para os WCV avaliados foram de: 4,3 g SST.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (com variação de 0,3 a 40,8 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); 21,5 g DBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (com variação de 1 a 49,1 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); 4,9 g N-NH<sub>4</sub>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (com variação de 0,5 a 12,7 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>); 6,3 g NT.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (com variação de 1,1 a 12,4 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>), e 0,4 g PT.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (com variação de 0,1 a 3,4 g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>).

Os WCV avaliados como tratamento secundário atendem em termos de DBO o que dispõe Lei n. 14675/2009 (60 mg.L<sup>-1</sup> ou desempenho global de 80%) e resolução CONAMA n. 430/2011 (120 mg.L<sup>-1</sup> ou desempenho global de 60%) já que para DBO obteve-se 96% de eficiência e 11 mg.L<sup>-1</sup> de concentração média na saída dos WCV avaliados.

Para os parâmetros SST, N-NH<sub>4</sub>, NT não há definição de limite para lançamento de efluentes, com exceção de PT que é exigido pela Lei n. 14675/2009 um valor de 4 mg.L<sup>-1</sup>, ou desempenho mínimo de 75% para lançamento em lagoas, lagunas e estuários. Os WCV obtiveram na saída uma concentração média de 4,2 mg.L<sup>-1</sup> para PT.

Para aplicação de WCV como tratamento secundário e cujo corpo receptor seja uma lagoa, laguna ou estuário sugere-se, também, realizar a dosagem de policloreto de alumínio no tratamento primário com objetivo de atender a legislação ambiental, conforme diretrizes formalizadas na Dinamarca.

Arranjos tecnológicos constituídos por TS seguido de WCV monitorados em clima frio (8° C), com 100% recirculação e com precipitação química do fósforo no TS, cumprem as exigências dinamarquesas de desempenho em relação DBO (até 95% de remoção), PT (90% de remoção) e nitrificação (90%), logo atendem a Lei n. 14675/2009, que é menos exigente, pois exige 80% de eficiência para DBO e 75% para PT no caso de lançamento em lagoas, lagunas e estuários.

Cabe ressaltar que PT não é exigido para lançamento em rios e em outros corpos d'água superficiais, no entanto, o lançamento do efluente deve manter o enquadramento e classe do corpo receptor nos moldes da resolução CONAMA n. 357/2005, com valores de 0,03 a 0,05 mg.L<sup>-1</sup> para rios classe II, ou conforme meta ou enquadramento estabelecido pelos comitês de bacias.

No caso de lançamento de efluente em rios e pequenos cursos d'água, a qualidade do efluente a ser lançado e as características hidráulicas e físico-químicas do corpo receptor são essenciais para verificar se os arranjos tecnológicos constituídos por WCV atenderão a legislação ambiental vigente. Logo, é de grande valia realizar o estudo de autodepuração do corpo receptor para lançamento de efluente em rios e pequenos cursos d'água.

Na Figura 29 observou-se que os carregamentos removidos em função dos carregamentos aplicados apresentaram uma relação linear mais confiável para SST, DBO, N-NH<sub>4</sub>, NT, PT com R<sup>2</sup> de 0,68, 0,98, 0,89, 0,58 e 0,91, respectivamente.

Dos 45 trabalhos avaliados foram obtidas 38 unidades de WCV plantadas com diversas macrófitas. A Figura 30 apresenta o percentual com as espécies de plantas mais utilizadas nos diversos países pesquisados. A planta do gênero *Phragmites Australis* foi a mais utilizada em WCV.

Quanto à vazão operacional das unidades de WCV avaliadas, todas apresentaram valores inferiores a 86,4 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>.

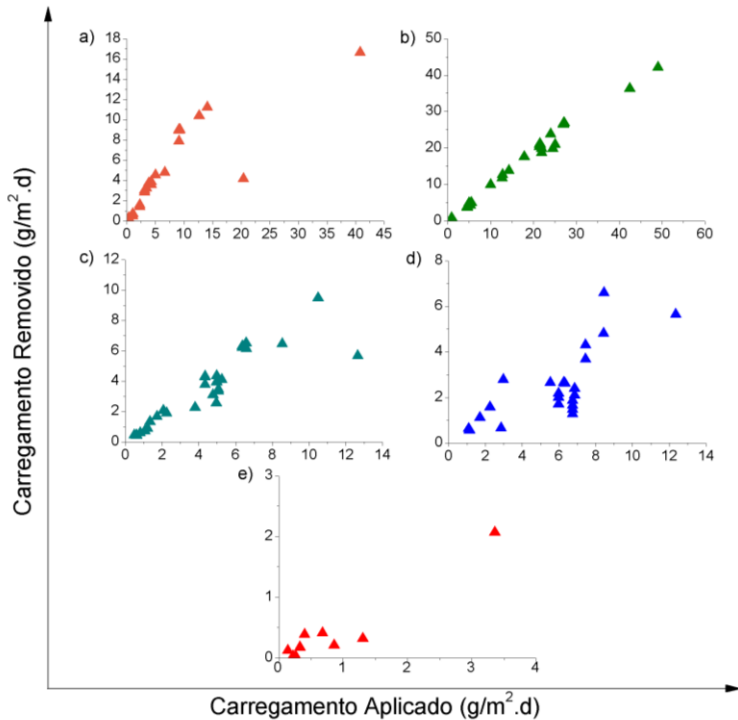
Os meios filtrantes mais empregados nos WCV avaliados eram compostos por areia (54%) e cascalho (42%). A Figura 31 apresenta a composição do tipo de material filtrante empregado nas publicações avaliadas.

A brita, destacada na maioria das publicações avaliadas em WCV, geralmente foi utilizada como uma camada de proteção do meio filtrante, quando alocada na parte superior do leito ou de drenagem quando na parte inferior. As espessuras das camadas de brita variaram de 5 a 20 cm.

Para estes casos, que geralmente possuem uma camada mais espessa de areia como meio filtrante, variando de 10 a 90 cm, considerou-se apenas a areia como sendo o meio filtrante.



Figura 29. Comportamento dos carregamentos removidos nas unidades de WCV em função dos carregamentos aplicados



Legenda: (a) SST para um total de 21 sistemas avaliados; (b) DBO para um total de 28 sistemas avaliados; (c) N-NH<sub>4</sub> para um total de 30 sistemas avaliados; (d) NT para um total de 25 sistemas avaliados; (e) PT para um total de 11 sistemas avaliados.

Figura 30. Plantas mais utilizadas em WCV nos diversos países avaliados

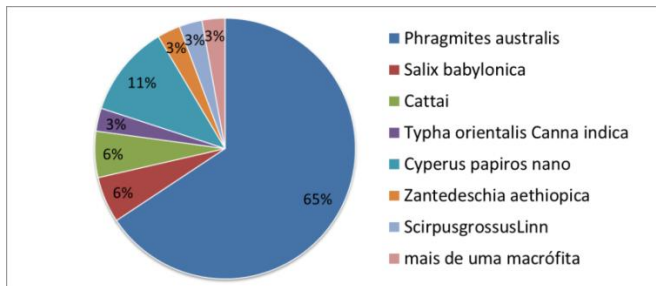
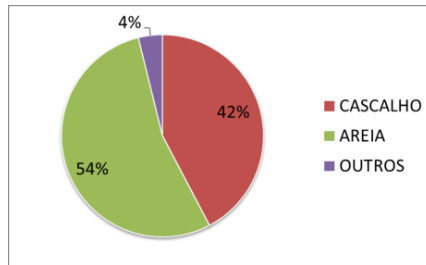


Figura 31. Composição do meio filtrante empregado nos WCV avaliados.

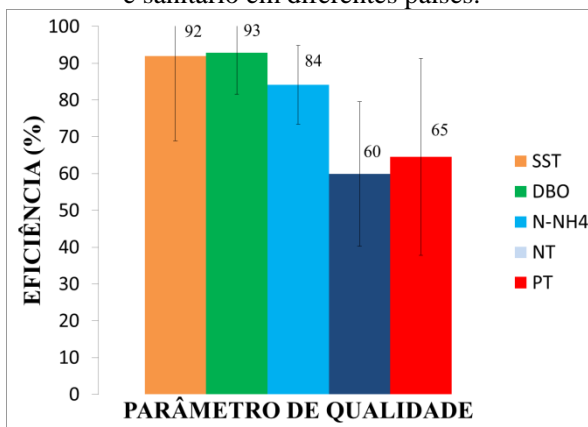


### 5.3 WCSH aplicados em diferentes países

A aplicação de WCSH, combinação de WCV e WCH com as mais variadas possibilidades de combinação e número de estágios dos arranjos tecnológicos, é percebida nas publicações acadêmicas quando se deseja uma elevada qualidade do efluente tratado.

Resultados compilados de 30 sistemas WCSH aplicados em diferentes países (APÊNDICE IV), apresentaram desempenhos médios diferenciados entre os parâmetros SST, DBO, N-NH<sub>4</sub>, NT e PT, conforme apresentado na Figura 32. O desempenho dos WCSH avaliados também demonstrou ser dependente da temperatura e do carregamento aplicado.

Figura 32. Desempenho médio de 30 unidades WCSH empregados como tratamento secundário e terciário de esgoto doméstico e sanitário em diferentes países.



Constatou-se que os WCSH possuem melhor desempenho na remoção de NT (60%) e PT (65%) quando comparados com WCV, onde a remoção de NT e PT apresentaram remoções de 52% e 54%, respectivamente.

Já em relação aos WCH, os sistemas híbridos apresentaram melhores desempenhos de tratamento para todos os parâmetros de controle de qualidade do tratamento.

Quanto à remoção de DBO em WCSH e em WCV, ambos apresentaram desempenhos similares, apresentando valores de 93 % e 96%, respectivamente. Para DBO os WCSH atendem o que dispõe Lei n. 14675/2009 (60mg.L<sup>-1</sup> ou desempenho global de 80%) e resolução CONAMA n. 430/2011 (120 mg.L<sup>-1</sup> ou desempenho global de 60%), já que apresentaram uma concentração média na saída de 14,3 mg.L<sup>-1</sup> e desempenho de 93%.

A recirculação do efluente em arranjos tecnológicos compostos por WCH-WCV proporcionam uma melhoria na qualidade do efluente em relação ao desempenho de NT (VYMAZAL, 2005).

Nos sistemas WCH-WCV a promoção de ambientes oxidativos no WCV e redutores no WCH e a recirculação do efluente, proporcionam condições para ocorrer o processo de nitrificação seguido da desnitrificação com a conversão de N-NH<sub>4</sub> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a N<sub>2</sub> ou N<sub>2</sub>O e conseqüentemente um melhor desempenho em relação a NT (BRIX et al., 2003).

O desempenho em função dos carregamentos aplicados nos WCSH avaliados demonstraram não possuir uma relação linear devido aos baixos valores de R<sup>2</sup> para SST (0,06), DBO (0,013), N-NH<sub>4</sub> (0,40), NT (0,05) e PT (0,05). A figura 33 apresenta uma relação entre a eficiência e os carregamentos aplicados nos WCSH avaliados.

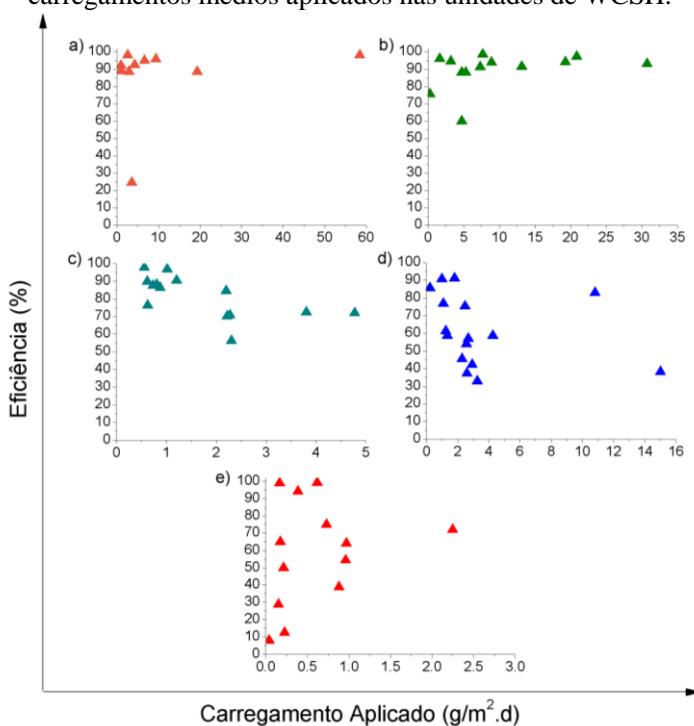
As concentrações médias e o intervalo das concentrações na saída dos WCSH avaliados foram de: 12,5 mgSST.L<sup>-1</sup> (com variação de 1 a 55,5 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 18); 14,3 mg DBO.L<sup>-1</sup> (com variação de 2 a 35,4 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 20); 8,5 mg N-NH<sub>4</sub>.L<sup>-1</sup> (com variação de 0,1 a 35 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 22); 24,6 mg NT.L<sup>-1</sup> (com variação de 1,9 a 127 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 22) e 3,6 mg PT.L<sup>-1</sup> (com variação de 0,1 a 11,9 mg.L<sup>-1</sup>, para n = 20).

Para os parâmetros SST, N-NH<sub>4</sub>, NT, não há definição de limite de lançamento, com exceção de PT que é exigido pela Lei n 14675/2009 4 mg.L<sup>-1</sup> na saída ou desempenho mínimo de 75% para lançamento em lagoas lagunas e estuários. Os WCSH obtiveram na saída uma concentração média de 3,6 mg.L<sup>-1</sup>.

Cabe ressaltar que PT não é exigido para lançamento em rios e em outros corpos d'águas superficiais, no entanto o lançamento de efluente deve manter o enquadramento e classe do corpo receptor no molde da resolução CONAMA n. 357/2005 de 0,03 a 0,05 mg.L<sup>-1</sup> para rios classe II.

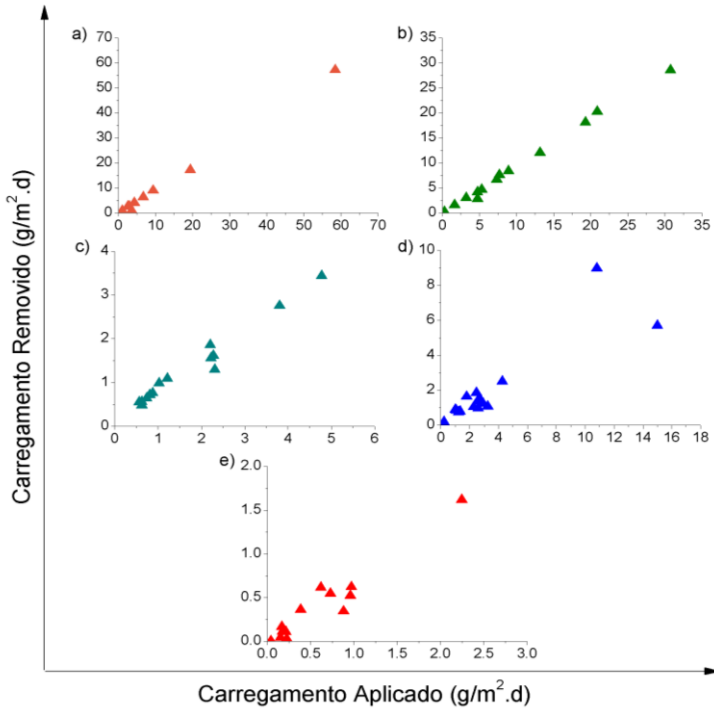
Os carregamentos removidos em função dos carregamentos aplicados apresentaram uma relação linear mais confiável, com R<sup>2</sup> de SST (0,99), DBO (0,99), N-NH<sub>4</sub> (0,97), NT (0,77), PT (0,93) (Figura 34).

Figura 33. Evolução das eficiências de tratamento em função dos carregamentos médios aplicados nas unidades de WCSH.



Legenda: (a) SST para um total de 18 sistemas avaliados; (b) DBO para um total de 20 sistemas avaliados; (c) N-NH<sub>4</sub> para um total de 22 sistemas avaliados; (d) NT para um total de 22 sistemas avaliados; (e) PT para um total de 20 sistemas avaliados.

Figura 34. Comportamento dos carregamentos removidos nas unidades de WCSH em função dos carregamentos aplicados.

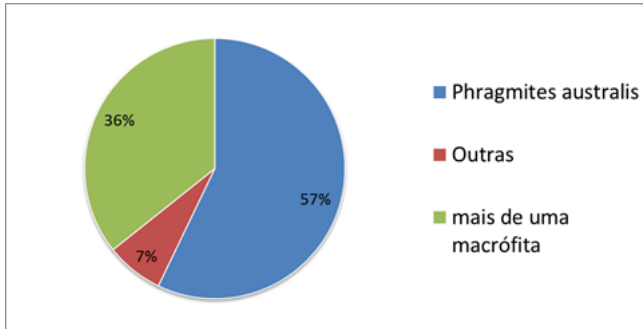


Legenda: (a) SST para um total de 11 sistemas avaliados; (b) DBO para um total de 14 sistemas avaliados; (c)  $N-NH_4$  para um total de 14 sistemas avaliados; (d) NT para um total de 17 sistemas avaliados; (e) PT para um total de 14 sistemas avaliados.

Nos sistemas híbridos com a configuração WCV-WCH ocorreu uma maior conversão de  $N-NH_4$  a nitrato devido a nitrificação proporcionada nos WCV, bem como a remoção de NT devido a desnitrificação e recirculação para tanque de sedimentação, anterior a unidade composta por WCSH avaliado.

Dos 30 trabalhos avaliados foram obtidas 28 unidades de WCSH plantadas com diversas macrófitas. A Figura 35 apresenta o percentual com as espécies de plantas mais utilizadas em WCSH nos diversos países pesquisados. A planta do gênero *Phragmites Australis* foi a mais utilizada.

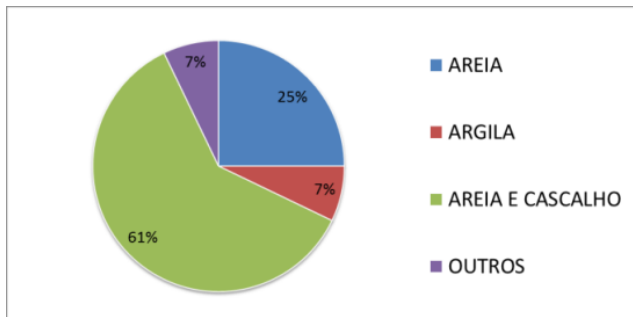
Figura 35. Plantas mais utilizada em WCSH nos diversos países avaliados.



Quanto à vazão operacional das unidades de WCSH avaliadas, 90% apresentaram valor inferior a  $86,4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  ( $1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ) e 10% superior a  $432 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  ( $5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

O meio filtrante mais empregado em WCSH, nos países avaliados, foi composto por areia e cascalho (61%) e apenas com areia (25%). A Figura 36 apresenta a distribuição percentual do tipo de material filtrante utilizado nas publicações avaliadas.

Figura 36. Composição dos meios filtrantes empregados nos WCSH avaliados.



#### 5.4 WCV-SF

Para os WCV-SF utilizou-se uma publicação fundamentada no monitoramento de 415 sistemas de WCV-SF típicos implantados em

pequenas comunidades (<5.000 p.e.) na França, e aplicados no tratamento de esgoto sanitário. Os dados de monitoramento foram interpretados e compilados resultando em dados de desempenho, projeto e operação dos WCV-SF avaliados.

