

DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE LAGOAS E DE ZONAS DE RAÍZES PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO DE PEQUENA COMUNIDADE

Josué Fabiano Melo*
Elfride Anrain Lindner**

RESUMO: O esgoto apresenta carga poluente que precisa ser removida através de estações de tratamento de esgoto – ETE, antes do lançamento em um corpo d'água receptor. Para subsidiar a escolha entre sistemas de tratamento de esgotos realizou-se estudo comparativo aplicado a uma comunidade de baixa renda do município de Campos Novos/SC com 1.800 contribuintes. A escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário avalia aspectos como: área ocupada pela ETE, custo de implantação, potência instalada associada ao consumo de energia, produção de lodo, remoção de nutrientes, confiabilidade, simplicidade operacional e vida útil. Os sistemas dimensionados foram: Lagoas de Estabilização e Zonas de Raízes – *Wetlands*. A área necessária à implantação a opção lagoas de estabilização demanda 15.448 m² e para a Zona de Raízes – *wetlands* precisa-se de 1.626 m². O quesito área tornou inviável a alternativa de lagoas de estabilização, para o terreno próprio da concessionária Samae, só exequível para a opção *wetlands*. As vantagens do sistema *wetlands* resultam de um tratamento basicamente biológico sem o uso de energia, agentes químicos ou equipamentos mecânicos, além da ausência de odores desagradáveis, pois as plantas atuam como filtros. Para o local conclui-se que o sistema mais viável contempla: tratamento preliminar, 1 (um) tanque séptico de duas câmaras (18 x 7 x 2,80 m), 2 (dois) filtros anaeróbios (diâmetro 5,70 m, profundidade 2,25 m) e 4 unidades de *wetlands* (33 x 11 x 0,70 m). O orçamento do projeto desenvolvido alcançou R\$ 600.000,00 (seiscentos mil reais).

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto; Lagoas de Estabilização; Zona de Raízes.

COMPARATIVE DIMENSIONS IN LAKE SYSTEMS AND WETLANDS FOR SEWERAGE TREATMENT IN A SMALL COMMUNITY

ABSTRACT: Sewerage's polluting load is removed by sewage treatment stations (STS) prior to its discharge into a receiving water body. Choice between sewerage treatment systems is the result of a comparative study applied to a small and low income 1800-strong contributing community in the municipality of Campos Novos/SC, Brazil, with 1,800 taxpayers. Sanitary sewerage treatment system evaluated such aspects as STS area, implantation costs, power and energy consumption, sludge production, removal of nutrients, reliability, operational leanness and usage life. The systems contemplated were Stabilizing Pond and Root Zones or Wetlands. Whereas the former required 15,448 m², the wetland system demanded 1,626 m². Consequently, the stabilizing lake system was discarded within the land plot of the Samae utility and the wetland project implemented. Advantages in wetland system a biologically based system without the use of electrical power, chemical products or mechanical equipments and unpleasant odors due to the plants' filtering process. The most viable system comprises preliminary treatment, one septic tank with two chambers (18 x 7 x 2.80 m), two anaerobic filters (diameter 5.70 m; depth 2.25 m) and four wetland units (33 x 11 x 0.70 m). The developed project cost R\$ 600.000,00.

KEYWORDS: Sewage Treatment; Stabilizing Lakes; Wetlands.

* Engenheiro Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Santa Catarina; E-mail: josuk10@hotmail.com

** Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis; Docente da Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Santa Catarina; E-mail: elfride.lindner@unoesc.edu.br

INTRODUÇÃO

O esgoto deve ser tratado antes do seu lançamento a um corpo d'água receptor. Da água utilizada em um estabelecimento, 80% retorna ao meio na forma de esgoto (ABNT, 1993).

A Pesquisa Nacional de Saneamento – PNSB – 2008 (IBGE, 2010) aborda o déficit de esgotamento e mostra a percentagem de municípios, por região, dotados de rede coletora de esgotos: Sudeste, 95,1%; Nordeste, 45,7%; Sul, 39,7%; Centro–Oeste, 28,3%; e, Norte, 13,4%. Apenas 28,5% dos municípios brasileiros fazem tratamento de seu esgoto, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos. Mesmo na Região Sudeste, onde 95,1% dos municípios possuíam coleta de esgoto, menos da metade desses (48,4%) faz o tratamento adequado para a destinação final do efluente.