Os dados abaixo apresentam as características de projeto e desempenho destes 415 WCV-SF implantados em pequenas comunidades francesas (MORVANNOU et al., 2015):

- (i) Entre os módulos WCV de dois estágios com dados disponíveis, as dimensões médias dos sistemas, compreendendo os dois estágios, foi de  $2 \text{ m}^2/\text{p.e.}$ . O primeiro estágio a média foi de  $1,2 \text{ m}^2/\text{p.e.}$  (min:  $0,2 \text{ m}^2/\text{p.e.}$ ; máx.:  $3,8 \text{ m}^2/\text{p.e.}$ ; número de sistemas avaliados: 136) e o segundo estágio a média foi de  $0,8 \text{ m}^2/\text{p.e.}$  (min:  $0,1 \text{ m}^2/\text{p.e.}$ , máx.:  $2,7 \text{ m}^2/\text{p.e.}$ , número de sistemas avaliados: 133);
- (ii) A profundidade média do material filtrante do primeiro estágio foi de 53 cm (com variação de até 14 cm; sob um total de 73 sistemas avaliados);
- (iii) A camada de filtração do segundo estágio foi composta de areia e cascalho. As profundidades médias foram de 44 cm (com variação de até 20 cm, sob um total de 106 sistemas avaliados) para areia e 26 cm (com variação de até 10 cm; sob um total de 64 sistemas avaliados) para o cascalho;
- (iv) A capacidade média da planta era de 469 p.e. (mediana 330 p.e.) e 43% das 415 plantas WCV-SF tinham uma capacidade nominal inferior a 250 p.e.;
- (v) A idade dos sistemas variaram de 2 anos para a planta WCV mais recente e 31 anos para a mais antiga (média e mediana: 10 anos e 9 anos, respectivamente). 55% dos sistemas tinham entre 7 e 11 anos de operação;
- (vi) O sistema de alimentação era principalmente por gravidade (72 e 88% da primeira e segunda fase de WCV-SF, respectivamente, foram alimentados sem fornecimento de energia).

As concentrações médias de saída para DQO, DBO<sub>5</sub>, SST e NTK de 90% das 415 unidades de WCV-SF avaliados foram inferiores a  $95 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $1,22 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ , e  $26 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente, e

estão de acordo com estabelecido pela legislação ambiental francesa (MORVANNOU et al., 2015).

As médias de eficiências de remoção para DQO, SST e NTK calculadas para o sistema global (WCV-SF) foram de 87%, 93% e 84% respectivamente (MORVANNOU et al., 2015).

Estes valores são consistentes com os calculados por Molle et al. (2005) (91%, 95% e 85% para DQO, SST e NTK, respectivamente) mesmo considerando o maior período de operação dos sistemas avaliados pelos autores (55% das plantas estavam entre 7 e 11 anos de operação, enquanto a maioria dos sistemas avaliados por Morvannou et al. tinham de 4 a 6 anos de operação (MORVANNOU et al., 2015)).

Estudos realizados nas regiões franceses periféricas sob clima tropical, tais como em Guadalupe, Martinica, Guiana Francesa, Mayotte e Ilha da Reunião, mostram que as performances são melhoradas pela temperatura mais quente para a demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos (SS) e nitrogênio total (TKN) (MOLLE et al., 2015).

Além disso, o estudo demonstrou que a utilização de apenas um estágio, com dois WCV em paralelo, podem satisfazer os objetivos nacionais de qualidade francesas. A área da estação de tratamento pode, portanto, quando comparados com WCV-SF típico, ser reduzida, pois são necessários apenas dois filtros em paralelos (MOLLE et al., 2015).

As temperaturas quentes permitem uma mineralização mais rápida do depósito de lodo, tornando possível operar em repouso e durações de período de alimentação semelhantes. Sistemas operados usando um estágio com dois WCV pode atingir mais de 90% de remoção de DQO, SST e NTK para uma superfície total de 0,8 m<sup>2</sup>/p.e.. (MOLLE et al., 2015).

No entanto, uma série de questões relacionadas com climas tropicais ainda precisam ser resolvidas, ou melhor projetada no futuro para sistemas com apenas um estágio, conforme destacam Molle et al. (2015).

(i) Trabalhando com apenas um estágio de tratamento, por vezes, podem conduzir a níveis de saída de SST de mais de 25 mg.L<sup>-1</sup>;

(ii) As taxas de acúmulo e depósito no leito filtrante precisam ser investigados com mais precisão.

## 5.5 WCV em escala real monitorados pelo GESAD

O Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD), da UFSC, vem estudando dois sistemas de *wetlands*

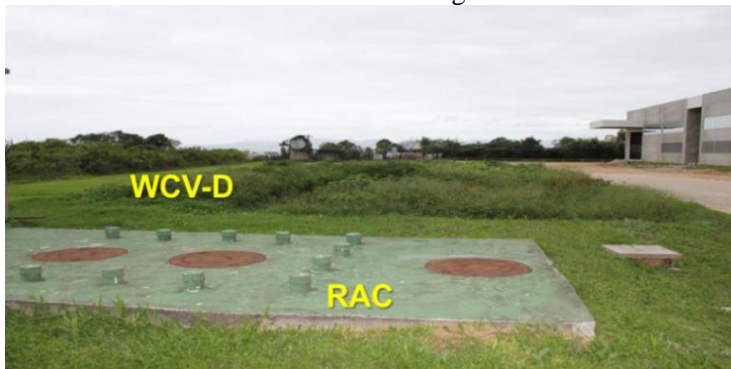


construídos de fluxo vertical (WCV e WCV-FS), dimensionados por empresa de engenharia e implantados em escala real, aplicados no tratamento de esgoto sanitário, conforme segue:

(i) sistema 1 – empreendimento comercial: composto por um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) seguido de WCV (área superficial 189 m<sup>2</sup>) (Figura 37);

(ii) sistema 2 – condomínio residencial: composto pela sequência RAC e WCV com fundo saturado (área superficial 3.141 m<sup>2</sup>) (Figura 38).

Figura 37. Layout e detalhes construtivos do WCV implantado em indústria de embalagens.



Fonte: Trein (2015).

Com o monitoramento operacional e analítico junto aos sistemas de tratamento determinou-se:

(i) sistema 1: vazão média de 12,2 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>; taxa hidráulica de 130 mm.d<sup>-1</sup>; carregamento médio de 87 g DQOm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 43 g DBOm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> e 13 g SSm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

(ii) sistema 2: vazão média de 18,1 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>; taxa hidráulica de 12 mm.d<sup>-1</sup>; carregamento médio de 2 g DQOm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 1 g DBOm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> e 0,3 g SSm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>.

Em relação ao desempenho dos sistemas estudados, considerando as concentrações médias de afluentes e efluentes (Tabela 10), infere-se que a utilização de um decanto-digestor tipo RAC seguido de WCV, apresentou resultados satisfatórios comparados com a legislação ambiental aplicável.

Figura 38. Layout e detalhes construtivos do WCV-FS implantado em condomínio de terrenos.



Fonte: Trein (2015).

Tabela 10. Desempenho dos sistemas 1 e 2

	<b>Sistema 1</b>		<b>Sistema 2</b>	
	Carregamento médio de 87 g DQO.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup>		Carregamento médio de 2 g DQO.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup>	
	Eficiência (%)	Concentração efluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)	Concentração efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
pH	-	6,3	-	6,5
DQO	75	179	93	18
DBO	88	48	97	5
SS	83	22	94	3
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	47	54	93	3
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	63	10	93	1

Fonte: adaptado TREIN (2015).

Utilizou-se para esta avaliação os aspectos legais e normativos vinculados à instrução normativa número 03 da Fundação do Meio Ambiente (FATMA) do Estado de Santa Catarina, utilizada para o licenciamento ambiental de atividades relacionadas ao parcelamento do solo: loteamentos, condomínio de terrenos, loteamentos com fins industriais e comerciais, bem como as resoluções do CONAMA n. 430/2011, Lei n. 14675/2009 (Código Estadual de Meio Ambiente, do Estado de Santa Catarina) e CONAMA n. 357/2005.

O sistema 1 submetendo o WCV à uma operação com alto carregamento orgânico (média de  $87 \text{ g DQO.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ), apresentou eficiência média de remoção em termos de concentração de 70% para DQO e de 85% para DBO. A eficiência média de remoção global de  $\text{N-NH}_4^+$  no sistema 1 foi da ordem de 47%, sendo que 38% foi devido a nitrificação. Após cinco anos de operação e recebendo elevada concentração de fósforo ( $26 \text{ mg P-PO}_4^{3-}.\text{L}^{-1}$ ), o *wetland* do sistema 1 foi capaz de manter uma eficiência média de remoção de 63% de  $\text{P-PO}_4^{3-}$ .

O sistema 2 removeu 93%, 97%, 94% e 93%, em termos de concentração de DQO, DBO, SS e  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , respectivamente. A remoção média de  $\text{N-NH}_4^+$  no *wetland* do sistema 2 foi de 93%, sendo que desta porcentagem, 27% foi devido a nitrificação. O WCV recebendo baixo carregamento (média de  $2 \text{ g DQO.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) apresentou altas eficiências de remoção em termos de sólidos suspensos (88%) e nutrientes (92% para  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), corroborando ao esperado para nível de tratamento avançado.

Os sistemas 1 e 2 apresentaram eficiência de remoção para DBO, SS compatível com os percentuais de remoção de poluentes dos arranjos tecnológicos apresentados na Tabela 6.

O parâmetro efluente  $\text{N-NH}_4^+$  para o sistema 2 apresentou-se dentro da faixa percentual estabelecido na Tabela 7, quando comparado com o parâmetro NT e  $\text{N-NH}_4^+$ . No entanto, o sistema 1, com carregamento médio de  $87 \text{ g DQO.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , apresentou eficiência inferior aos arranjos apresentados.

A eficiência de remoção de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  para os sistemas 1 e 2 foi compatível com os arranjos apresentados na Tabela 6, quando comparado com fósforo total, com exceção do sistema 1 para arranjo composto por UASB seguido de flotação por ar dissolvido.

No que se refere aos padrões para lançamento de efluentes, tanto o sistema 1 como o 2, apresentaram parâmetros efluentes para pH, DBO,  $\text{N-NH}_4^+$ , SS em atendimento ao exigido pela Resolução CONAMA n. 430/2011. Cabe ressaltar que nesta resolução, na seção III, dispõe sobre condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total.

Quando comparados com o que dispõe a Lei n. 14675/2009, o sistema 1 e 2 apresentaram parâmetros efluentes para pH e DBO em atendimento a legislação. O parâmetro  $\text{P-PO}_4^{3-}$  para o sistema 2, também atende a Lei 14675/2009, porém o sistema 1, caracterizado pelo

alto carregamento médio de 87 g DQO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, não atende ao estabelecido.

Ressalta-se que a Lei n. 14675/2009 estabelece o parâmetro fósforo total para lançamentos em trechos de lagoas, lagunas e estuários, devendo ser observado o limite de 4 mg.L<sup>-1</sup> de PT ou sistemas de tratamento que devem operar com a eficiência mínima de 75%, desde que não altere as características dos corpos de água previstas em lei.

A avaliação do modo de operação dos sistemas *wetlands* demonstra que o desempenho do tratamento é dependente principalmente do carregamento orgânico afluente. Os *wetlands* quando projetados e operados de maneira adequada, apresentam eficiência compatível com outras tecnologias que promovem o tratamento secundário e terciário, mostrando-se como uma alternativa tecnológica de grande potencial para loteamentos e condomínios, atendendo os requisitos de qualidade de lançamento de efluentes previstos nas legislações pertinentes.

O desempenho dos arranjos tecnológicos dos sistemas 1 e 2, quando comparados com o que dispõe a resolução CONAMA n. 430/2011 e Lei n. 14675/2009, atendem as exigências para o licenciamento ambiental de loteamentos, condomínios e sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, no que se refere a padrões para lançamento de efluentes, com exceção do parâmetro P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> avaliado no sistema 1 (caracterizado pelo alto carregamento orgânico afluente) para o caso de lançamentos em trechos de lagoas, lagunas e estuários.

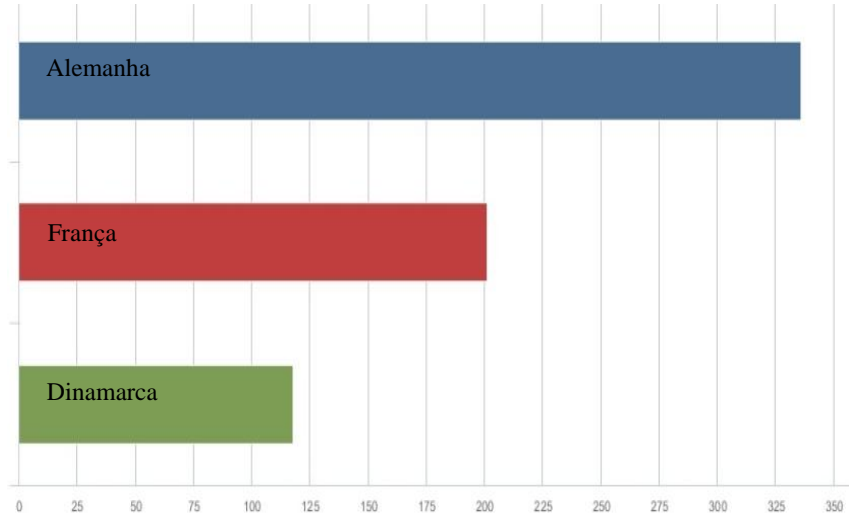
O lançamento de efluente fora do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n. 430/2011 e Lei n. 14675/2009 dependerá do estudo de autodepuração, das características do corpo receptor segundo CONAMA n. 357/2005 e da qualidade do efluente a ser lançado.

## **5.6 Avaliação da performance dos *wetlands* nos países cuja tecnologia é consolidada**

Em consulta ao sitio de busca Scopus, utilizando a palavra-chave “*constructed wetland*”, obteve-se os dados expressos em números de publicações na Alemanha, Dinamarca e França. Nesses países a ecotecnologia dos *wetlands* construídos são consideradas como consolidadas, adequada para ser utilizada no tratamento de águas residuais domésticas e para atender as exigências das legislações ambientais relacionada ao lançamento de efluentes e de enquadramento dos corpos receptores.

A Figura 39 apresenta o número de documentos publicados na Alemanha, França e Dinamarca aos *wetlands* construídos.

Figura 39. Número de documentos publicados na Alemanha, França e Dinamarca relacionados aos *wetlands* construídos como unidades de tratamento de efluentes e correlatos.



Fonte: Scopus (considerando o intervalo de 1978 a 2017)

Nos países onde a ecotecnologia dos *wetlands* construídos é consolidada há várias diretrizes oficiais publicadas como normas técnicas e guias fundamentadas em publicações de periódicos.

Na União Europeia, por exemplo, entidades governamentais, Agência Ambiental da União Europeia e associações de águas, AWA, produziram um guia com diretrizes sobre a gestão sustentável da água em instalações turísticas alocadas em áreas consideradas ambientalmente sensíveis.

Nesses locais geralmente não há serviços públicos ou privados de coleta e tratamento de esgoto sanitário. As diretrizes foram fundamentadas em pesquisas realizadas e em publicações de periódicos (Tabela 11).

Tabela 11. Critérios de projetos para WCV recomendados para empreendimentos turísticos na União Europeia

<b>Parâmetros</b>	<b>Alemanha ATV DVWK A 262 (draft 2004)</b>	<b>Dinamarca Brix e Johansen 2004</b>	<b>França Molle et al., 2004</b>
Área m <sup>2</sup> /pe	4 m <sup>2</sup> /pe área mínima 16m <sup>2</sup>	3,2 m <sup>2</sup> /pe área mínima 16m <sup>2</sup>	1st 1,2 (3 x 0,4) 2nd 0,8 (2 x 0,4)
Camada de topo	> 50 cm areia	15 cm cavaco de madeira ou conchas do mar	1st:> 30cm 2/8 mm 10–20 cm 5/20 mm 10–20 cm 20/40 mm
Camada filtrante	20 cm cascalho 2/8 mm	90 cm areia	2nd:>30 cm 10–20 cm 3/10 mm 10–20 cm 20/40 mm
Camada de Drenagem		15 cm cascalho	
Permeabilidade do meio filtrante Kf (m/s); U=d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub>	10 <sup>-3</sup> –10 <sup>-4</sup> U < 5	d <sub>10</sub> 0,25– 1,2 mm d <sub>60</sub> 1-4 mm U < 3,5	1st:superfície de limpeza ≈ 5,0 x 10 <sup>-4</sup> Com depósitos orgânicos ≈ 0,2 x 10 <sup>-4</sup> 2nd:camada superior 0,25 mm <d <sub>10</sub> <0,4mm
Carregamento hidráulico (mm/d)	80	100	400 mm filtro em operação (fluxo de tempo seco)
Carregamento orgânico (g/m <sup>2</sup> .d)	COD < 20	-	1st acima de 40 gBOD/m <sup>2</sup> .d
Profundidade	0.8 m	> 1 m	0.6–0.8 m

1st=primeiro estágio; 2nd= segundo estágio. Fonte: SWAMP (2005)

Devido às variedades de características de projeto, operação e manutenção aplicados aos WC, como temperatura, carregamento hidráulico, carregamento de poluentes, meio filtrante, modalidade de WC, entre outras, utilizou-se o exemplo da Dinamarca. Destaca-se que neste país há diretrizes bem estabelecidas para implantação da ecotecnologia para atender até 30 p.e.

Na Dinamarca o grau de tratamento necessário para águas residuais domésticas em áreas rurais é determinado pela Lei 325, de 14 de Maio de 1997, do Ministério do Meio Ambiente e Energia. Esta lei dispõe sobre o tratamento de águas residuais em zonas rurais e define classes de tratamento que têm de ser cumpridas nos domicílios alocados em áreas rurais, com objetivo de melhorar a qualidade ambiental das águas interiores e especialmente a dos pequenos cursos de água (BRIX, 2004).

O requerimento quanto a qualidade do tratamento depende do objetivo e da qualidade do corpo receptor. Em consulta com as

autoridades municipais, um conselho estipula os objetivos de qualidade para os corpos receptores por meio de Planos Regionais. O conselho identifica os cursos de água e lagos que são vulneráveis à poluição e com base no seu conhecimento de estado do ambiente e da carga poluidora individual nas águas receptoras, atribui a cada destinatário individual um nível ambientalmente permissível máximo da poluição (BRIX, 2004). Para domicílios alocados em áreas rurais o requerimento de qualidade do esgoto tratado é de 90 a 95% para DBO, 90% para PT e uma nitrificação de 90%.

A Agência de Proteção Ambiental dinamarquesa estima que existam aproximadamente 67.000 imóveis em áreas rurais em todo o país que têm atualmente descargas individuais que terão de melhorar seu desempenho. As demais propriedades restantes podem manter os meios existentes de eliminação de águas residuais sem qualquer melhoria adicional (BRIX, 2004).

A remoção de fósforo é necessária para o lançamento de águas residuais em um lago ou em um curso de água que desagua em um lago. A nitrificação é necessária para o lançamento de águas residuais em curso de água que tem como objetivo conservar a qualidade de água para o cultivo de peixes. A remoção de matéria orgânica, expressa em termos de DBO, é sempre necessária, mesmo que o efluente seja lançado no mar.

Na sequência da aprovação da Lei 325, de 14 de Maio de 1997 sobre tratamento de águas residuais nas zonas rurais, foram desenvolvidas diretrizes oficiais para várias opções de tratamento para os sistemas de até 30 p.e. (Ministério do Meio Ambiente e Energia, 1997). As diretrizes oficiais incluem orientações para trincheiras de infiltração no solo, WCH e para WCV (BRIX, 2004).

Trincheiras são a solução preferida por causa da simplicidade e por causa do preço baixo, contudo muitos locais não são propícios para realizar a técnica de infiltração no solo quando, por exemplo, ocorre solo argiloso, baixa permeabilidade, nível raso do lençol freático ou por causa da proximidade com poços de água potável. Nestes locais, devem ser utilizadas outras opções de tratamento. Estes incluem filtros de areia, WCH e WCV, tanques de coleta, ETE compactas, bem como a ligação a um sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário (BRIX, 2004).

### 5.6.1 Diretrizes para WCH empregados na Dinamarca

As diretrizes dinamarquesas estipuladas para o projeto e implantação de unidades WCH são (BRIX e ARIAS, 2005):

- (i) tratamento primário composto por Tanque Séptico com 3 câmaras;
- (ii) impermeabilização do WCH com geotêxtil;
- (iii) declividade do WCH de 1%;
- (iv) zonas de entrada e saída do WCH preenchidas com cascalho;
- (v) profundidade do WCH de 0,60 m;
- (vi) meio filtrante do WCH composto por areia ( $d_{10}$  entre 0,3 e 2 mm,  $d_{60}$  entre 0,5 e 8 mm, e o coeficiente de uniformidade deve ser de menor que 4);
- (vii) área mínima do WCH de 5 m<sup>2</sup>;
- (viii) vazão unifamiliar de 0,75 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>;
- (ix) macrófita empregada é do gênero *Phragmites Australis*, com densidade de plantio de 4 mudas.m<sup>-2</sup>;
- (x) taxa hidráulica aplicada de 30 L.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>.

Quanto ao desempenho de remoção de poluentes, estes WCH atendem apenas a classe menos rigorosa de tratamento, apresentando desempenho médio de 90% de remoção de DBO<sub>5</sub>, sendo que estes não removem nitrogênio, pois não há nitrificação, e a remoção de fósforo é limitada (BRIX, 2004).

Os detalhes de projeto e construção dos WCH descritos nas orientações dinamarquesas são semelhantes ao dos sistemas descritos nas orientações de outras literaturas (VYMAZAL et al., 1998; BRIX et al., 2000).

### 5.6.2 Diretrizes para WCV empregados na Dinamarca

As diretrizes dinamarquesas para WCV foram fundamentadas no monitoramento em escala real de sistemas aplicados no tratamento de esgoto sanitário, em residência unifamiliar com 5 p.e.

O arranjo tecnológico monitorado consistiu de um tanque de sedimentação de 2 m<sup>3</sup> com três câmaras (RAC), seguido por uma bomba controlada por nível e um WCV com 15 m<sup>2</sup> de área superficial. O sistema foi monitorado em condições com 100 % de recirculação, bem como sem recirculação.



A recirculação do efluente tratado para o tanque de sedimentação foi proposta com objetivo de aumentar a remoção de nitrogênio por desnitrificação (BRIX, 2003).

A Tabela 12 apresenta as características dos WCV monitorados, destacando-se a unidade sem recirculação e outra com recirculação, ambas sem sistema para precipitação química de fósforo.

Tabela 12. WCV empregados como normativa dinamarquesa.

Características de Projeto e Operação	Meio filtrante	p.e.	Área /p.e.	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)
WCV; s/ recirculação; s/ precipitação química; 16-24 pulsos dia	Areia c/ d <sub>10</sub> entre 0.25 e 1.2 mm, d <sub>60</sub> entre 1 e 4 mm, e coeficiente de uniformidade (U=d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub> ) menor 3.5	5	3,0	0,75	Phragmites australis	50,0
WCV; c/ 100% de recirculação; s/ precipitação química; 16-24 pulsos/dia	Areia c/ d <sub>10</sub> entre 0.25 e 1.2 mm, d <sub>60</sub> entre 1 e 4 mm, e coeficiente de uniformidade (U=d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub> ) menor 3.5	5	3,0	0,75	Phragmites australis	50,0

Os WCV monitorados apresentaram elevada capacidade de remoção de sólidos, com 95,6% e 96,6% de remoção do carregamento aplicado de SST para os casos monitorados sem e com recirculação, respectivamente.

WCV quando construídos de acordo com as diretrizes dinamarquesas são capazes de remover 95% de DBO e promover 90% de nitrificação (BRIX, 2004).

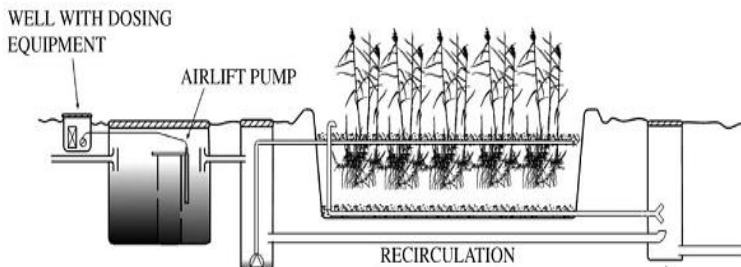
Os WCV não são capazes de cumprir as classes de tratamento que requerem a remoção de fósforo (BRIX, 2004). A Tabela 13 apresenta o desempenho dos sistemas monitorados, por meio dos parâmetros SST, DBO, N-NH<sub>4</sub>, NT e PT com e sem recirculação, e ambos monitorados sem precipitação química de fósforo no tanque de sedimentação.

Destaca-se que diante da baixa eficiência na remoção de fósforo em WCV, propôs-se uma precipitação química do fósforo no tanque de sedimentação com a dosagem de policloreto de alumínio para atingir a meta de remoção de 90% de PT. A Figura 40 apresenta o sistema estendido para precipitação química de fósforo no tanque de sedimentação.

Tabela 13. Desempenho do arranjo tecnológico avaliado

Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (% de remoção)				
		SST	DBO	NH <sub>4</sub> -N	NT	PT
Tanque séptico 2 m <sup>3</sup> c/recirculação	Esgoto doméstico	91	93	78	42	24
Tanque séptico 2 m <sup>3</sup> s/ recirculação	Esgoto doméstico	96	89	84	23	---

Figura 40. Arranjo tecnológico constituído por RAC e WCV com sistema estendido para precipitação química de fósforo no tanque de sedimentação.



Fonte: Brix e Arias (2005)

Cabe ressaltar que essas diretrizes para projeto dos *wetlands* construídos foram elaboradas fundamentadas na exigência para lançamento de efluentes dinamarquesas, sendo que a concentração de saída deve ser menor que 10 mg.L<sup>-1</sup> para DBO<sub>5</sub> e 1,5 mg.L<sup>-1</sup> para PT.

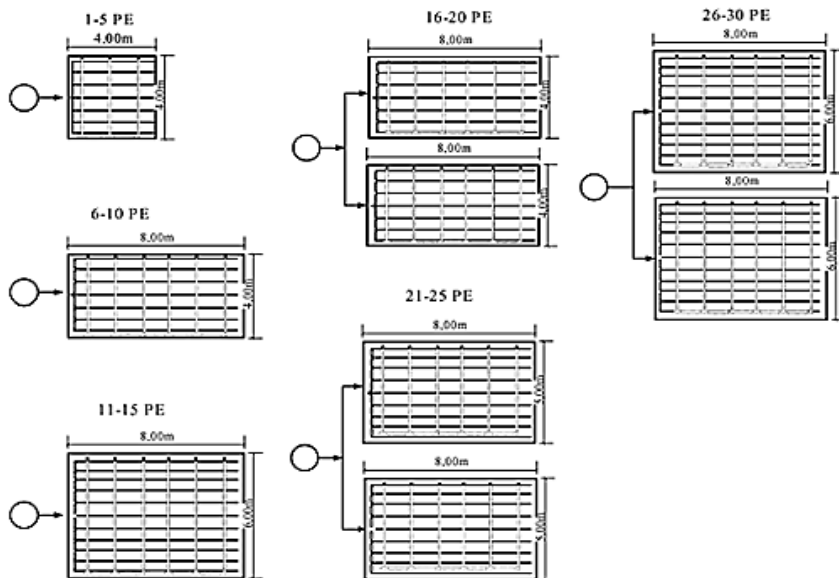
A normativa também propõe diretrizes para dimensionamento, largura, comprimento, profundidade, para WCV e formas de alimentação de acordo com o número de p.e., conforme apresentados na Figura 41. Para contribuição acima de 15 p.e. é recomendado a alimentação dos WCV em duas unidades em paralelo.

A legislação ambiental dinamarquesa é mais exigente em relação aos parâmetros de lançamento de efluentes DBO e PT, estipulando concentrações de 10 mg.L<sup>-1</sup> e 1,5 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, quando comparados com a Lei n. 14675/2009, que estipula concentrações máximas de 60 mg.L<sup>-1</sup> para DBO e 4 mg.L<sup>-1</sup> para PT, quando o lançamento for em lagoa lagunas e estuários.

O arranjo tecnológico composto por TS seguido de WCV, com 100% recirculação e com precipitação química do fósforo, cumpre as

exigências dinamarquesas de desempenho em relação DBO (com 95% de remoção), PT (com 90% de remoção) e 90% de nitrificação, logo atendendo a Lei n. 14675/2009 (SANTA CATARINA, 2009).

Figura 41. Recomendações de dimensões e formas de alimentação para utilização de WCV sob um equivalente populacional de até 30 p.e.



Fonte: Adaptado de Brix e Arias (2005).

Cabe ressaltar que a temperatura média na Dinamarca é de aproximadamente 8° C e que o desempenho de WCV é favorecido quando aplicados em clima mais quentes (MORVANNOU et al., 2015), como seria o caso do estado de Santa Catarina, por exemplo.

Ressalta-se, também, que *wetlands* construídos são uma solução interessante para o tratamento descentralizado de águas residuais no Brasil, uma vez que tem temperaturas quentes, extensas horas de radiação solar e superfície territorial disponível favorecendo o desempenho e emprego da ecotecnologia (MACHADO et al., 2016).

## **5.7 Critérios e instrumentos para orientar o processo de licenciamento ambiental da ecotecnologia dos *wetlands* construídos empregados no tratamento de esgotos de condomínios, loteamentos, comunidades rurais e domicílios isolados**

### **5.7.1 Critérios a serem considerados pelos projetistas e analistas ambientais**

Os dados levantados e avaliados relacionados com o arranjo operacional e o desempenho de tratamento dos *wetlands* construídos foram comparados com exigências estabelecidas na proposta do CONSEMA do estado de Santa Catarina para ETE com vazão até 5 L.s<sup>-1</sup>, equivalente para atender até 2880 habitantes, considerando-se uma contribuição per capita de 150 L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

A proposta do CONSEMA foi elaborada visando alterar o artigo nº 177 da Lei n. 14675/2009, que dispõe, de um modo geral, sobre padrões para lançamento de efluentes, com a inclusão de parâmetros específicos para efluente sanitário, bem como estabelecer frequências de monitoramento e metas progressivas.

A tomada de decisão para aprovação da ecotecnologia deve levar em consideração as leis e normas técnicas aplicáveis às unidades de tratamento de esgotos sanitários, conforme definido pela resolução CONAMA n. 237/1997 (BRASIL, 1997), bem como em normas brasileiras para projeto e operação das tecnologias em nível primário, secundário e terciário (NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997).

As resoluções CONAMA n. 430/2011, CONAMA n. 357/2005 e a Lei 14675/2009, também dispõem sobre padrões de lançamento de efluentes e enquadramento dos corpos receptores superficiais.

Os sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários aplicados aos loteamentos e condomínios, assim como em residências e empreendimentos instalados em áreas rurais, geralmente são considerados em escalas *on site*, individual em cada lote, ou em *cluster*, como em sistemas coletivos com coleta e tratamento de esgoto sanitário em local adequado. Independente do sistema escolhido, todas estas opções estão sujeitas ao licenciamento ambiental (SANTA CATARINA, 2012).

Diante da exigência do processo de licenciamento ambiental para loteamentos, condomínios e de sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário, elencam-se os principais critérios de projetos, operação

e manutenção a serem definidos e avaliados para dar subsídios à aprovação da implantação de ETE empregando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos, destacando-se:

- (i) A modalidade de WC que se pretende instalar (WCH, WCV, WCV-SF, WCV-FS, WCSH);
- (ii) O nível de tratamento em que o WC compõe (primário, secundário, terciário);
- (iii) O sistema de tratamento primário (RAC, UASB, TS, lagoa, TI);
- (iv) A configuração do arranjo tecnológico (TS+WCV, RAC+WCV, TI+WC, lagoa+WC, UASB+WC, WCV-SF; TI+WCSH);
- (v) O carregamento afluente à unidade composta por WC em  $\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  (SST, DBO, N-NH<sub>4</sub>, NT, PT);
- (vi) A área do WC, contribuição em p.e., vazão ( $\text{L.s}^{-1}$ ), características do meio filtrante e plantas;
- (vii) A frequência de monitoramento da unidade de tratamento e do corpo receptor nos parâmetros de interesse (DBO, SST, N-NH<sub>4</sub>, NT, PT, conforme proposta do CONSEMA);
- (viii) O desempenho global (%) do arranjo tecnológico composto por WC (DBO, N-NH<sub>4</sub>, NT, SST, PT);
- (ix) O tipo de corpo receptor dos efluentes (infiltração no solo; rios, lagoas, lagoas, estuários);
- (x) A finalidade do efluente após tratamento (reutilização, irrigação, CONAMA n. 357/2005).

De forma geral, quando se relaciona os critérios de qualidade estabelecidos pelo CONSEMA do estado de Santa Catarina, com as diferentes modalidades de *wetlands* construídos pesquisadas (WCH, WCV, WCV-FS, WCV-SF, WCSH), pode-se destacar desempenhos variados de tratamento, conforme segue:

(i) pH:

Nas publicações avaliadas, o pH de sistemas monitorados ficou dentro do intervalo estabelecido na proposta do CONSEMA (com a variação de 5 a 9 unidades), corroborando inclusive com o preconizado pela Resolução CONAMA n. 430/2011 e Lei n. 14675/2009;

(ii) Temperatura:

Nas publicações avaliadas a temperatura dos sistemas monitorados ficaram dentro do intervalo estabelecido na proposta do CONSEMA (inferior a 40°C), resolução CONAMA n. 430/2011 e Lei n. 14675/2009;

(iii) Sólidos suspensos totais:

Os *wetlands* por tratarem-se de filtros, com os mais variados meios filtrantes, com diferentes espessuras de camadas e granulometria, possuem elevada eficiência na remoção de SST, conforme demonstram as publicações avaliadas e os resultados obtidos por meio dos dados compilados. As concentrações médias na saída dos WCH, WCV e WCSH avaliados foram de: 12,2 mg SST.L<sup>-1</sup>, 9 mg SST.L<sup>-1</sup> e de 12,5 mg SST.L<sup>-1</sup> respectivamente.

(iv) DBO:

No que dispõe a legislação ambiental para lançamento de efluentes em termos de DBO, e levando em consideração a legislação mais rigorosa, a qual destaca uma concentração máxima no efluente de 60 mg.L<sup>-1</sup> ou 80% de eficiência, os dados avaliados e compilados demonstram que os arranjos tecnológicos constituídos por unidades de *wetlands* construídos atendem as exigências estabelecidas pela Lei n. 14675/2009, a qual é mais rigorosa do que a Resolução CONAMA n. 430/2011.

(v) Nitrogênio total (NT):

Apesar de não haver exigência em relação ao parâmetro NT e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na legislação ambiental para lançamento de efluente sanitário, quando se deseja um efluente com melhor qualidade ou atender padrões de enquadramento de um corpo receptor estabelecidos pelo órgão ambiental competente ou comitês de bacias hidrográficas, sugere-se a decisão por instalar um WCV ou de WCSH e realizar a recirculação do efluente quando se deseja obter um melhor desempenho.

(vii) Fósforo total (PT):

Quando o corpo receptor dos efluentes forem lagoas, lagoas e estuários, conforme dispõe a Lei n. 14675/2009 (SANTA CATARINA, 2009), é necessário atender à exigência de 4 mg.L<sup>-1</sup> para lançamento de efluentes, ou de 75% de eficiência global do arranjo tecnológico. Para esta configuração de sistema de esgotos sanitários sugere-se aplicar as

diretrizes propostas e aplicadas na Dinamarca, como realizar a precipitação química do fósforo no tanque de sedimentação com dosagem de policloreto de alumínio, para obter desempenho de 90% de remoção de PT. As diretrizes dinamarquesas, conforme sistema em escala real monitorados, proporcionaram 90% de remoção de PT e efluentes com concentração menores que  $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$  (BRIX, 2004).

Cabe ressaltar que não há exigências em relação ao PT para lançamento de efluentes em rios. No entanto, a resolução CONAMA n. 357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece que para rios classe II a concentração de PT deve ser de 0,03 a  $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$  no corpo receptor.

Para lançamento de efluentes em pequenos cursos d'água recomenda-se a realização do estudo de autodepuração do corpo receptor. A precipitação química do fósforo no tanque de sedimentação pode proporcionar a melhoria da qualidade de pequenos cursos d'água.

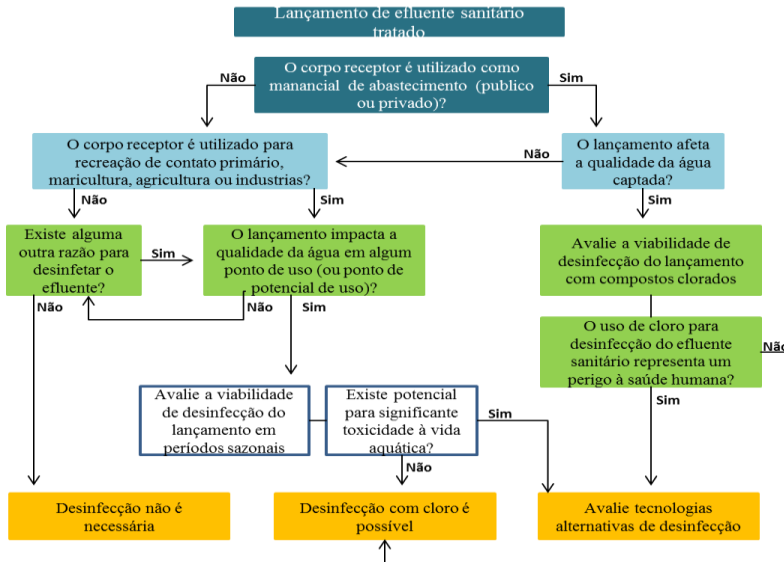
(viii) Coliformes termotolerantes:

Não há definições para coliformes na Lei nº 14675/2009 (SANTA CATARINA, 2009), tampouco na resolução CONAMA n. 430/2011 (BRASIL, 2011). No entanto, a remoção de coliformes deve ser eficiente quando o corpo receptor dos efluentes for destinado ao abastecimento público ou a balneabilidade.

Apesar de não estar estabelecido em legislação, a NBR 13969/1997 estabelece a desinfecção por meio de tanque de contato e pastilhas de cloro quando ocorre lançamento de esgoto sanitário nas galerias de drenagens pluviais (ABNT, 1997).

A tomada de decisão para implantar ou não uma unidade de desinfecção do efluente dependerá do uso preponderante do corpo receptor e pode ser decidido, com base em Termo de Referência e Matriz de Decisão, conforme propostas elaboradas pelo CONSEMA. A Figura 42 apresenta um modelo de matriz de decisão para utilização da desinfecção por cloro.

Figura 42. Matriz de decisão para utilização da desinfecção por cloro.



Fonte: CONSEMA, adaptado de Chenicharo (2006).

Quando decidido pelo uso da desinfecção por cloro, sugere-se a utilização de tanque de contato que podem ser alocado compondo a última unidade de tratamento em arranjos tecnológicos, ou na saída das unidades compostas por WC, conforme os exemplos apresentados nos sistemas 1 e 2 implantados no município de Palhoça/SC e Biguaçu/SC.

Apesar das recomendações para utilização da desinfecção com cloro, sabe-se que o emprego do mesmo pode favorecer a formação de trihalometanos.

Os *wetlands* construídos, de um modo geral, promovem limitada remoção de coliformes termotolerantes. Contudo, sistemas monitorados por ÁVILA et al. (2015), demonstram que o efluente final dos sistemas TI+WCSH (WCV-WCH-WCSL) atendem as normas espanholas existentes para aplicação de vários tipos de reutilização, como recarga de aquíferos por infiltração no solo, silvicultura, irrigação de florestas e para áreas verdes não acessíveis ao público.

Em relação aos critérios operacionais e os elementos componentes dos *wetlands* construídos, destacam-se:



(i) Operação e monitoramento:

Para determinação da frequência do monitoramento das ETE e dos corpos receptores, sugere-se adotar a proposta elaborada pelo CONSEMA (Tabela 8), determinada em função da categoria (1, 2, 3) e vazão da ETE ( $<5 \text{ L.s}^{-1}$ ,  $< 60 \text{ L.s}^{-1}$ ,  $>60 \text{ L.s}^{-1}$ ).

(ii) Macrófitas – exemplo empregando a *Typha* sp:

As plantas a serem utilizadas em WC, quando plantados com *Typha* sp, podem ser suprimidas em seus locais naturais de ocorrência dependendo do ambiente em que estão inseridas. Os ambientes mais adequados seriam aqueles em que não se tratam de APP – Área de Preservação Permanente, definidos pela Lei n. 12651/2012 (BRASIL, 2012).

No Estado de Santa Catarina não há normativas para supressão de vegetação herbácea como *Typha* sp que é nativa do bioma brasileiro, podendo ser encontrada em vários ambientes como nas restingas e várzeas.