No município de Campos Novos, no Meio Oeste catarinense a concessionária de águas e esgotos é a autarquia SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto) de Campos Novos.

O SAMAE/CN planeja ampliar o seu atendimento em bairros populares e tem interesse no presente estudo acadêmico, como subsídio para definir o tipo de sistema de tratamento de esgoto a ser adotado.

O objetivo geral consiste em realizar estudo de viabilidade técnico–econômica indicando a melhor opção para o tratamento de esgoto em uma comunidade do município de Campos Novos (SC). Os objetivos específicos incluem: estudar a viabilidade dos sistemas inicialmente propostos; apresentar as peculiaridades de cada sistema incluindo manutenção, operação e aspectos construtivos; avaliar a opção mais vantajosa economicamente dentre os sistemas de tratamento estudados visando a sua implantação pelo SAMAE/CN, apresentando orçamento e cronograma.

2 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Os fatores que influenciam na escolha do sistema a ser adotado para a estação de tratamento de

esgotos (ETE) são identificados em Engenharia e Projetos (2012), a citar: área disponível para implantação; topografia do local e das bacias de drenagem e esgotamento sanitário; volumes diários a serem tratados e variações horárias e sazonais da vazão de esgotos; características do corpo receptor de esgotos tratados; disponibilidade e grau de instrução da equipe operacional responsável pelo sistema; disponibilidade e custos operacionais de consumo de energia elétrica; clima e variações de temperatura da região; disponibilidade de locais e/ou sistemas de reaproveitamento e/ou disposição adequados dos resíduos gerados pela ETE.

No estado de Santa Catarina a Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009 que institui o Código Estadual do Meio Ambiente [...] estabelece:

Art. 177. Os efluentes somente podem ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água interiores, lagoas, estuários e na beira-mar quando obedecidas as condições previstas nas normas federais e as seguintes:

XI – DBO 5 dias, 20°C no máximo de 60 mg/l, sendo que este limite somente pode ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento biológico de água residual que reduza a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20°C do despejo em no mínimo 80% (oitenta por cento); e

XII – os efluentes líquidos, além de obedecerem aos padrões gerais anteriores, 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 (SANTA CATARINA, 2009).

2.1 SISTEMA DE LAGOA ANAERÓBIA SEGUIDA POR LAGOAS FACULTATIVAS

O sistema de tratamento de esgoto constituído por lagoas anaeróbias (LA) seguidas por lagoas facultativas (LF) é conhecido como sistema australiano. As lagoas anaeróbias são normalmente profundas. A profundidade tem a finalidade de

impedir que o oxigênio produzido pela camada superficial seja transmitido às camadas inferiores. Para garantir as condições de anaerobiose é lançada uma grande quantidade de efluente por unidade de volume da lagoa. Com isto o consumo de oxigênio será superior ao repostado pelas camadas superficiais. Como a superfície da lagoa é pequena comparada com sua profundidade, o oxigênio produzido pelas algas e o proveniente da reaeração atmosférica são considerados desprezíveis. No processo anaeróbio a decomposição da matéria orgânica (MO) gera subprodutos de alto poder energético (biogás) e, desta forma, a disponibilidade de energia para a reprodução e metabolismo das bactérias é menor que no processo aeróbio (PIVELI, 2004).

A eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) por uma lagoa anaeróbia é da ordem de 50% a 60%. Como a DBO do efluente é ainda elevada, necessita-se de outra unidade de tratamento. Adota-se uma lagoa facultativa que necessitará de área menor devido ao pré-tratamento do esgoto pela lagoa anaeróbia. O conjunto lagoa anaeróbia + lagoa facultativa economiza cerca de 1/3 da área ocupada comparado a uma lagoa facultativa apenas como unidade única, para tratar a mesma quantidade de esgoto. Na lagoa anaeróbia, maus odores, provenientes da liberação de gás sulfídrico, podem ocorrer como consequência de problemas operacionais, recomendando-se sua localização em áreas afastadas, longe de bairros residenciais (VON SPERLING, 1996). O sistema australiano pode ser seguido de lagoa de maturação (LM) com o objetivo de elevar as eficiências de remoção de organismos patogênicos.