Sugere-se, como medida de segurança, a solicitação ao órgão ambiental competente de uma certidão dispensando o licenciamento ambiental para a atividade de remoção de macrófitas *Typha* sp de ambientes naturais para o replantio em WC.

Quando se trata da retirada das macrófitas dos ambientes naturais e o replantio em *wetland*, recomenda-se que seja feita escavação manual, separando-se rizomas que contenham no mínimo dois nódulos não danificados (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

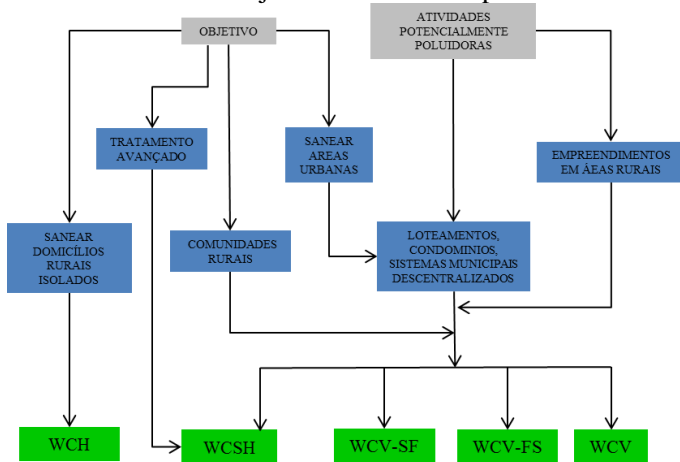
(iii) Meio filtrante:

Quanto ao meio filtrante aplicados a WC, sugere-se aqueles constituídos por brita e areia, que são mais largamente empregados no Brasil (MACHADO et al., 2016).

A granulometria do meio filtrante quando constituída por areia grossa sugere-se aquelas propostas por Sezerino et al. (2015), a fim de obter-se uma boa permeabilidade e a manutenção da vida útil do sistema, prolongando o período de utilização e postergando a colmatação do meio filtrante.

A Figura 43 apresenta um fluxograma orientador para escolha da ecotecnologia fundamentada no objetivo e atividade pretendida para os *wetlands* construídos, como loteamentos, condomínios, empreendimentos em áreas rurais, tratamento avançado, tratamento descentralizado em áreas urbanas, comunidades rurais e isoladas.

Figura 43. Fluxograma para orientar a escolha da ecotecnologia de acordo com os objetivos e atividades pretendidos.



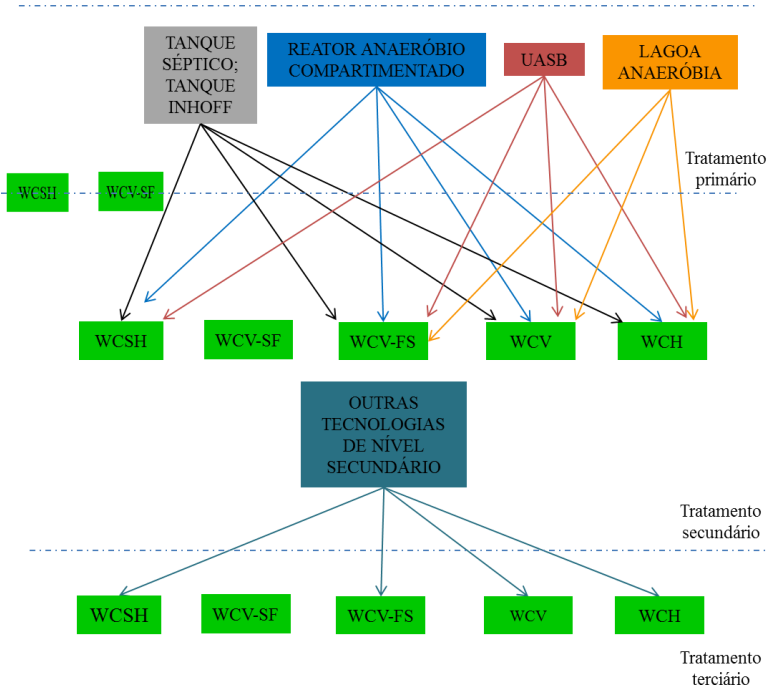
Fonte: O autor

Para orientar a aprovação e escolha dos arranjos tecnológicos constituídos por *wetlands* construídos foi confeccionado um fluxograma (Figura 44) com as configurações mais frequentemente empregadas no tratamento de esgoto doméstico e sanitário a nível primário, secundário e terciário.

O carregamento aplicado no WC, o tipo de meio filtrante, a vazão afluyente aplicada, a relação área/p.e., as espécies de macrófitas a serem empregadas e os possíveis desempenhos de tratamento dos arranjos tecnológicos constituídos por *wetlands* construídos podem ser comparados ou verificados com os gráficos de carregamentos removidos e desempenho em função dos carregamentos aplicados, bem como as tabelas de desempenho constantes nos APÊNDICE II, III e IV.

Os resultados de desempenho das unidades de *wetlands* dos arranjos tecnológicos avaliados e a média das concentrações na saída desses sistemas de tratamento, demonstram que os *wetlands* atendem os parâmetros exigidos por normas e leis aplicáveis ao licenciamento ambiental no Estado de Santa Catarina para lançamento de efluente sanitário, com exceção do WCH e WCV utilizados como tratamento secundário cujo efluentes sejam lançados em corpos receptores tipo lagoas, lagoas e estuários.

Figura 44. Fluxograma com arranjos tecnológicos empregando WC no tratamento de nível primário, secundário e terciário de esgoto doméstico e sanitário.



WCSH e WCV-SF são utilizados como tratamento de nível primário e secundário. Fonte: O autor

A utilização da técnica de dosar policloreto de alumínio no tratamento primário ou tanque de sedimentação pode ser uma alternativa viável para atender as exigências ambientais em relação ao parâmetro PT quando do emprego de WCH e WCV aplicados como tratamento secundário cujos efluentes sejam lançados em lagoas, lagunas, estuários, bem como para atingir metas de enquadramento de corpos d'água superficiais.

Definido a configuração do arranjo tecnológico e o nível de tratamento que o *wetland* construído irá compor, o próximo passo é verificar o atendimento as leis e normas aplicáveis ao licenciamento ambiental da atividade potencialmente poluidora, tais como: loteamentos, condomínios, sistema de coleta e tratamento de esgoto

sanitário, atividade de hotelaria, complexos turísticos e de lazer, entre outras.

Dentre as documentações estabelecidas relacionadas ao esgotamento sanitário nas instruções normativas da Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – FATMA, tais como a IN 03 (Parcelamento do solo Urbano), a IN 05 (Estação de tratamento de esgoto sanitário) e a IN 06 (condomínios de casas ou edifícios, condomínios comerciais horizontais e verticais, atividades de hotelaria, estabelecimentos prisionais, complexos turísticos e de lazer, parques temáticos), destacam-se:

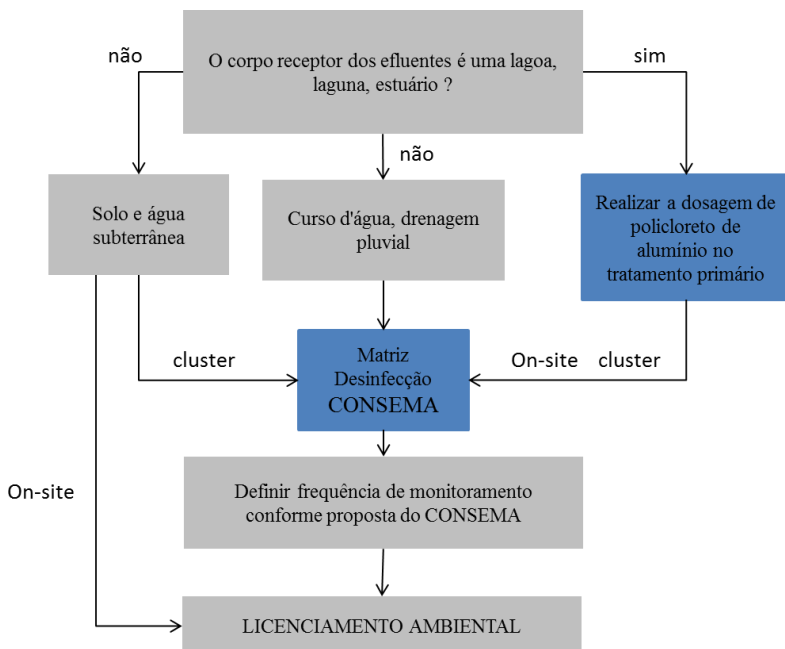
- (i) O estudo ambiental (Tabela 5) e estudo de autodepuração do corpo receptor;
- (ii) Teste de infiltração e de determinação do lençol freático para casos de infiltração de esgoto sanitário tratado no solo;
- (iii) Projeto executivo do sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, com memorial descritivo e de cálculo, plantas e cortes.
- (iv) Anuência da concessionária de serviços de esgoto, visando sua manutenção e operação do sistema de tratamento;
- (v) Programa de operação e manutenção do sistema de coleta e tratamento de esgotos sanitários;
- (vi) Cópia da anuência da concessionária de esgoto, relativa à manutenção e operação do sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário a ser implantado;
- (vii) Cópia da autorização do órgão municipal competente para o lançamento de efluente tratado na rede municipal de drenagem pluvial;
- (viii) Responsabilidade pela operação e manutenção do sistema de tratamento de esgoto sanitário;
- (ix) Relatório do programa de monitoramento da qualidade dos efluentes tratados e do corpo receptor, com respectivos laudos de análise;

Para implantação de obras de sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário, a concepção do projeto, a definição e caracterização do corpo receptor segundo CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005) e o estudo de autodepuração do corpo receptor devem ser apresentados no estudo

ambiental (RAP, EAS, EIA-RIMA) e são necessários para obtenção da licença ambiental prévia (LAP).

Diante da exigência para lançamento de efluentes em curso d'água, elaborou-se um fluxograma para orientar o procedimento de licenciamento ambiental de arranjos tecnológicos constituídos por *wetlands* construídos de acordo com o corpo receptor dos efluentes e dos sistemas *on-site* ou em *cluster* a serem implantados (Figura 45).

Figura 45. Fluxograma para orientar o processo de licenciamento ambiental de arranjos tecnológicos composto por WC pelos órgãos ambientais no Estado de Santa Catarina, de acordo com o corpo receptor dos efluentes tratados.



Fonte: O autor

A definição do corpo receptor do esgoto sanitário tratado, solo, drenagem pluvial, curso d'água, lagoas, lagunas, estuários é essencial para definir as leis e normas a serem aplicadas no licenciamento ambiental.

Quando optados pela infiltração do esgoto tratado no solo, deve-se verificar a profundidade do lençol freático, sendo recomendado

um distanciamento mínimo de 1,5 metros da unidade de infiltração ou sumidouro do nível do lençol freático, e o solo deve possuir uma infiltração adequada, conforme propõe NBR 13969/1997 (ABNT, 1997).

Apesar de não estar estabelecidos na Lei n. 14675 (SANTA CATARINA, 2009) e resolução CONAMA n. 430 (BRASIL, 2011) sobre infiltração no solo, o lançamento de efluente no solo, mesmo tratados, não pode vir a causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas (BRASIL, 2011).

Diante disso, o lançamento do efluente deve manter os padrões de qualidade da água superficiais, Lei n. 14675/2009, CONAMA n. 430/2011, CONAMA n. 357/2005 e subterrânea nos moldes da resolução CONAMA n. 420/2009, como, por exemplo, a concentração de nitrato na água subterrânea de no máximo  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Nos terrenos onde o nível do lençol freático é raso ou com solos argiloso, rochosos, com baixa capacidade de infiltração da água residuária, não são adequados para serem utilizados como corpo receptor dos efluentes. Nestes locais devem ser utilizados como corpo receptor corpos d'água superficiais, como curso d'água, lagoas, lagunas e estuários.

Quando o corpo receptor for superficial, bem como sistema de drenagem pluvial, o arranjo tecnológico deverá atender os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos nas resoluções CONAMA n. 430 (BRASIL, 2011), Lei n. 14675 (SANTA CATARINA, 2009) e não devem conferir ao corpo receptor características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade de água, adequadas aos diversos usos benéficos previstos para o corpo de água, conforme resolução CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005).

Quanto ao desempenho e padrões de lançamento de efluentes dos arranjos tecnológicos constituídos por *wetlands* construídos, os dados dos sistemas monitorados em escala real, APÊNDICES II, III e IV, podem servir para comparar o desempenho da ecotecnologia com os parâmetros exigidos por normas e leis aplicáveis ao licenciamento ambiental.

Não há em normas ou lei diretrizes operacionais para ETE, como a definição da frequência de monitoramento a ser realizada para avaliar o desempenho das unidades de tratamento. Diante disso, para determinação da frequência do monitoramento das ETE e dos corpos receptores, sugere-se adotar a proposta elaborada pelo CONSEMA (Tabela 8), determinada em função da categoria (1, 2, 3) e vazão da ETE

(<5 L.s<sup>-1</sup>, < 60 L.s<sup>-1</sup>, >60 L.s<sup>-1</sup>) e nos parâmetros estabelecidos por resoluções e leis.

Os loteamentos, condomínio de terrenos e atividades contempladas na IN 06 com estação de tratamento de esgoto sanitário, localizados em área não atendida por sistema público de coleta e tratamento de esgoto, devem periodicamente obter a renovação da Licença de Operação (LAO) que incidirá apenas sobre a estação de tratamento de esgoto sanitário (SANTA CATARINA, 2013).

A tabela 14 apresenta o intervalo das concentrações pela média das concentrações na saída das unidades de WC comparados com a proposta do CONSEMA considerando a meta a ser atingida após o ano de 2031. A Tabela 15 apresenta o intervalo dos carregamentos removidos pelo intervalo de carregamento aplicado nas unidades de WC avaliadas.

Tabela 14. Intervalo de concentração do efluente tratado ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) pela média das concentrações dos efluentes tratados nos WC avaliados ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

Parâmetros	ETE Categoria 1 $Q \leq 5 \text{ L.s}^{-1}$		WCH	WCV	WCV-FS	WCSH	WCV-SF
	Média anual a partir de 2031						
	Valor	Frequência					
pH	5 a 9	bimestral	N/A	N/A	6,3-6,5	N/A	N/A
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	<40	bimestral	5-29,8	8-22	-	10-23,7	N/A
$\text{DBO}_5$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	60	bimestral	1-89/14,8	1-54/11	5-48	2-35,4/14,34	1,22
DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	160	Mensal	N/A	N/A	18-179	N/A	N/A
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL) *	b	Trimestral	b	b	b	b	b
Sólidos sedimentáveis ( $\text{mL.L}^{-1}$ )	0,5	bimestral	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SST ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Não aplicável	Não aplicável	2-104/12,2	0,7-216/9	-	1-55,5/12,5	1,25
Óleos e graxas totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	50	bimestral	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Nitrogênio total ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Não aplicável	Não aplicável	16-80/29,5	3,7-190/39,8	N/A	1,9-127/24,6	26 (TKN)
Nitrogênio amoniacal ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Não aplicável	Não aplicável	0,7-48/15,7	0,04-59/6,8	3-54	0,1-35/8,54	N/A
Fósforo total ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	c	bimestral	0,4-14,3/5,9	0,4-13,2/4,2	1-10	0,11-11,9/3,6	-

Notas: (a) Valor máximo da Resolução CONAMA 430/2011; (b) Depende de estudo do corpo receptor elaborado pelo interessado com base Termo de Referência e Matriz de Decisão; (c) Para ambientes lênticos, intermediários e lóticos, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005; (d) PA: Padrão de acompanhamento; N/A: não avaliado; \*A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes.



Tabela 15. Intervalo dos carregamentos aplicados pelos carregamentos removidos nos WC avaliados  
Carregamento aplicado / Carregamento removido ( $\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ )

Parâmetros	WCH	WCV	WCV-FS	WCSH	WCV-SF
DBO <sub>5</sub>	1-89/0,1-53,4	1-49,1/0,9-42,2	0,95-42,5/0,9-36,3	0,3-30,7/0,2-28,6	N/A
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL) *	b	b	b	b	b
SST	0,5-114,3/ 0,1-93	0,3-40,8/0,3-16,6	0,31-14,1/0,28-11,23	1,0-58,4/0,9-57,2	
Nitrogênio total	16-80/0,1-8,0	1,1-12,4/0,6-6,6	N/A	0,2-15/0,2-9,0	N/A
Nitrogênio amoniacal	0,67-48,7/0,2-2,8	0,5-12,7/0,4-9,5	0,49-12,65/0,46-5,7	0,6-4,8/0,5-3,4	N/A
Fósforo total (c)	0,4-14,3/-0,3-1,1	0,1-3,4/0-2,1	0,14-3,4/0,12-2,1	0-2,2/0-1,6	N/A

Nota: (b) Depende de estudo do corpo receptor elaborado pelo interessado com base Termo de Referência e Matriz de Decisão; (c) Para ambientes lênticos, intermediários e lóticos, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005; N/A: não avaliado; \*A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes.



### **5.7.2 Considerações sobre aplicação de WC computando como áreas verdes em condomínios e loteamentos**

Para utilização de WC computando como áreas verdes urbanas, o mesmo deverá atender os quesitos legais e características funcionais destinadas às áreas verdes, como área mínima, tipo de vegetação, atração da avifauna, melhoria da qualidade ambiental urbana, manutenção ou melhoria paisagística, entre outras.

As áreas verdes são constituídas de formação vegetal natural ou artificial preexistente ao parcelamento da gleba, ou até mesmo sua formação pode ser imposta pelo Poder Público (MPSC, 2015).

Segundo Lei n. 12651/2012 (Código Florestal), a área verde urbana é um espaço, público ou privado, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais (BRASIL, 2012).

A área verde pode servir ao lazer e à recreação, como elementos urbanísticos. No entanto, as áreas verdes não se destinam apenas à ornamentação urbana, mas também desempenham importante papel sanitário e até de defesa e recuperação do meio ambiente, diante da degradação de agentes poluidores (ARFELLI, 2004).

Uma das finalidades de aplicação de áreas verdes em loteamentos e condomínios é a criação de cobertura vegetal em locais desprovidos de vegetação, como, por exemplo, a vegetação de mata atlântica (MPSC, 2015).

Os WC proporcionam a criação de cobertura vegetal. Portanto, entende-se que a ecotecnologia pode ser aplicada como área verde de vegetação quando forem plantadas preferencialmente com espécies nativas, como por exemplo, a *Typha* sp, que ocorre em ambientes úmidos do bioma mata atlântica, nas restingas, várzeas, entre outros ambientes brasileiros.

Entende-se, também, que pode ser utilizado espécies exóticas em WC para computar como área verde, uma vez que as áreas verde urbanas podem ser plantados com espécies exóticas (BRASIL, 2012).

Ressalta-se que na literatura acadêmica há relatos da atração de aves devido a vegetação e o ambiente proporcionado em WC, portanto podem atrair a avifauna local, além de poderem constituir belíssimos jardins proporcionando a melhoria paisagística do ambiente, crescem umidade no entorno dos ambientes, além do que as plantas realizam a evapotranspiração e absorvem CO<sub>2</sub>.

A utilização de WC como área verde de lazer entende-se não ser aplicável, devido aos riscos sanitários que podem vir a ocorrer quando destinados aos propósitos de recreação e lazer de uso público.

Contudo, as áreas verdes não têm função apenas recreativa, mas importam em equilíbrio do meio ambiente urbano. A Figura 46 apresenta um sistema de tratamento de esgoto sanitário composto por WCSH (WCV-WCH-WCSL) aplicado em empreendimento turístico.

Figura 46. WCSH utilizado em empreendimento turístico em Koh Phi Phi ilha perto da Tailândia



Fonte: <https://webpages.uidaho.edu/larc380/new380/pages/qualityWetlands2.html>. Foto: Hans Brix.

Diante das definições e considerações sobre áreas verdes, infere-se que WC tem grande potencial para utilização como área verde urbana aplicada em loteamentos e condomínios, pois atendem em grande parte os quesitos legais e características funcionais aplicáveis às estas áreas.

Para utilizar a área destinada aos WC computando como área verde, sugere-se que tal prática seja aprovada por meio de lei municipal, como no Plano Diretor Municipal, ou por autoridades competentes, como as companhias de saneamento, órgão ambiental competente e Ministério Público.

Ressalta-se que para loteamentos a área destinada à ETE pode computar como área de uso comum, institucionais ou de utilidade pública.

Em condomínios de terrenos não há área institucional ou de utilidade pública, portanto a utilização de WC computando como área verde pode favorecer a sua aplicação por empreendedores.

## 6 CONCLUSÃO

O banco de dados elaborado por meio das publicações avaliadas contem informações de projeto, desempenho e operacional sobre *wetlands* construídos monitorados em escala real e são de grande valia para auxiliar na escolha da ecotecnologia aplicada no tratamento de esgotos sanitários de loteamentos, condomínios, comunidades rurais e em domicílios isolados. Estas informações são fundamentais para a composição do arranjo tecnológico a ser empregado.

Os *wetlands* construídos avaliados possuem desempenho compatível, e até mesmo superior, quando comparados com as tecnologias de nível secundário normatizadas pela NBR 13969/1997 (ABNT, 1997) e atendem o que dispõe a proposta do CONSEMA em metas progressivas, resolução CONAMA n. 430 e Lei n. 14675/2009 em termos de DBO e PT para lançamento em cursos d'água.

A implementação da estratégia de dosar policloreto de alumínio no tanque de sedimentação, ou no tratamento primário, parece ser uma alternativa viável para ampliação da implementação do *wetlands* construídos empregados no tratamento secundário, quando o corpo receptor do efluente tratado forem lagoas, lagoas e estuários.

Os *wetlands* construídos avaliados demonstraram serem alternativas robustas quando empregadas no tratamento de águas residuais domésticas, surgindo como uma ecotecnologia que pode ser aplicada em todas regiões brasileiras, nas áreas rurais e urbanas que não dispõem de rede pública de coleta de esgoto sanitário ou que possuem fossas rudimentares, ou ainda não possuem nenhuma solução.

O fluxograma orientador do processo de licenciamento ambiental dos *wetlands* construídos como unidade de tratamento de esgotos é uma ferramenta capaz de auxiliar a escolha da ecotecnologia a ser aplicada em loteamentos, condomínios, comunidades rurais e isoladas, bem como na identificação do atendimento às leis e normas aplicáveis ao licenciamento ambiental.

Os *wetlands* tem grande potencial para utilização como área verde urbana em loteamentos e condomínios, pois atendem em grande parte os quesitos legais e características funcionais aplicáveis às áreas verdes urbanas.

A área destinada aos *wetlands* quando computado como área institucional em loteamento ou como área verde em loteamentos e condomínios de terrenos pode favorecer a escolha pela instalação da ecotecnologia.

## REFERÊNCIAS

AGENCE DE L'EAU RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE - AERMC. **Épuration des eaux usées par des filtres plantes me Macrophytes: une étude bibliographique.** Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Lyon: France. 80p. 1999.

ALVES, M. M.; BEÇA, C. G. G.; DE CARVALHO, R. G.; CASTANHEIRA, J. M.; PEREIRA, M. C. S.; VASCONCELOS, L. A. T. Chromium removal in tannery wastewaters 'polishing' by *Pinus sylvestris* bark. **Water Research**, v.27, n.8, p.1333-1338, 1993.

ARFELLI, A. C. Áreas verdes e de lazer: considerações para sua compreensão e definição na atividade urbanística de parcelamento do solo. **Revista de Direito Ambiental**, v.9, n.33, p.33-51, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13969:** Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7229:** Projeto, construção e operação de sistemas tipo Tanque séptico. Rio de Janeiro, 1993.

ÁVILA, C.; BAYONA, J. M.; MARTÍN, I.; SALAS, J. J.; GARCÍA, J. Emerging organic contaminant removal in a full-scale hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and reuse. **Ecological Engineering**, v.80, p.108-116, 2015.

BIALOWIEC, A.; JANCZUKOWICZ, W.; RANDERSON, P. F. Nitrogen removal from wastewater in vertical flow constructed wetlands containing LWA/gravel layers and reed vegetation. **Ecological Engineering**, v.37, n.6, p.897-902, 2011.

BIEKER, S.; CORNEL, P.; WAGNER, M. Semicentralised supply and treatment systems: integrated infrastructure solutions for fast growing

urban areas. **Water Science and Technology**, v.61, n.11, 2905-2913, 2010.

BOUTIN, C.; LIENARD, A. **Constructed wetlands for wastewater treatment: the French experience**. In: 1st international seminar on the use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands, Lisbonne, Portugal, 2003.

BRASIL. Lei nº 4591. **Dispõe sobre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias**. Diário Oficial da União, Brasília, 16 de dezembro de 1964.

BRASIL. Lei nº 6.766. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 20 de dezembro de 1979.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA**. Resolução nº 357 de 13 de maio de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de março de 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA**. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, 16 maio 2011.

BRASIL. Lei nº 12651. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Diário Oficial da União, Brasília, 28 de maio de 2012.

BRIX, H. Denmark. In: Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R. (Eds.), **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe**. Leiden, The Netherlands, p.123–152, 1998

BRIX, H.; ARIAS, C. A.; JOHANSEN, N. H. Experiments a two-stage constructed wetland system: nitrification and effects of recycling and nitrogen removal. **Wetlands – nutrients, metal and mass cycling**, p.237-258, 2003.



BRIX, H.; ARIAS, C. A. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. **Ecological Engineering**, v.25, n.5, p.491-500, 2005.

BRIX, H. **Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage**. In: 9th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Avignon, France, 2004.

BRIX, H.; KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L.; VYMAZAL, J.; COOPER, P.; HABERL, R. **Constructed wetlands for pollution control. Processes, performance, design and operation**. London: IWA Publishing, 2000.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico do Tratamento de Águas Residuárias – Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v.5, n.1, p.73-92, 2006.

CONKLE, J. L.; WHITE, J. R.; METCALFE, C. D. Reduction of pharmaceutically active compounds by a lagoon wetland wastewater treatment system in Southeast Louisiana. **Chemosphere**, v.73, n. 11, p.1741-1748, 2008.

COOPER, P. F. A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. **Water Science and Technology**, v.40, n.3, p.1-9, 1999.

COTA, R.S. **Hidrodinâmica e desempenho de filtros Verticais plantados e não plantado com Alimentação em pulso, empregados no Tratamento de esgoto sanitário bruto**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CUI, L.; OUYANG, Y.; LOU, Q.; YANG, F.; CHEN, Y.; ZHU, W.; LUO, S. Removal of nutrients from wastewater with *Canna indica* L. under different vertical-flow constructed wetland conditions. **Ecological Engineering**, v.36, n.8, p.1083-1088, 2010.

DE FRAJA FRANGIPANE, E., PASTORELLI, G. **Piccoli Impianti di Depurazione e Manuale di Progettazione**. CIPA, Milan, Italy, 1997.

FONDER, N.; HEADLEY, T. The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system. **Ecological Engineering**, v.51, p.203-211, 2013.

FOUNTOULAKIS, S.M, TERZAKIS S, CHATZINOTAS A, BRIX H, KALOGERAKIS N, MANIOS T. Pilot-scale comparison of constructed wetlands operated under high hydraulic loading rates and attached biofilm reactors for domestic wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v.407, n.8, p.2996–3003, 2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. SANEAMENTO RURAL - FUNASA. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/>>. Acesso em 30 de janeiro de 2017.

GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT - GIZ. **Technology review of constructed wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment**. Sociedade Alemã de Cooperação Internacional, Programa de saneamento sustentável, 2011.

HO, G. Technology for sustainability: the role of on site, small and community scale technology. **Water Science and Technology**, v.51, n.10, p.15-20, 2005.

HO, G., ANDA, M. **Centralised versus decentralised wastewater systems in an urban context: the sustainability dimension**. In: 2nd IWA Leading-Edge Conference on Sustainability, Sydney, Australia, 2004.

HOFFMANN, H.; PLATZER, C.; WINKER, M.; VON MUENCH, E. **Technology review of constructed wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment.** Eschborn: Giz, 36 p., 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – **PNAD**, 2014.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. Scientific and Technical Report**, London, England, 2000.

KADLEC RH. **Northern natural wetland water treatment systems.** In: Reddy KR, Smith WH, editors. Aquatic plants for water treatment and resource recover. Orlando, USA: Magnolia Publishing; 1987.

KADLEC, R. H.; WALLACE, R. D. **Treatment Wetlands.** 2a. ed. Florida: CRC Press., 2009.

KHAN, A. G. Relationships between chromium biomagnification ratio, accumulation factor, and mycorrhizae in plants growing on tannery effluent polluted soil. **Environmental International**, v.26, p.417-423, 2001.

KIM, B.; GAUTIER, M.; PROST-BOUCLE, S.; MOLLE, P.; MICHEL, P.; GOURDON, R. Performance evaluation of partially saturated vertical flow constructed wetland with trickling filter and chemical precipitation for domestic and winery wastewaters treatment. **Ecological Engineering**, v.71, p.41-47, 2014.

KNOWLES, P.; DOTRO, G.; NIVALA, J.; GARCÍA, J. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors. **Ecological Engineering**, v.37, n.2, p.99-112, 2011.

KRASNITS, E.; FRIEDLER, E.; SABBAHB, I.; BELIAVSKI, M.; TARREA, S.; GREENA, M. Spatial distribution of major microbial groups in a well-established constructed wetland treating municipal wastewater. **Ecological Engineering**, v.35, n.7, p.1085-1089, 2009.

LADD, J. N.; AMATO, M.; VAN VEEN, H. A. Soil microbial biomass: its assay and role in turnover of organic matter C and N. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p. 1369-1372, 2004.

LANA, O. C. L.; MORAES, C. D.; VON SPERLING, M.; MORATO, M. L. N.; VASCONCELLOS, G. R.; PARAENSE, O. M.; MOREIRA, T. P. A. Performance of a single stage vertical flow constructed wetland system treating raw domestic sewage in Brazil. **Water Science and Technology**, v.68, n.7, p.1599-1606, 2013.

LENS, P.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. **Decentralized Sanitation and Reuse**, IWA Publishing, 650 p., 2001.

MACHADO, A. I.; BERETTA, M.; FRAGOSO, R.; DUARTE, E. Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v.187, p.560-570, 2016.

MATAMOROS, V.; ARIAS, C.; BRIX, H.; BAYONA, J. M. Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products. **Water Research**, v.43, n.1, p.55-62, 2009.

MATOS, A. T.; ABRÃO, S. S.; MONACO, P. L. V. A.; SARMENTO, A. P.; MATOS, M. P. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Engenharia Agrícola Ambiental**, v.14, n.12, p.1311-1317, 2010.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; FIA, R.; MATOS, M. P. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura visando seu reuso. **Engenharia na Agricultura**, v.17, p.383-391, 2009.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; PEREIRA, O. G. Desempenho agrônômico de capim tifton (*Cynodon* spp.) cultivado em sistemas

alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. **Revista Ambiente e Água**, v.3, n.1, p.43-53, 2008.

MASSOUD, M.A.; TARHINI, A.; NASR, J.A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries **Journal of Environmental Management**, v.90, p.652-659, 2009.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3<sup>o</sup> ed. New York, USA: Metcalf & Eddy, Inc. 1334 p., 1991.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (MPSC). Centro Operacional do Meio Ambiente. Guia de atuação no Ordenamento Territorial e Meio ambiente, 2015.

MOLLE, P.; LATUNE, R. L.; RIEGEL, C.; LACOMBE, G.; ESSER, D.; MANGEOT, L. French vertical-flow constructed wetland design: adaptations for tropical climate. **Water Science and Technology**, v.71, n.10, p.1516-1523, 2015.

MOLLE, P.; LIE´NARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. **Water Science and Technology**, v.51, n.9, p.11-21, 2005.

MORVANNOU, A.; FORQUET, N.; MICHEL, S.; TROESCH, S.; MOLLE, P. Treatment performances of French constructed wetlands: results from a database collected over the last 30 years. **Water Science and Technology**, v.71, n.9, p.1333-1339, 2015.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitários: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 425p, 2009.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4ed. Rio de Janeiro: ABES, 388p, 2006.

MINISTRY OF ENVIRONMENT AND ENERGY.. **Certification of technical wastewater treatment systems up to 30 PE**. Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency, n.4 (in Danish), 1999.

NEW ZEALAND MUNICIPAL WASTEWATER MONITORING GUIDELINES - NZWERF. **NZ Water Environment Research Foundation**. Wellington, New Zealand, 2002.

PAN, J.; ZHANG, H.; LI, W.; KE, F. Full-Scale Experiment on Domestic Wastewater Treatment by Combining Artificial Aeration Vertical- and Horizontal-Flow Constructed Wetlands System. **Water Air Soil Pollut**, v.223, n.9, p.5673-5683, 2012.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.; PANCERI, B.; OLJNYK, D. P.; KOSSATZ, B.. **Root zone system to treat wastewater in rural areas in south of Brazil**. In: Proceedings of the 10th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, MAOTDR, Lisbon, Portugal, p.901–908, 2006.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. 1ª ed. Florianópolis, Santa Catarina, 2004.  
PROST-BOUCLE, S.; MOLLE, P. Recirculation on a single stage of vertical flow constructed wetland: treatment limits and operation modes. **Ecological Engineering**, v.43, p.81-84, 2012.

PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. **Water Science and Technology**, v.40, n.3, p.257-263, 1999.

PLATZER, C.; SENFT, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W.; COSTA, R. H. R. **Dimensionamento de wetland de fluxo vertical com nitrificação-Adaptação de modelo europeu para as condições climáticas do Brasil**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, Belo Horizonte. Anais. ABES, 7 p., 2007.

PENG, L.; HUA, Y.; CAI, J.; ZHAO, J.; ZHOU, W.; ZHU, D. Effects of plants and temperature on nitrogen removal and microbiology in a

pilot-scale integrated vertical-flow wetland treating primary domestic wastewater. **Ecological Engineering**, v.64, p.285-290, 2014.

SANTA CATARINA. n. 14.675. **Legislação sobre Recursos Hídricos**. Governo do Estado de Santa Catarina de 13 de abril de 2009.

SANTA CATARINA. Resolução CONSEMA n 13/2012, lista as atividades potencialmente poluidoras, 2012.

SANTA CATARINA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável. Fundação do Meio Ambiente (FATMA). Instrução normativa n. 03, 2015.

SANTA CATARINA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável. Fundação do Meio Ambiente (FATMA). Instrução normativa n. 05, 2012.

SANTA CATARINA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável. Fundação do Meio Ambiente (FATMA). Instrução normativa n. 06, 2013.

SANTA CATARINA. Ministério Público. Centro Operacional do Meio Ambiente. Guia do Saneamento Básico: perguntas e respostas, 2008.

SANTA CATARINA. Conselho Estadual de Meio Ambiente - CONSEMA. Câmara técnica de saneamento. Proposta de condições e padrões de lançamento para efluentes sanitários, 2013-2015.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: diagnóstico Dos Serviços de Água e Esgoto–2013**. Brasília, 2014.

SEZERINO, P. H.; REGINATTO, V.; SOARES, H. M.; PHILLIPI, L. S. **Wetlands como polimento e efluentes de lagoas de estabilização de dejetos suínos – início de operação**. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2002.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILLIPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos

aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.1, p.151-158, 2015.

SEZERINO, P. H.; A, A. P. BENTO B, S. T. DECEZAROB, E. CARISSIMIC AND L. S. PHILIPPIA). Constructed wetlands and sand filter applied as onsite post-treatment of anaerobic effluent. **Water Practice & Technology**, v.7, n.3, p.1-8, 2012.

SILVA, J. A. **Direito Urbanístico Brasileiro**. 6. ed., rev. e atual. São Paulo: Malheiros, p.324, 2010.

SILVA, S. C. **“Wetlands construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. Tese (doutorado). Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, Brasília, 2007.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. 17º **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**, 2012.

SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT AND WASTEWATER PURIFICATION IN TOURISM FACILITIES - SWAMP. **Guidelines for sustainable water management in tourism facilities**, 2005.

STOTT, R.; MAY, E.; MARA, D. D. Parasite removal by natural wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v.48, n.2, p.97-104, 2003.

TREIN, C. N.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. **Ambiente Construído**, v.15, n.4, p.351-367, 2015.

TRUU, M.; JUHANSON, J.; TRUU, J. Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, v.407, n.13, p.3958-3971, 2009.



TRUU, M.; TRUU, J.; IVASK, M. Soil microbiological and biochemical properties for assessing the effect of agricultural management practices in Estoniancultivated soils. **European Journal of Soil Biology**, v.44, n.2, p.231-237, 2008.

TULADHA, B.; SHRESTHA, P.;SHRESTHA, R. **Decentralised wastewater management using constructed wetlands**. In: Beyond Construction: use by all Wicken, J.; Verhagen, J.; Sijbesma, Ch.; Da Silva, C.; Ryan, P. (eds.). WaterAid, London, 2008.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME - UN-HABITAT. **Constructed Wetlands Manual**. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu, 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Manual: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater**. Cincinnati, Ohio: Usepa, Office of Research and Development, 2000.

VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v.25, n.5, p.478-490, 2005.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, v.380, p.48-65, 2007.

VYMAZAL, J. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. **Ecological Engineering**, v.35, n.1, p.1-17, 2009.

VYMAZAL, J. Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic. Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic. **Ecological Engineering**, v.37, n.1, p.54-63, 2011.

WALLACE, S. D.; KNIGHT, R. L. **Small-scale constructed wetland treatment systems: feasibility, design criteria, and O&M**

**requirements.** Water Environment Research Foundation (WERF), Alexandria, Virginia, 2006.

WOMEN IN EUROPE FOR A COMMON FUTURE - WECF. **Sustainable and cost-effective wastewater systems for rural and peri-urban communities up to 10,000 PE.**

Guidance paper, 2010.

WEST, S.. **Centralised Management: the Key to Successful On-Site Sewerage Service.** Processing of on-site '01 conference: Advancing on-site wastewater systems. Armidale, |Australia, 2001.

WETLAND BRASIL. Grupo de estudos em sistemas wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias. **Boletim n°2 dezembro, 2014.**

WU, H.; FAN, J.; ZHANG, J.; HAO, H.; GUO, W.; LIANG, S.; HU, Z.; LIU, H. Strategies and techniques to enhance constructed wetland performance for sustainable wastewater treatment. **Environmental Science and Pollution Research International**, v.22, n.19, p.14637-14650, 2015.

WU, H.; FAN, J.; ZHANG, J.; NGO, H. H.; GUO, W.; HU, Z.; LIANG, S. Decentralized domestic wastewater treatment using intermittently aerated vertical flow constructed wetlands: Impact of influent strengths. **Bioresource Technology**, v.176, p.163-168, 2015.

WU, S.; KUSCHK, P.; BRIX, H.; VYMAZAL, J.; DONG, R. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. **Water Research**, v.57, p.40-55, 2014.

WU, S.; AUSTIN, D.; LIU, L.; DONG, R. Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas. **Ecological Engineering**, v.37, n.6, p.948-954, 2011.

WU, S.; CARVALHO, P. N.; MÜLLER, J. A.; MANOJ, V. R.; DONG, R. Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of

human pathogens and fecal indicators. **Science of the Total Environment**, v.541, p.8-22, 2016.

YE, F.; LI, Y. Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities. **Ecological Engineering**, v.35, n.7, p.1043-1050, 2009.