Para Victoretti (1973 apud KLÜSENER, 2006,30) a temperatura é um dos fatores mais importantes, senão o principal, no desenvolvimento do processo de tratamento dos esgotos em lagoas de estabilização. Todos os fenômenos que ocorrem neste processo, físico, químico ou biológico, são afetados pela variação da temperatura ambiente. A temperatura relaciona-se com a radiação solar e afeta tanto a velocidade da fotossíntese quanto a do metabolismo das bactérias responsáveis pela depuração dos esgotos. A atividade biológica decresce à medida que

cai a temperatura, podendo-se grosseiramente prever que uma queda de 10°C na temperatura reduzirá a atividade microbiológica à metade (KLÜSENER, 2006).

2.1.1 Critérios de Dimensionamento das Lagoas Facultativas

Os principais parâmetros de projeto das lagoas facultativas são: tempo de detenção hidráulico, taxa de aplicação superficial e profundidade (VON SPERLING, 1996). O tempo de detenção é o tempo necessário para que os microorganismos procedam à estabilização da matéria orgânica no reator (lagoa). O tempo de detenção relaciona-se, portanto, à atividade das bactérias. A taxa de aplicação superficial baseia-se na disponibilidade de determinada área de exposição à luz solar na lagoa, para que o processo de fotossíntese ocorra. Garantindo a fotossíntese e, indiretamente, o crescimento das algas, ocorre produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda. Assim, o critério da taxa de aplicação superficial é baseado na necessidade de oxigênio para estabilização da matéria orgânica, correlacionado à atividade das algas (KLÜSENER, 2006,).

2.2 ZONA DE RAÍZES – WETLANDS

O sistema zona de raízes consiste na introdução de plantas para o tratamento de águas residuais. A degradação das substâncias poluidoras presentes no esgoto ocorre através da simbiose solo e/ou substrato artificial e microorganismos (SILVA, 2008). A função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato através de rizomas e possibilitar o desenvolvimento de uma população densa de microorganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água. Os sistemas com plantas são eficientes porque o processo de degradação da matéria orgânica (mineralização, nitrificação, desnitrificação) é muito completo, devido à grande presença de biomassa. Além da carga orgânica também são removidos nutrientes (fósforo e o nitrogênio) que levam à eutrofização das águas; patógenos como coliformes, e substâncias inorgânicas como fenóis e metais pesados.

No Brasil, o sistema *wetlands*, além da denominação zona de raízes doravante adotada no presente trabalho, também é chamado por áreas alagadas construídas, leitos cultivados, sistemas alagados construídos (SAC's) e banhados construídos. Têm como principal característica o uso de meios saturados ou mesmo inundados pela água. As condições de clima tropical são favoráveis, pois a temperatura média mais alta aumenta a atividade microbiológica (TONIATO, 2005). Em Belém do Pará uma ETE utilizando zona de raízes atende uma população de 13.000 habitantes tratando a vazão de 67 L/s.

Em Santa Catarina, Platzer, Hoffmann e Cardia (2007) projetaram 15 sistemas zona de raízes, implantados para 5 a 2.200 habitantes. O sistema apresenta simplicidade na operação e altíssimo grau de flexibilidade contra períodos sem utilização ou com uma sobrecarga significativa. Em um loteamento foi escolhido o sistema zona de raízes para 2.200 habitantes pela simplicidade, podendo ser mantido pelos funcionários do condomínio e com baixos custos de implantação e operação. Os clientes gostam do potencial de paisagismo ambiental em forma de jardins ou parques que o sistema zona de raízes oferece.

No município de Gaspar (SC), um sistema zona de raízes atende 600 pessoas em um bairro carente do município (LINDNER, 2010). O engenheiro responsável pelo projeto defende a tecnologia por meio de zona de raízes argumentando que a forma mecanizada, com estações de tratamento convencionais, gastam energia elétrica ou combustível fóssil para movimentar as bombas, enquanto que um sistema natural produz biomassa, recicla nutrientes e utiliza apenas a energia solar.