ZHANG, D. Q.; JINADASA, K. B. S. N.; GERSBERG, R. M.; LIU, Y.; NG, W. J.; TAN, S. K. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries: A review of recent developments (2000 e 2013). **Journal of Environmental Management**, v.141, p.116-131, 2014.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE I – Publicações avaliadas

<b>Periódico</b>	<b>Extrato</b>	<b>ISSN</b>	<b>Título</b>	<b>Palavras-chave</b>	<b>Endereço eletrônico</b>	<b>Autores / ano</b>
Ecological Engineering	A1	0925-8574	The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines	Constructed wetlands; Phosphorus, Nitrogen; Recirculation	<a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857405001576">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857405001576</a>	HANS BRIX, CARLOS A. ARIAS / 2005
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage	Constructed wetland, horizontal flow, Phragmites, Salix, vertical flow, willow	-	HANS BRIX/2004
Ambiente Construído	B2	1678-8621	Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construído	Esgoto. Tratamento. Wetlands construídos. Desempenho	<a href="http://www.scielo.br/pdf/ac/v15n4/1678-8621-ac-15-04-0351.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ac/v15n4/1678-8621-ac-15-04-0351.pdf</a>	TREIN, C. PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H./2015

## APÊNDICE I – (Continuação)

Periódico	Extrato	ISSN	Título	Palavras-chave	Endereço eletrônico	Autores / ano
Ecological Engineering	A1	0925-8574	The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater	Constructed wetlands; Hybrid systems; Municipal wastewater; Nutrients Organics; Sub-surface flow	<a href="https://www.researchgate.net/publication/222411646_The_Use_of_Constructed_Wetlands_with_Horizontal_Sub-Surface_Flow_for_Various_Types_of_Wastewater">https://www.researchgate.net/publication/222411646_The_Use_of_Constructed_Wetlands_with_Horizontal_Sub-Surface_Flow_for_Various_Types_of_Wastewater</a>	VYMAZAL, J./2009
Journal of Environmental Management	A1	0301-4797	Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries: A review of recent developments	Constructed wetlands; Wastewater treatment; Developing countries	-	ZHANG D.Q, JINADASA K.B.S.N., GERSBERG R.M, LIU Y., NG W.J, TAN S.K / 2014
-	-	-	Root zone system to treat wastewater in rural areas in south of Brazil	Constructed wetlands; Root zones; Rural area; Septic tank; Wastewater treatment	-	PHILIPPI, L.S., SEZERINO, P.H., PANCERI, B., OLJNYK, D.P., KOSSATZ, B., 2006

## APÊNDICE I – (Continuação)

Periódico	Extrato	ISSN	Título	Palavras-chave	Endereço eletrônico	Autores / ano
-	-	-	Experiments a two-stage constructed wetland system: nitrification and effects of recycling and nitrogen removal.	Constructed wetlands; nitrification; domestic swage;denitrification on-site treatment; Phragmites; pulses loading;shifhon; recycling;vertical flow	-	BRIX, H., ARIAS C.A, JOHANSEN N.H./2003
Water, Air and Soil Pollution (Print)	A1	0049-6979	Full-Scale Experiment on Domestic Wastewater Treatment by Combining Artificial Aeration Vertical- and Horizontal-Flow Constructed Wetlands System	Artificial aeration . Domestic wastewater. Constructed wetlands. Seasonal variation . Hydraulic loading fluctuation	-	PAN, J., ZHANG, H., LI, W., KE, F./2012
Water Science & Technology	A1	0273-1223	French vertical-flow constructed wetland design: adaptations for tropical climates	design criteria, nitrification, raw domestic wastewater, recirculation, tropical climate, vertical-flow constructed wetlands	-	P. MOLLE, R. LOMBARD LATUNE, C. RIEGEL, G. LACOMBE, D. ESSER AND L. MANGEOT / 2015

## APÊNDICE I – (Continuação)

<b>Periódico</b>	<b>Extrato</b>	<b>ISSN</b>	<b>Título</b>	<b>Palavras-chave</b>	<b>Endereço eletrônico</b>	<b>Autores / ano</b>
Environmental Science and Pollution Research	A1	0944-1344	Strategies and techniques to enhance constructed wetland performance for sustainable wastewater treatment	Constructed wetlands. Wastewater treatment. Enhancing strategies. Intensifying techniques .Sustainable performance	<a href="http://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-5151-x">http://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-5151-x</a>	WU, H.; FAN, J.; ZHANG, J.; HAO, H.; GUO, W.; LIANG, S.; HU, Z.; LIU, H / 2015
Science of the Total Environment	A1	0048-9697	Removal of nutrients in various types of constructed wetlands	Constructed wetlands; Nitrogen; Phosphorus; Standing stock; Wastewater	-	VYMAZAL, J. / 2007
Engenharia Sanitaria e Ambiental	B1	1413-4152	Brazilian experiences with constructed wetlands applied to wastewater treatment: design parameters for horizontal systems	constructed wetlands; secondary treatment; horizontal flow; operational parameters.	<a href="http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n1/1413-4152-esa-20-01-00151.pdf">http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n1/1413-4152-esa-20-01-00151.pdf</a>	SEZERINO, P.H. ET AL / 2015



## APÊNDICE I – (Continuação)

Periódico	Extrato	ISSN	Título	Palavras-chave	Endereço eletrônico	Autores / ano
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities	Constructed wetlands Nitrification Denitrification Domestic wastewater Nitrogen removal Nitrifying bacteria Denitrifying bacteria	-	YE, F., LI, Y /2009
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment	Germany; Horizontal sub-surface flow; Hybrid systems; Macrophytes; Nutrients; Organics; Sewage; Constructed wetlands	-	VYMAZAL, J./2005
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Emerging organic contaminant removal in a full-scale hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and reuse	Endocrine disruptor Ibuprofen Pathogen removal Pharmaceuticals Treatment wetland	-	CRISTINA ÁVILA , JOSEP M. BAYONA , ISABEL MARTÍN , JUAN JOSÉ SALAS , JOAN GARCÍA

## APÊNDICE I – (Continuação)

<b>Periódico</b>	<b>Extrato</b>	<b>ISSN</b>	<b>Título</b>	<b>Palavras-chave</b>	<b>Endereço eletrônico</b>	<b>Autores / ano</b>
Water Research	A1	0043-1354	Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products	Household wastewater treatment; PPCP removal; Domestic wastewater; Constructed wetland; Biofilters; Sand filters.	-	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2009
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands	Aeration; Constructed wetland; Design; Domestic wastewater; Horizontal flow; Oxygen usage; Recirculating; Tidal flow; Vertical flow.	-	JAIME NIVALA, SCOTT WALLACE, TOM HEADLEYD, KINFE KASSA, HANS BRIX, MANFRED VAN AFFERDEN, ROLAND MÜLLER/2013
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands	Constructed wetlands; Aerobic pretreatment; Phosphorus and nitrogen removal; Material and energy requirement	-	VOLKER LUEDERITZA, ELKE ECKERT, MARTINA LANGE-WEBER, ANDREAS LANGE, RICHARD M. GERSBERG/2001

## APÊNDICE I – (Continuação)

Periódico	Extrato	ISSN	Título	Palavras-chave	Endereço eletrônico	Autores / ano
Science of the Total Environment	A1	0048-9697	Emerging organic contaminants in vertical subsurfaceflow constructed wetlands: Influence of media size, loading frequency and use of active aeration	Dosing regime Grain size Intensification Municipal wastewater Pharmaceutical Treatment wetland	-	CRISTINA ÁVILA, JAIME NIVALA, LINDA OLSSON KINFE KASSA, TOM HEADLEY, ROLAND A. MUELLER, JOSEF MARIA BAYONA, JOAN GARCÍA/2014
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Comparative analysis of constructed wetlands: The design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany	Aeration; Common reed Domestic wastewater; Horizontal flow; Intensified design; Oxygen transfer; Tidal flow; Treatment wetland; P. australis; Reciprocating; Subsurface flow; Vertical flow;	-	NIVALA, J., HEADLEY, T., WALLACE, S., BERNHARD, K., BRIX, H., AFFERDENB, M.V., MÜLLER, ROLAND ARNO/2013
Science of the Total Environment	A1	0048-9697	Attenuation of emerging organic contaminants in a hybrid constructed wetland system under different hydraulic loading rates and their associated toxicological effects in wastewater	Estrogenicity; Hybrid constructed wetland; Pharmaceutical; Reed bed; Toxicity; Treatment wetland.	-	ÁVILA, C., MATAMOROS, V., REYES- CONTRERAS, C., PIÑA.B., CASADO, M., MITA L., RIVETTI, C., BARATA, C., GARCÍA, J., BAYONA J. M./2014

## APÊNDICE I – (Continuação)

Periódico	Extrato	ISSN	Título	Palavras-chave	Endereço eletrônico	Autores / ano
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands	Developing countries Treatment wetlands Constructed wetlands Horizontal flow Vertical flow Subsurface flow Ornamental plants	-	ZURITA, F., DE ANDA, J., BELMONT, M.A./2009
Bioreseach Technology	-		Hydraulic characterization and optimization of total nitrogen removal in an aerated vertical subsurface flow treatment wetland	Aerated vertical flow constructed wetland Fluorescein Intermittent aeration Nitrogen removal Tracer study	-	BOOG, J., NIVALA, J., AUBRON, T., WALLACE, S., AFFERDEN, M.V., MÜLLER, R.A./2014
Ecological Engineering	A1	0925-8574	Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic	Constructed wetlands Czech Republic Long-term performance Nitrogen Organics Seasonal effect Suspended solids	-	VYMAZAL, J./2011
Desalination	A1	0011-9164	Performances of a constructed wetland treating domestic wastewaters during a macrophytes life cycle	Constructed wetland; Wastewaters; Macrophytes; Nutrients; Water quality; Bacteria	-	KOUKI, S., M'HIRI, F., SAIDI, N., BELAÏD, S., HASSEN, A./2009

## APÊNDICE II

Características de projeto, operação e manutenção das publicações avaliadas sobre WCH.

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão CxLxA(m)	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH <sub>4</sub>	N-NH <sub>3</sub>	NT	PT			
1	-	Municipal wastewater	60,8	81,0	64,2	-	-	-	-	WCH	-
2	-	Municipal wastewater	56,7	54,2	19,2	-	40,2	23,1	-	WCH	-
3	-	Municipal wastewater	78,5	72,9	92,0	-	-	-	-	WCH	-
4	-	Municipal wastewater	95,1	89,4	74,3	-	81,0	93,2	-	WCH	-
5	-	Municipal wastewater	77,2	51,9	93,1	-	96,0	95,8	-	WCH	-
6	-	Municipal wastewater	60,1	84,7	-	-	21,3	14,3	-	WCH	-
7	-	Municipal wastewater	67,3	91,1	-	-	65,3	68,4	-	WCH	-
8	-	Municipal wastewater	95,9	94,8	27,7	-	25,3	0,0	-	WCH	-
9	-	Municipal wastewater	98,1	89,7	7,0	-	25,4	20,5	-	WCH	-
10	-	Municipal wastewater	90,0	81,0	35,4	-	-	-	-	WCH	-
11	-	Municipal wastewater	89,2	92,6	47,3	-	-	32,7	-	WCH	-

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão CxLxA(m)	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH <sub>4</sub>	N-NH <sub>3</sub>	NT	PT			
12	-	Municipal wastewater	95,4	97,4	-	-	64,2	67,7	-	WCH	-
13	-	Municipal wastewater	97,4	95,2	-	-	41,9	31,9	-	WCH	-
14	-	Municipal wastewater	81,9	93,6	75,2	-	-	-	-	WCH	-
15	-	Municipal wastewater	81,3	86,9	-	-	47,4	55,3	-	WCH	-
16	-	Municipal wastewater	89,1	86,9	42,0	-	51,8	24,8	-	WCH	-
18	UASB	Esgoto doméstico condomínio	76,2	67,5	-	-0,1	0,9	-7,2	14x7x0,8	WCH; alimentação continua	granulometria de 9,5 a 19 mm (brita #1)
19	Tanque séptico NBR 13969/1997	Esgoto doméstico centro Treinamento EPAGRI	53,6	98,1	67,3	-	-	-	23x13x0,7	WCH; alimentação continua	cascalho, areia, casca de arroz e argila
20	Tanque séptico NBR 13969/1997	Esgoto doméstico centro Treinamento EPAGRI	86,9	84,9	38,9	-	66,7	-	12x6x0,70	WCH; alimentação continua	cascalho, areia, casca de arroz e argila

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão CxLxA(m)	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH <sub>4</sub>	N-NH <sub>3</sub>	NT	PT			
21	Tanque séptico NBR 13969/1997	Esgoto doméstico centro Treinamento EPAGRI	-	73,0	55,9	-	-	-	10x5x0,70	WCH; alimentação contínua	cascalho, areia, casca de arroz e argila
22	Tanque séptico NBR 13969/1997	Esgoto doméstico centro Treinamento EPAGRI	56,0	80,6	46,2	-	-	-	9x4,5x0,70	WCH; alimentação contínua	cascalho, areia, casca de arroz e argila
23	Lagoa facultativa	Esgoto sanitário	30,8	63,4	15,8	-	-	-	5x2x0,6	WCH; alimentação contínua	areia média-grossa; d10) de 0,20mm, uniformidade (U) de 4,9
24	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	77,2	-	31,0	-	29,4	48,0	8,4x5,4x0,45	WCH; alimentação contínua	cascalho diâmetro de 30 mm com uma camada de topo de 10 mm diâmetro para suportar a vegetação
25	UASB	Esgoto doméstico	82,4	69,9	-	0,0	6,3	28,1	24,1x3x0,4	WCH; alimentação contínua	Escória de alto forno
27	UASB	Esgoto sanitário	76,2	67,5	-	-10,1	0,9	-7,2	7x18x0,8	WCH c/ recirculação	9,5 a 19 mm (brita #1)

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão CxLxA(m)	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH <sub>4</sub>	N-NH <sub>3</sub>	NT	PT			
		condomínio									
28	UASB	Esgoto sanitário condomínio	75,2	69,2	-	-8,0	-	-4,3	7x18x0,8	WCH c/ recirculação	9,5 a 19 mm (brita #1)
29	UASB	Esgoto sanitário condomínio	75,9	60,5	-	1,0	1,0	- 11,8	7x18x0,8	WCH s/ recirculação; escala real	9,5 a 19 mm (brita #1)
30	UASB	Esgoto sanitário condomínio	77,9	61,8	-	0,5	3,2	- 11,8	7x18x0,8	WCH s/ recirculação; escala real	9,5 a 19 mm (brita #1)
31	Tanque de armazenamento	Esgoto sanitário	80,2	79,0	47,1	-	54,4	49,4	3.6m×0.9m×0.3m	WCH s/ recirculação; escala real	ezontle gravel, a volcanic red-orange extrusive rock;1.2 cm and its porosity was 0.53
32	Tanque de armazenamento	Esgoto sanitário	85,2	81,6	43,9	-	51,9	41,0	3.6m×0.9m×0.3m	WCH s/ recirculação; escala real	ezontle gravel, a volcanic red-orange extrusive rock;1.2 cm and its porosity was 0.54
33	Digestor anaeróbio	Esgoto doméstico	-	95,0	73,9	-	69,6	95,5	5m×60m×0,8m	WCH s/ recirculação; escala real	1m de cascalho na entrada, Areia grossa c/ 4m de largura por 0,8m de profundidade; 1m cascalho na saída



## APÊNDICE II – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão CxLxA(m)	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH <sub>4</sub>	N-NH <sub>3</sub>	NT	PT			
34	aerobic rot chamber	Esgoto doméstico	-	93,1	93,7	-	78,4	95,8	10mx10mx1 m	WCH s/ recirculação; escala real	1m de cascalho na entrada, Areia grossa c/ 10m de largura por 1m de profundidade; 1m cascalho na saída; declividade 3%
35	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	93,7	98,8	38,4	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	-
36	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	71,0	97,9	62,3	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	-
37	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	5,4	95,8	59,6	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	-
38	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	93,6	96,9	73,7	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	-
39	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	98,3	98,8	69,7	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	-
40	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	98,1	97,3	-	-	-	67,9	-	WCH s/ recirculação; escala real	Gravel/sand 3-15 mm
41	Tanque séptico	Esgoto sanitário	98,6	89,5	-	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	Gravel 4-8 mm

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão CxLxA(m)	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH <sub>4</sub>	N-NH <sub>3</sub>	NT	PT			
42	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	90,4	96,2	-	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	Crushed stones 4–8 mm
43	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	98,1	96,9	-	-	-	54,5	-	WCH s/ recirculação; escala real	Gravelsand 8–20 mm
44	Tanque séptico	Esgoto sanitário	99,0	96,6	-	-	-	-	-	WCH s/ recirculação; escala real	Gravel 4–8, 8–16

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)
1	-	-	87,0	-	265,2	Vymazal, J/2009	Wigmore	UK	-
2	-	-	92,0	-	43,8	Vymazal, J/2009	Onsov	Czech Republic	-
3	-	-	306,0	-	370,9	Vymazal, J/2009	Leek Wootton	UK	-
4	-	-	14,9	-	7,3	Vymazal, J/2009	Bear Creek, A	USA	-
5	-	-	0,9	-	10,0	Vymazal, J/2009	Pisgah	Jamaica	-
6	-	-	180,0	-	47,6	Vymazal, J/2009	Lifosa	Lithuania	-
7	-	-	6,0	-	62,5	Vymazal, J/2009	Baggiolino	Italy	-
8	-	-	103,0	-	39,0	Vymazal, J/2009	Uggerhalne	Denmark	-
9	-	-	50,0	-	62,0	Vymazal, J/2009	Ondrejov	Czech Republic	-
10	-	-	30,0	-	49,0	Vymazal, J/2009	Holtby	UK	-
11	-	-	176,0	-	39,2	Vymazal, J/2009	Kolodeje	Czech Republic	-
12	-	-	23,3	-	26,0	Vymazal, J/2009	Hasselt-Kiewit	Belgium	-
13	-	-	8,1	-	18,5	Vymazal, J/2009	Brondum	Denmark	-
14	-	-	10,0	-	59,5	Vymazal, J/2009	Middleton	UK	-
15	-	-	40,0	-	111,1	Vymazal, J/2009	Glavotok	Croatia	-
16	-	-	5,8	-	25,3	Vymazal, J/2009	Carrión de los Céspedes	Spain	-
18	160,0	0,8	24,0	Sombrinha -chinesa	190,5	-	Salvador	Brasil	29,5

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)
19	66,0	6,8	6,6	Zizaniopsis bonariensis	14,7	Philippi et al (2006)	Agronômica	Brasil	25,0
20	150,0	0,6	15,0	Zizaniopsis bonariensis	178,6	Philippi et al (2006)	Tubarão	Brasil	23,0
21	50,0	1,0	5,0	Zizaniopsis bonariensis	100,0	Philippi et al (2006)	Videira	Brasil	17,1
22	55,0	0,7	5,5	Zizaniopsis bonariensis	137,5	Philippi et al (2006)	São Joaquim	Brasil	14,2
23	-	-	-	Typha sp.	0,8	Sezerino P. H.; Pellizzaro, B. A; Alvarenga R. A. F; Valente V. B. ;Philippi L. S;	Florianópolis	Brasil	15,0
24	-	-	6,0	P. australis and A. donax.	132,3	FOUNTOULAKIS, S.M, TERZAKIS S, CHATZINOTAS A, BRIX H, KALOGERAKIS N, MANIOS T	Creta	GRECIA	-
25	-	-	8,2		262,8	Costa, J. F		Brasil	-
27	1000	0,1	43,2	Cyperus alternifolius (Sombrinha chinesa)	342,9	Luciano de Souza Ferreira	Vog Ville;Lauro de Freitas, Bahia	Brasil	29,5

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)
28	1000	0,1	43,2	Typha sp.	342,9	Luciano de Souza Ferreira	Vog Ville;Lauro de Freitas, Bahia	Brasil	28,6
29	1000	0,1	43,2	Cyperus alternifolius (Sombrinha chinesa)	342,9	Luciano de Souza Ferreira	Vog Ville;Lauro de Freitas, Bahia	Brasil	29,6
30	1000	0,1	43,2	Typha sp.	342,9	Luciano de Souza Ferreira	Vog Ville;Lauro de Freitas, Bahia	Brasil	29,8
31	-	-	0,1	Zantedeschi a aethiopica	39,5	ZURITA, F., DE ANDA, J., BELMONT, M.A./2009	Ocotlán, Jalisco	México	18,9

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)
32	-	-	0,1	6 plants of <i>Strelitzia reginae</i> , 6 plants of <i>Anthurium andreanum</i> and 3 plants of <i>Agapanthus africanus</i> , distributed aleatorily and uniformly on the wetland surface	39,5	ZURITA, F., DE ANDA, J., BELMONT, M.A./2010	Ocotlán, Jalisco	México	18,9
33	0,0	-	6,0	<i>Phragmites australis</i>	20,0	Volker Luederitza, Elke Eckert, Martina Lange-Weber, Andreas Lange, Richard M. Gersberg/2001	Loburg	Germany	-

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)
34	20,0	5,0	3,0	Juncus inflexus e Juncus effusus	30,0	Volker Luederitza, Elke Eckert, Martina Lange- Weber, Andreas Lange, Richard M. Gersberg/2001	Schlanstedt	Germany	-
35	180,0	2,8	27,0	-	54,0	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2009	Moesgaard	Denmark	-
36	80,0	5,9	12,0	-	25,5	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2010	BjødstrupLand borup	Denmark	-
37	220,0	4,3	33,0	-	35,1	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2011	Kalø	Denmark	-
38	213,0	8,5	32,0	-	17,8	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2012	Grønfeld	Denmark	-

## APÊNDICE II – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)
39	280,0	14,3	42,0	-	10,5	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2013	Lyngby	Denmark	-
40	361,0	2,2	54,0	Phragmites australis	54,0	Vymazal, J/2011	Ondrejov	Czech Republic	5 a 13
41	5,0	3,6	0,7	Phragmites australis	0,7	Vymazal, J/2012	~ Zitenice	Czech Republic	5 a 13
42	210,0	10,0	36,3	Phragmites australis	36,3	Vymazal, J/2013	Kotencice	Czech Republic	5 a 13
43	400,0	4,7	103,0	Phalaris arundinacea	103,0	Vymazal, J/2014	Zásada	Czech Republic	5 a 13
44	100,0	4,2	15,0	Phragmites australis	36,1	Vymazal, J/2015	Krátká	Czech Republic	5 a 13



## APÊNDICE III

### Características de projeto, operação e manutenção das publicações avaliadas sobre WCV

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
1	Tanque séptico c/ 3 câmaras	Esgoto doméstico	90,6	92,5	78,1	-	42,4	24,4	-	WCV; s/ recirculação; s/ precipitação química; 16-24 pulsos por dia	areia c/ d10 entre 0,25 e 1,2 mm, d60 entre 1 e 4 mm, e coeficiente de uniformidade (U=d60/d10) menor 3,5
2	Tanque séptico c/ 3 câmaras	Esgoto doméstico	95,6	98,6	84,4	-	22,8	-9,6	-	WCV; c/ 100% recirculação; s/ precipitação química; 16-24 pulsos por dia	areia c/ d10 entre 0,25 e 1,2 mm, d60 entre 1 e 4 mm, e coeficiente de uniformidade (U=d60/d10) menor 3,5
3	Tanque séptico c/ 3 câmaras	Esgoto doméstico; água cinza	92,0	99,4	75,6	-	45,7	63,6	-	WCV; s/ precipitação química; 16-24 pulsos por dia	areia c/ d10 entre 0,25 e 1,2 mm, d60 entre 1 e 4 mm, e coeficiente de uniformidade (U=d60/d10) menor

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
											3,5
4	Tanque séptico c/ 3 câmaras	Esgoto doméstico; água cinza	96,8	99,4	97,8	-	70,0	2,2	-	WCV; s/ precipitação química; 16-24 pulsos por dia	areia c/ d10 entre 0,25 e 1,2 mm, d60 entre 1 e 4 mm, e coeficiente de uniformidade (U=d60/d10) menor 3,5
5	TANQUE INHOF	Esgoto doméstico com pluvial	90,4	91,2	66,9	-	65,5	10,2	-	WCV; s/ recirculação; intermitente 20 pulsos por dia; 14 m <sup>3</sup> d-1; ; três tubos de aeração 1 m de altura.	camada superior de 0,05 m de areia (1-2 mm), 0,6 m de cascalho silicioso (4-12 mm) e uma 0,15 m cascalho silicioso subjacente (25-40 mm)

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
6	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico s/ água negra; uma residência	97,0	96,0	90,0	-	-	88,0	1.5 X0.8X 1.0	WCV; s/ recirculação; Td=8h	15 cm de cascalho DN 10-30 mm, 15 cm DN 5-12 mm e 90 cm de areia DN 0.45-1 mm, Cu= 3,8, 75 kg lodo ETA DN 0,5-1 mm na saída do sistema. Na tubulação de distribuição foi de 10 cm cascalho FPC com tamanho de partícula de 10-30 mm.'
7	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	61,6	81,9	-	-	4,6	4,2	-	WCV;ESCALA PILOTO	-

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
8	Não há	esgoto doméstico com pluvial e industrial	87,0	86,0	-	-	-	-	-	150 mm/d; 1 ano operação; 4WCV de 20 m por 2 m; Área total disponível de 160 m <sup>2</sup> ; Profundidade de 1 m; profundidade do cascalho 40 cm; capacidade bruta de 16 m <sup>3</sup> ; capacidade líquida 9? M3	cascalho 0,5 - 1 cm
9	Não há	esgoto doméstico com pluvial e industrial	90,0	81,0	-	-	-	-	-	75 mm/d; 1 ano operação; 4WCV de 20 m por 2 m; Área total disponível de 160 m <sup>2</sup> ; Profundidade de 1 m; profundidade do cascalho 40 cm; capacidade bruta de 16 m <sup>3</sup> ; capacidade líquida 9? M3	cascalho 0,5 - 1 cm

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
10	Tanque de sedimentação c/ duas câmaras	Água cinza	97,0	96,0	90,0	-	-	88,0	1,5x0,8x1,0	-	<p>Brix e Arias, 2005): uma camada de 15 centímetros de cascalho lavado com tamanho de partícula de 10-30 mm, 15 cm de cascalho lavado com tamanho de partícula de 5-12 mm e 90 cm de areia lavada. O tamanho eficaz da areia lavada é 0,45-1 mm, com um coeficiente de uniformidade de 3,8. Setenta e cinco quilogramas de lamas desidratadas alúmen lavada derivados de beber estação de tratamento de água com tamanho de partícula de 0,5-1 mm foi colocado na saída do sistema. O meio circundante da rede de tubulação de distribuição foi de 10 cascalho FPC com tamanho de partícula de 10-30 mm. '1</p>

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
11	Tanque de sedimentação	-	61,6	81,9	-	-	49,4	50,1	1,8x1,8x0,7	-	-
12	-	Municipal WW/Secondary	-	-	62,0	-	53,0	33,0	-	-	-
13	-	Municipal WW Tertiary	-	-	75,4	-	72,5	83,2	0,58 m²x0,82m	-	-
14	-	-	-	90,0	50,0	-	46,0	60,0	5x3x1,8	-	escoria de carvão
15	UASB	UASB effluent/Secondary	98,0	96,0	84,0	-	76,0	97,0	2x2x1,4	-	-
16	-	-	-	-	-	-	15,0	52,0	1x1x1-	-	-
17	RAC 4 compartimentos: 3 digestão + 1 bombeamento 2,35 m larg. x 3,00 m comp. x 2,00 m alt	Esgoto doméstico	79,8	85,4	44,9	-	-	61,5	21X9X0,9	WCV; s/ recirculação; s/ precipitação química; 6 pulsos por dia; alternância 4 quadrantes	20 cm brita; 60 cm de areia; 10 cm brita; d10 = 0,36 mm U = 5,3
18	4 compartimentos: 3 digestão + 1 bombeamento 8,3 m larg. x 3,00 m comp. x 2,00 m alt	Esgoto doméstico	88,9	94,0	93,0	-	-	91,7	76X37X14X8X6 2X40	WCV; s/ recirculação; s/ precipitação química; 14 pulsos por dia; alternância 4 quadrantes; 2200 PE	10 cm brita; 50 cm de areia; 10 cm brita; d10 = 0,3 mm U = 4,84; 20 cm de fundo saturado

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
19	-	Esgoto sanitário	48,0	80,5	73,8	-	57,9	12,5	WCV(1.0x1.5x1.3); WCH(1.0x2.0x0.3)	2WCV(1,5m²)- (1WCH(2m²))	0.1 m de reia (1–2 mm); saída com rochas (3–5 cm)
20	-	Esgoto sanitário	-	83,9	51,6	-	41,3	24,6	-	8 WCV(240m²) ALIMENTADOS EM PARALELO;1700 habitantes; 77 kg DBO5/j;170 kg DCO/j; 255 m3/j; Périodicité d'alternance : 2 j d'alimentation (3 le week-end) ; 16 j de repos	0.1 m de reia (1–2 mm); saída com rochas (3–5 cm)
21	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	82,0	97,1	90,4	-	-	-	-	c/ recirculação no tanque de sedimentação	-
22	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	96,4	99,6	99,6	-	-	-	-	s/ recirculação	-
23	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	12,5	75,0	86,7	-	-	-	-	c/ recirculação no tanque de sedimentação	-

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
24	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	97,4	99,4	97,7	-	-	-	-	c/ recirculação no tanque de sedimentação	-
25	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	-	96,7	79,3	-	24,4	-	-	-	-
26	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	-	98,3	87,2	-	27,6	-	-	-	-
27	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	-	97,7	78,9	-	19,0	-	-	-	-
28	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	-	98,2	87,2	-	21,9	-	-	-	-
29	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	-	90,7	68,4	-	34,7	-	-	-	-
30	Tanque de sedimentação	Esgoto doméstico	-	85,5	66,2	-	30,6	-	-	-	-
31	Digestor anaeróbio	Esgoto doméstico	-	95,1	-	-	48,0	60,6	-	WCV c/ meio filtrante em varias camadas	5 cm, cascalho (0-8 mm); camada de atividade biológica (60cm,areia/cascalho0-4 mm), camada intermitente (10 cm,cascalho 4-8 mm), camada de drenagem (20 cm, cascalho 16-32 mm



### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
32	2 lagoas anaeróbias	Esgoto doméstico	-	99,0	-	-	93,8	97,0	-	WCV c/ única camada de meio filtrante	areia cascalho 0–8 mm; camada de drenagem 16–32mm
33	Tanque de sedimentação	Municipal wastewater	97,9	-	97,8	-	30,2	-	2,75x2,4x0,85	-	Areia(1–3 mm)
34	Tanque de sedimentação	Municipal wastewater	99,0	-	98,7	-	33,3	-	2,75x2,4x0,85	-	Areia(1–3 mm)
35	Tanque de sedimentação	Municipal wastewater	86,5	-	87,3	-	36,5	-	2,75x2,4x0,85	-	Cascalho (4–8 mm)
36	Tanque de sedimentação	Municipal wastewater	97,9	-	99,8	-	28,6	-	2,75x2,4x0,85	-	Cascalho (8–16 mm)
37	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	66,7	-	74,2	-	-	-	-	WCV(3m²)	-
38	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	83,0	-	59,6	-	-	-	-	WCV(3m²)	-
39	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	71,7	-	65,1	-	-	-	-	WCV(3m²)	-
40	-	Esgoto sanitário	61,0	81,1	73,2	-	48,4	53,0	1.8 m×1.8 m×0.7 m	WCV(3,24m²);automatic siphon, discharging 16 l every 3 h directly;	Cascalho de rocha vulcanica extrusiva; 1.2 cm; porosidade 0,53

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	TP			
41	-	Esgoto sanitário	70,6	84,0	69,4	-	50,9	54,2	1.8 m×1.8 m×0.7 m	WCV(3,24m²);utomatic siphon, discharging 16 l every 3 h directly;	Cascalho de rocha vulcanica extrusiva; 1.2 cm; porosidade 0,54
42	Tanque séptico	Esgoto doméstico	-	98,2	99,1	-	49,4	-	-	6.2 m2x0.85 m; qi = 95 L/m2d; t= 3.5 d; plantado e aerado continuamente	Cascalho (8–16 mm)
43	Tanque séptico	Esgoto doméstico	-	98,9	97,8	-	57,7	-	-	6.2 m2x0.85 m; qi = 95 L/m2d; t= 3.5 d; s/ planta e aerado continuamente	Cascalho (8–16 mm)
44	Tanque séptico	Esgoto doméstico	-	99,0	98,9	-	57,1	-	-	6.2 m2x0.85 m; qi = 95 L/m2d; t= 3.5 d; c/ planta e aerado continuamente	Cascalho (8–16 mm)
45	Tanque séptico	Esgoto doméstico	-	98,9	93,1	-	78,1	-	-	6.2 m2x0.85 m; qi = 95 L/m2d; t= 3.5 d; c/ planta e aerado intermitente	Cascalho (8–16 mm)

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
1	5	3,0	0,75	Phragmites australis	50,0	Hans Brix/2004	-	Denmark	8,00	
2	5	3,0	0,75	Phragmites australis	50,0	Hans Brix/2004	-	Denmark	8,00	15,00
3	4	4,3	0,60	Phragmites australis	35,3	HANS BRIX, CARLOS A. ARIAS / 2005	-	Denmark	8,00	15,00
4	4	2,0	0,60	Phragmites australis	75,0	HANS BRIX, CARLOS A. ARIAS / 2005	-	Denmark	8,00	17,00
5	2500	0,1	14,00	Phragmites australis	44,2	ÁVILA C, BAYONA J.M, MARTÍN I, SALAS J.J, GARCÍA J. /(2015)	Carrión de los Céspedes (Seville)	SPAIN	17,40	8,00
6	5	0,2	0,12	Salix babylonica	100,0	Zhang D.Q, Jinadasa K.B.S.N., Gersberg R.M, Liu Y., Ng W.J, Tan S.K.. /2014	Beijing, Chin	China	-	317,00

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m <sup>2</sup> )
7	-	-	0,13	-	-	Zurita, F., Belmont, M.A., De Anda, J., White, J.R., 2011	-	-	-	1,20
8	-	-	6,00	Cattai (Typha sp 3/m <sup>2</sup> )	150,0	M.L. Solano ; P. Soriano ; M.P. Ciria;	Soria	SPAIN	22,00	-
9	-	-	3,00	Cattai (Typha sp 3/m <sup>2</sup> )	75,0	M.L. Solano ; P. Soriano ; M.P. Ciria;	Soria	SPAIN	22,00	40,00
10	-	-	0,12 m/d	(Salix babylonica)	-	Wu et al. (2011)	Beijing	China	-	40,00
11	-	-	0,06	-	-	Zurita et al. (201)	-	-	21,10	-
12	-	-	-	-	-	Wang et al. (2006b)	-	-	-	-
13	-	-	0,00	Cyperus papyrus	-	Kyambadde et al. (2004)	-	-	-	-
14	-	-	0,45	Cyperus alternifolius	-	Chan et al. (2008)	Guangzhou,	China	20,47	-
15	-	-	-	ScirpusgrossusL inn	-	Kantawanichkul et al. (2003)	Chiang Mai	Thailand	-	-

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município	País	Temperatura (°C)	Área (m²)
16	-	-	250 mm d 1	Typha orientalis Canna indica	-	Chang et al. (2012)	-	-	-	-
17	250	0,378	12,2	Cyperus papiros nano	129,1	TREIN, C. N.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZNER, C. J.; SEZERINO, P. H	Biguaçu	Brasil	-	-
18	100	15,70	18,065	Cyperus papiros nano	11,5	TREIN, C. N.; PELISSARI, C.; HOFFMANN , H.; PLATZNER, C. J.; SEZERINO, P. H	Palhoça	Brasil	-	94,5
19	-	-	0,2	Phragmites australis	40,0	Cristina Ávila, Marianna Garfí, Joan García	Barcelona	Espanha	20,1	1570,5
20	1700	1,126	142,8	-	74,6	AERMEC,1 999	GENSAC- LA-PALLUE	França	-	5

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
21	4	4	0,6	-	37,5	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2009	-	-	-	1915
22	2	7,5	0,3	-	20,0	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2009	-	-	-	16
23	variável	-	-	-	-	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2009	-	-	-	15
24	4	3,75	0,6	-	40,0	MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J. M/2009	-	-	-	15

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m <sup>2</sup> )
25	-	-	0,58	Phragmites australis	93,5	Jaime Nivala, Scott Wallace, Tom Headley, Kinfe Kassa, Hans Brix, Manfred van Afferden, Roland Müller/2013	Langenreich enbach	Germany	-	15
26	-	-	0,58	Phragmites australis	93,5	Jaime Nivala, Scott Wallace, Tom Headley, Kinfe Kassa, Hans Brix, Manfred van Afferden, Roland Müller/2013	Langenreich enbach	Germany	-	6,2
27	-	-	0,58	Phragmites australis	93,5	Jaime Nivala, Scott Wallace, Tom Headley, Kinfe Kassa, Hans Brix, Manfred van Afferden, Roland Müller/2013	Langenreich enbach	Germany	-	6,2

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município	País	Temperatura (°C)	Área (m²)
28	-	-	0,58	Phragmites australis	93,5	Jaime Nivala, Scott Wallace, Tom Headley, Kinfe Kassa, Hans Brix, Manfred van Afferden, Roland Müller/2013	Langenreich enbach	Germany	-	6,2
29	-	-	0,59	Phragmites australis	95,2	Jaime Nivala, Scott Wallace, Tom Headley, Kinfe Kassa, Hans Brix, Manfred van Afferden, Roland Müller/2013	Langenreich enbach	Germany	-	6,2
30	-	-	0,59	Phragmites australis	95,2	Jaime Nivala, Scott Wallace, Tom Headley, Kinfe Kassa, Hans Brix, Manfred van Afferden, Roland Müller/2013	Langenreich enbach	Germany	-	6,2



### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m <sup>2</sup> )
31	-	-	35	Phragmites australis	43,8	Volker Luederitza, Elke Eckert, Martina Lange-Weber, Andreas Lange, Richard M. Gersberg/200 1	Einsdorf	Germany	-	6,2
32	-	-	20	Phragmites australis and Juncus spp	29,9	Volker Luederitza, Elke Eckert, Martina Lange-Weber, Andreas Lange, Richard M. Gersberg/200 1	Wolfsberg	Germany	-	800
33	-	-	-	Phragmites australis (5 planta m <sup>2</sup> )	-	NIVALA, J., HEADLEY, T., WALLACE, S., BERNHARD, K., BRIX, H., AFFERDENB, M.V., MÜLLER, ROLAND ARNO/2013	Langenreich enbach	Germany	-	670

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (°c)	Área (m <sup>2</sup> )
34	-	-	0,589	Phragmites australis (5 planta m <sup>2</sup> )	95,0	NIVALA, J., HEADLEY, T., WALLACE, S., BERNHARD, K., BRIX, H., AFFERDENB, M.V., MÜLLER, ROLAND ARNO/2014	Langenreich enbach	Germany	-	6,2
35	-	-	0,589	Phragmites australis (5 planta m <sup>2</sup> )	95,0	NIVALA, J., HEADLEY, T., WALLACE, S., BERNHARD, K., BRIX, H., AFFERDENB, M.V., MÜLLER, ROLAND ARNO/2015	Langenreich enbach	Germany	-	6,2
36	-	-	0,589	Phragmites australis (5 planta m <sup>2</sup> )	95,0	NIVALA, J., HEADLEY, T., WALLACE, S., BERNHARD, K., BRIX, H., AFFERDENB, M.V., MÜLLER, ROLAND ARNO/2016	Langenreich enbach	Germany	-	6,2

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m <sup>2</sup> )
37	-	-	0,195	Phragmites australis	0,06 m/d	ÁVILA, C., MATAMOROS, V., REYES- CONTRERAS, C., PIÑA, B., CASADO, M., MITA L., RIVETTI, C., BARATA, C., GARCÍA, J., BAYONA J. M./2014	Barcelona	Espanha	14	6,2
38	-	-	0,405	Phragmites australis	0,13 m/d	ÁVILA, C., MATAMOROS, V., REYES- CONTRERAS, C., PIÑA, B., CASADO, M., MITA L., RIVETTI, C., BARATA, C., GARCÍA, J., BAYONA J. M./2014	Barcelona	Espanha	15	5
39	-	-	0,555	Phragmites australis	0,18 m/d	ÁVILA, C., MATAMOROS, V., REYES- CONTRERAS, C., PIÑA, B., CASADO, M., MITA L., RIVETTI, C., BARATA, C., GARCÍA, J., BAYONA J. M./2014	Barcelona	Espanha	19	5

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m <sup>2</sup> )
40	-	-	0,128	Zantedeschia aethiopica	-	ZURITA, F., DE ANDA, J., BELMONT, M.A./2009	Ocotlán, Jalisco	México	18,9	5
41	-	-	0,128	6 plants of <i>Srelitzia reginae</i> , 6 plants of <i>Anthurium andreaeanum</i> and 3 plants of <i>Agapanthus africanus</i> , distributed aleatorily and uniformly on the wetland surface	-	ZURITA, F., DE ANDA, J., BELMONT, M.A./2010	Ocotlán, Jalisco	México	18,9	3,24
42	-	-	0,591	<i>Phragmites australis</i>	-	BOOGJ., NIVALA, J., AUBRON, T., WALLACE, S., AFFERDEN, M.V., MÜLLER, R.A.	Langenreich enbach	Germany	-	3,24
43	-	-	0,591	não há	-	BOOGJ., NIVALA, J., AUBRON, T., WALLACE, S., AFFERDEN, M.V., MÜLLER, R.A.	Langenreich enbach	Germany	-	6,2
44	-	-	0,573	<i>Phragmites australis</i>	-	BOOGJ., NIVALA, J., AUBRON, T., WALLACE, S., AFFERDEN, M.V., MÜLLER, R.A.	Langenreich enbach	Germany	-	6,2

### APÊNDICE III – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m <sup>2</sup> .d)	Referências	Município	País	Temperatura (c°)	Área (m <sup>2</sup> )
45	-	-	0,574	não há	-	BOOG, J., NIVALA, J., AUBRON, T., WALLACE, S., AFFERDEN, M.V., MÜLLER, R.A.	Langenreich enbach	Germany	-	6,2

## APÊNDICE IV

### Características de projeto, operação e manutenção das publicações avaliadas sobre WCSH

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
1	Tanque de sedimentação c/ 3 câmaras	Municipal wastewater pequena comunidade	-	98	-	-	46	94	WCH(20x22,8 x0,6); WCV (30m²x0,6m profundidade; 0,3m de saturação)	WCH() seguido WCV; s/ recirculação	Areia
2	Tanque de sedimentação c/ 3 câmaras	Municipal wastewater pequena comunidade	-	-	56	-	54	99	WCH(20x22,8 x0,6); WCV (30m²x0,6m profundidade; 0,3m de saturação)	WCH() seguido WCV; s/ recirculação	Areia
3	Tanque de sedimentação c/ 3 câmaras	Municipal wastewater pequena comunidade	-	-	70	-	33	-	WCH(20x22,8 x0,6); WCV (30m²x0,6m profundidade; 0,3m de saturação)	WCH() seguido WCV; s/ recirculação	Areia
4	Tanque de sedimentação c/ 3 câmaras	Municipal wastewater pequena comunidade	-	-	71	-	57	-	WCH(20x22,8x0,6); WCV (30m²x0,6m profundidade; 0,3m de saturação)	WCH() seguido WCV; s/ recirculação	Areia

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
5	Tanque de sedimentação c/ 3 câmara	Municipal wastewater pequena comunidade	-	-	-	-	59	-	WCH(20x22,8x0,6); WCV (30m²x0,6m profundidade; 0,3m de saturação)	WCH() seguido WCV; c/ recirculação no WCH p/ tanque de sedimentação	Areia
6	Tanque de sedimentação c/ 3 câmara	Municipal wastewater pequena comunidade	-	-	76	-	75	-	WCH(20x22,8 x0,6); WCV (30m²x0,6m profundidade; 0,3m de saturação)	WCH() seguido WCV; c/ recirculação no WCH p/ tanque de sedimentação	Areia
7	Tanque de sedimentação c/ 3 câmara	Municipal wastewater pequena comunidade	-	-	98	-	59	-	WCH(22,8x20 x0,6); WCV (30m²x0,6m profundidade; 0,3m de saturação)	WCH seguido WCV; c/ recirculação	Areia
8	Tanque de armazenamento	combined municipal wastewater; esgoto sanitario c/ pluvial pequena comunidade; Fubao village	24	60	-	-	37	65	WCV(2,494.6 9 m2x 1.70 m)- WCH(5,115.9 m2x1.65 m)	WCV () - WCH(); c/ aeração no WCH 7,4 m³/d	limestone (porosity ratio, 37 %)

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
9	Tanque de armazenamento	combined municipal wastewater; esgoto sanitario c/ pluvial pequena comunidade; Fubao village	24	60	-	-	37	65	WCV(2,494.6 9 m2x 1.70 m)- WCH(5,115.9 m2x1.65 m)	WCV () - WCH(); c/ aeração no WCH 7,4 m³/d; eficiencia anual	limestone (porosity ratio, 37 %)
10	-	Municipal wastewater pequena comunidade	89	-	-	83	83	64	1º e 3º estagio 6x8x1 m	WCH-WCV-WCH (em cascata)	3 camadas de cascalho lavado (2–6 cm) c/ espessura de 20 cm, the middle layer of fine gravel (0.5–2.0 cm) with a depth of 65 cm, and the upper layer of soil (0.1–0.2 cm) with a depth of 15 cm
11	Não há	Municipal wastewater pequena comunidade	98	91	84	-	-	39	-	4WCV(64m²)- 2WCV(60m²)- 1WCH(60m²)	areia e cascalho



## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
12	Não há	Municipal wastewater pequena comunidade	-	96	97	-	61	99	-	WCH(45m²)- WCV(30m²)	areia e cascalho
13	Tanque séptico	esgoto sanitário hospital	97	97	100	-	-	68	-	HF(140m²)- VF(120m²)	areia e cascalho
14	Não há	esgoto sanitário	82	89	80	-	86	80	-	HF-VF	areia e cascalho
15	-	-	95	98	78			48	-	6WCV(8m²)- 3WCV(5m²)- 1WCH(8m²)- 1WCH(20m²)	areia e cascalho
16	Não há	Esgoto sanitário	72	96	84	-	81	98	-	HF-WCSL-WCSL	areia e cascalho
17	Não há; tratamento preliminar	Esgoto sanitário	-	94	-	-	59	75	-	HCV (4 em paralelo)- WCH(2 em paralelo)- WCH(2 em serie); Frequência de alternância: 1º piso: 15 Poder j, 15 dias de descanso 2º andar de abastecimento 2 mês; Dois meses de repouso ou alimentação contínua duas séries de lagoas. 3º andar: alimentação contínua	1º andar: 3 camadas de baixo para cima: 20 cm de gabião 20-46 mm rolou, lavado; 15 cm 12 mm cascalho, lavou- se laminados; 25 cm Gravelle lavada seis milímetros. 2º andar mesma composição 3º andar mesma composição

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
18	Não há; tratamento preliminar	Esgoto sanitário	-	97	-	-	42	54	-	HCV (4 em paralelo)-WCH(2 em paralelo)-WCH(3 em serie);Frequência de alternância: 1º piso: 3 Poder j; 9 dias de descanso; 2º piso: 1 mês de tratamento; Um mês de descanso; 3º andar: alimentação contínua; système hybride de type Seidel	Natureza e composição do cascalho: 1º piso: 10 cm 40-70 rolos; 25 cm rolos 15-25; 25 cm de cascalho 3-8; 2º andar: 10 cm 40-70 rolos; 25 cm rolos 15-25; 15 cm de gravilha 8/3; 10 cm de areia 0-4 3º andar: 40 cm de cascalho 3-8
19	Decanto-digestor	Esgoto sanitário	-	75	-	-	86	8	-	HCV (4 em paralelo)-WCH(2 em paralelo)-WCH(3 em serie);Frequência de alternância: 1º piso: 3 Poder j; 9 dias de descanso 2º piso: 1 mês de tratamento; Um mês de descanso 3º andar: alimentação contínua	Natureza e composição do cascalho: 1º piso: 10 cm 40-70 rolos; 25 cm rolos 15-25; 25 cm de cascalho 3-8 2º andar: 10 cm 40-70 rolos; 25 cm rolos 15-25; 15 cm de gravilha 8/3; 10 cm de areia 0-4 3º andar: 40 cm de cascalho 3-8

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
20	Tanque Imhoff	urban wastewater; municipal sewer	89	-	90	-	-	-	WCV(1,5m²x0,1)- WCH(2m²x0,3)	WCV(3m²)- WCH(2m²); 13 pulsos/d	WCV (.1 m layer of sand (1–2 mm) and a main layer of fine gravel (3–8 mm); WCH ravel media (4–12 mm), which is 0.3 m deep (water depth = 0.25 m) and inlet and outlet zones of stones (3–5cm)
21	Tanque Imhoff	urban wastewater; municipal sewer	92	-	72	-	-	-	WCV(1,5m²x0,1)- WCH(2m²x0,3)	WCV(3m²)- WCH(2m²); 27 pulsos/d	WCV (.1 m layer of sand (1–2 mm) and a main layer of fine gravel (3–8 mm); WCH ravel media (4–12 mm), which is 0.3 m deep (water depth = 0.25 m) and inlet and outlet zones of stones (3–5cm)
22	Tanque Imhoff	urban wastewater; municipal sewer	95	-	72	-	-	-	WCV(1,5m²x0,1)- WCH(2m²x0,3)	WCV(3m²)- WCH(2m²); 37 pulsos/d	WCV (.1 m layer of sand (1–2 mm) and a main layer of fine gravel (3–8 mm); WCH ravel media (4–12 mm), which is 0.3 m deep (water depth = 0.25 m) and inlet and outlet zones of stones (3–5cm)

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
23	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário pequena comunidade (2500 hab)	89	94	90	-	91	29	WCV(317m <sup>2</sup> x0,8)- WCH(229m <sup>2</sup> x0,4)	WCV(317m <sup>2</sup> )- WCH(229m <sup>2</sup> )	WCV consistia de uma camada superior de 0,05 m de areia (1-2 mm), seguido por um; O HF une tinha uma área de superfície de 229 m <sup>2</sup> e consistiu de uma leito de cascalho siliceous de 0,4 m de profundidade (4-12 mm), com uma entrada e área de saída de pedras (40-80 mm) para facilitar o fluxo 0,6 m camada de cascalho siliceous (4-12 mm) e 0,15 m ano Subjacente cascalho siliceous (25-40 mm)
24	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	-	88	86	-	-	-	WCV(1.0x1.5 x1.3); WCH(1.0x2.0 x0.3)	2WCV(1,5m <sup>2</sup> )- (1WCH(2m <sup>2</sup> ))	WCV (camada c/ 0.1 m de areia (1-2 mm)); 0.7 m of fine gravel (3-8 mm)

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
25	-	-	-	91	87	-	-	-	WCV(1.0×1.5×1.3); WCH(1.0×2.0×0.3)	2WCV(1,5m²)- (1WCH(2m²))	VF filling media Depth of layers: m Grain sizeØ:mm Upper layer: 0.1 m of sand (1–2 mm);HF filtering media Main media: mm Inlet and outlet: cm Main media: 0.3 m of gravel (4–12 mm) Inlet and outlet: stone (3–5 cm)
26	Tanque Imhoff	Esgoto sanitário	92	88	88	-	77	13	WCV(1.0×1.5×1.3); WCH(1.0×2.0×0.3)	2WCV(1,5m²)- (1WCH(2m²))	VF filling media Depth of layers: m Grain sizeØ:mm Upper layer: 0.1 m of sand (1–2 mm);HF filtering media Main media: mm Inlet and outlet: cm Main media: 0.3 m of gravel (4–12 mm) Inlet and outlet: stone (3–5 cm)

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
27	-	-	96	94	-	-	91	50	Length (m) 18.0 18.0 21.5 Width (m) 16.5 16.5 42.0 Area (m <sup>2</sup> ) 891 594 903 Depth (cm) 90 90 50	3WCV(891)- 2WCV(594)- 1WCH(903)	1ststage CWs has a depth of 0.90 m and consist of 3 layers from bottom to top: cobbles 0.2 m (diameter 20-40 mm), coarse gravel 0.2 m (diameter 5-20 mm) and fine gravel 0.5 m (diameter 2-8 mm). The porous media of the 2 nd stage CWs has a depth of 0.90 m and consists of 3 layers from bottom to top: cobbles 0.2 m (diameter 20-40 mm), fine gravel 0.3 m (diameter 3-8 mm) and river sand 0.4 m (diameter 0.2-4.0 mm). Finally, the 3 rd stage CW is filled with 50 cm of gravel (diameter 18-30 mm).
28	-	-	93	93	87	-	81	61	-	-	-

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	Pré-tratamento	Tipo de água residual	Desempenho (%)						Dimensão (LxCxP)m	Características de Projeto e Operação	Meio filtrante
			SST	DBO	N-NH4	N-NH3	NT	PT			
29	-	-	90	91	84	-	84	38	-	-	-
30	-	-	98	93	-	-	38	72	WCV(121m²X1,5m)- WCH(207m²X1,5m); WCV(TD=2,6 d)- WCH(TD=3,6d)	WCV(121m²)- WCH(207m²); WCV(TD=2,6 d)- WCH(TD=3,6d)	CASCALHO

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município/ comunidade	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
1	55	8,8	14,00	Pragments australis	28,8	BRIX, H; CARLOS , 2003	Ebeltoft/Bjodstru p-Landborup	Denmark	10,00	486,00
2	55	8,8	14,00	Pragments australis	28,8	BRIX, H; CARLOS , 2003	Ebeltoft/Bjodstru p-Landborup	Denmark	10,00	486,00
3	55	8,8	14,00	Pragments australis	28,8	BRIX, H; CARLOS , 2003	Ebeltoft/Bjodstru p-Landborup	Denmark	2,00	486,00
4	55	8,8	14,00	Pragments australis	28,8	BRIX, H; CARLOS , 2003	Ebeltoft/Bjodstru p-Landborup	Denmark	10,00	486,00
5	55	8,8	16,00	Pragments australis	32,9	BRIX, H; CARLOS , 2004	Ebeltoft/Bjodstru p-Landborup	Denmark	-	486,00
6	55	8,8	16,00	Pragments australis	32,9	BRIX, H; CARLOS , 2003	Ebeltoft/Bjodstru p-Landborup	Denmark	-	486,00
7	55	-	14,00	Pragments australis	-	BRIX, H, 2004	Ebeltoft/Bjodstru p-Landborup	Denmark	10,00	-
8	2079	2,8	2076,0	AVCW plantado c/ Acorus calamusat 15 U/m² e WCH c/ Canna indicaat U/m²	272,8	PAN, J., ZHANG, H., LI, W., KE, F, 2012	Lake Dianchi (N 24.9369 e E 102.6882), Kunming City, Yunnan Province	China	18,70	7610,59



## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município/ comunidade	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
9	2079	2,8	2076,0 0	AVCW plantado c/ Acorus calamusat 15 U/m² e WCH c/ Canna indicaat U/m²	272,8	PAN, J., ZHANG, H., LI, W., KE, F, 2012	Lake Dianchi (N 24.9369 e E 102.6882), Kunming City, Yunnan Province	China	18,70	7610,59
10	-	1,0	-	Taxodium ascendens;Schoe noplectus trigueter; Zizania aquatica; Nymphaea tetragona; Typha angustifolia	155,8	Fenxia Ye *, Ying Li	Ningbo	China	-	38,50
11	60	3,1	9,00	1° st (P.australis); 2° st (Iris, Schoenoplectus,S parganium,Carex ,TyphaorAcorus) (O'Hogain, 2003 verificar	48,9	VYMAZAL, J., 2005	-	Ireland	-	184,00
12	55	8,8	8,25	Pragments australis	17,0	VYMAZAL, J., 2006	-	Dinamarca	-	486,00

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município/ comunidade	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
13	-	-	-	1° st (P.australis); 2° st (Iris, Schoenoplectus, Spa rganium, Carex, Typ haorAcorus) (Labe r et al., 2003)	-	VYMAZAL, J., 2007	Dhulikhel, Nepal	Nepal	-	260.00
14	-	-	-	1° st (P.australis); 2° st (Iris, Schoenoplectus, S parganium, Carex , TyphaorAcorus) (Kowalik and Obarska- Pempkowiak, 1998)	#DIV/0!	VYMAZAL, J., 2008	-	Polônia	-	-
15	-	-	-	1° st(P. australis); 2°st P. australis, Schoenoplectus lacustris(bulrush) and Iris pseudacorus); 3st (Iris pseudacorus); 4st(Sp arganium erectum(bur reed) and Acorus calamus)	-	Jan Vymazal, 2006	Oaklands Park	UK	-	-

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município/ comunidade	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
16	-	-	-	1) two parallel HF beds (stage I) planted with <i>P. australis</i> (200 m <sup>2</sup> each), (2) 300 m <sup>2</sup> pond (stage II) divided into three 100 m <sup>2</sup> sections in series planted with <i>Scirpus lacustris</i> (bulrush), <i>Typha latifolia</i> (common cattail) and <i>Iris versicolor</i> (larger blueflag), and (3) 100 m <sup>2</sup> pond (stage III) divided into two 50 m <sup>2</sup> sections in series planted with <i>Mentha aquatica</i> (water mint) and <i>Elodea canadensis</i> (Canadian waterweed).	-	Jan Vymazal, 2005	Montreal	Canada	-	-

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município/ comunidade	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
17	357	4,6	-	macrófita	60,8	AERMEC,1999	comunidade de CURIENNE	França	-	1645,00
18	400	2,3	60,00	1º st(P. australis);2ºst P. australis, Schoenoplectus lacustris(bulrush) andIris pseudacorus);3st (Iris pseudacorus);4st(Sp arganium erectum(bur reed) and Acorus calamus);système hybride de type Seidel	65,2	AERMEC,1999	comunidade de PANNESSIERE S	França	-	920,00
19	110	9,1	16,50	macrófita	16,5	AERMEC,1999	comunidade MANSPACH	França	-	1000,00
20	-	-	0,20	Phragmites australis	39,0	Cristina Ávila a, Víctor Matamoros b, Carolina Reyes-Contreras b, Benjamí Piña b, Marta Casado b, Luigi Mita b, Claudia Rivetti b, Carlos Barata b, Joan García a,*, Josep Maria Bayona	Universitat Politécnica de Catalunya- BarcelonaTech,	Espanha	14,00	5,00

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município/ comunidade	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
21	-	-	0,41	Phragmites australis	81,0	Cristina Ávila a, Víctor Matamoros b, Carolina Reyes-Contreras b, Benjamí Piña b, Marta Casado b, Luigi Mita b, Claudia Rivetti b, Carlos Barata b, Joan García a,*, Josep Maria Bayona	Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech,	Espanha	15,00	5,00
22	-	-	0,56	Phragmites australis	111,0	Cristina Ávila a, Víctor Matamoros b, Carolina Reyes-Contreras b, Benjamí Piña b, Marta Casado b, Luigi Mita b, Claudia Rivetti b, Carlos Barata b, Joan García a,*, Josep Maria Bayona	Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech,	Espanha	19,00	5,00
23		-	14,00	Phragmites australis	25,6	Cristina Ávila a, Josep M. Bayona b, Isabel Martín c, Juan José Salas c, Joan García a	Carrión de los Céspedes (Seville)	Espanha	23,00	546,00

## APÊNDICE IV – (Continuação)

N	PE	Área/ PE	Vazão (m³/d)	Planta	Taxa hidráulica (l/m².d)	Referências	Município/ comunidade	País	Temperatura (c°)	Área (m²)
24	-	-	0,20	Phragmites australis	40,0	Cristina Ávila, Marianna Garfí, Joan García	Universitat Politécnica de Catalunya- BarcelonaTech,	Espanha	23,70	5,00
25	-	-	0,20	Phragmites australis	40,0	Cristina Ávila, Marianna Garfí, Joan García	Universitat Politécnica de Catalunya- BarcelonaTech,	Espanha	16,20	5,00
26	-	-	0,20	Phragmites australis	40,0	Cristina Ávila, Marianna Garfí, Joan García	Universitat Politécnica de Catalunya- BarcelonaTech,	Espanha	20,10	5,00
27	-	-	64,00	Phragmites australis	26,8	G. D. Gikas 1 and V. A. Tsihrintzis 2	Korestia	Grécia	-	2388,00
28	-	-	-	-	-	-	Gomati	Grécia	-	-
29	-	-	-	-	-	-	Nea Madytos	Grécia	-	-
30	-	-	-	reeds and cattails	73,2	Soulwène Kouki, Fadhel M'hiri, Neila Saidi, Samir Belaid, Abdennaceur Hassen/2009	Joogar (latitude 36°15'29.34"N, longitude 9°56'55.44"E)	Tunísia	10,4 a 28	328