2.2.1 Classificação dos sistemas por zona de raízes

A classificação do sistema zona de raízes envolve o tipo de planta utilizada, a forma de disposição (flutuantes, submersas, combinadas com materiais filtrantes etc.), além do fluxo do efluente, podendo ser horizontal, vertical, ascendente ou descendente.

Os sistemas zonas de raízes de escoamento subsuperficial dispõem de um substrato (material filtrante) composto por camadas de areia, brita e cascalho, além das macrófitas do tipo emergente, cujas raízes são plantadas diretamente nesse recheio (SEZERINO, 2002).

Philippi e Sezerino (2004) explicam que o filtro plantado com macrófitas é de fluxo horizontal quando o esgoto é alimentado na zona de entrada e percola através dos poros do material filtrante, em um caminho mais ou menos horizontal até alcançar a zona de saída. No fluxo vertical o efluente é disposto, intermitentemente, sob a superfície do módulo inundando e percolando verticalmente, sendo coletado no fundo por sistema de drenagem. A distribuição do efluente é feita uniformemente na superfície através de tubulação perfurada em toda a seção transversal do sistema, em fluxo descendente.

As plantas utilizadas apresentam em suas raízes, nos rizomas e nos caules, um local de grande crescimento de microrganismos, aumentando assim, a área que consiste no biofilme (porção de microrganismos fixados no meio-suporte que atua na degradação da matéria orgânica complexa, em elementos mais simples, passíveis de serem assimilados pelas plantas). As plantas tem capacidade de transportar o oxigênio da sua porção aérea (folhas) até as raízes, promovendo condições para a degradação aeróbia da matéria orgânica e transformação de nutrientes. Isso é possível, porque essas plantas (plantas de banhados) apresentam aerênquimas, estruturas que permitem a entrada de ar pelas folhas e caules, conduzindo-o até às raízes (WITKOVSKI; VIDAL, 2009).

A eficiência dos sistemas zonas de raízes construídos no tratamento de esgotos domésticos é afetada por fatores como a temperatura, o pH e o oxigênio dissolvido (SALARO JUNIOR, 2008). A variação de temperatura afeta o desempenho dos sistemas *wetlands* construídos. A capacidade de tratamento tende a decair com a redução da temperatura, porém os teores de MO e sólidos suspensos totais (SST) que são removidos por mecanismos físicos (floculação, precipitação e filtração) são menos afetados.

2.2.2 Vantagens e desvantagens dos sistemas zonas de raízes

Silva (2007) compilou referências acerca do sistema zona de raízes. São citadas como vantagens: custos de construção e operação relativamente baixos; fácil manutenção, tolerância às flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas de contaminantes, obtenção de benefícios adicionais como a criação de espaços verdes, de habitats naturais e de áreas recreacionais ou educacionais, dispensar produtos químicos, equipamentos mecânicos e energia; função de filtro das raízes eliminando maus odores. Como desvantagens surgiram problemas com mosquitos; colmatação do leito filtrante, necessidade de caracterização precisa do efluente a tratar, do tipo de enchimento, do ciclo hidrológico e do regime de temperaturas; requerer um período de início até a vegetação estar bem estabelecida e eficiências sazonais.

3 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado o levantamento fotográfico da comunidade beneficiada e do local destinado à implantação da ETE.

Ocorreram reuniões com os responsáveis do SAMAE (diretor, engenheiro sanitário e operador de ETE), para o posicionamento da questão.

Realizou-se visita a uma ETE de Campos Novos, que adota o sistema de tratamento de efluentes através de lagoas de estabilização.

O dimensionamento foi elaborado contemplando a concepção de lagoas em série e de sistema zona de raízes, seguindo os parâmetros fornecidos pelo SAMAE, como vazão de projeto, carga orgânica do afluente, além das NBR 7229 (ABNT, 1993) e da NBR 13969 (ABNT, 1997).

Com base nas normas e no embasamento teórico foi possível calcular a carga orgânica resultante em todas as unidades de tratamento de ambos os sistemas.

Foi calculada a eficiência global do sistema escolhido; realizado o respectivo orçamento e o detalhamento do projeto da concepção escolhida.

Para o projeto necessitou-se do levantamento planialtimétrico do terreno, que foi realizado por profissional especializado cedido pela AMPLASC (Associação dos Municípios do Planalto Sul de Santa Catarina).

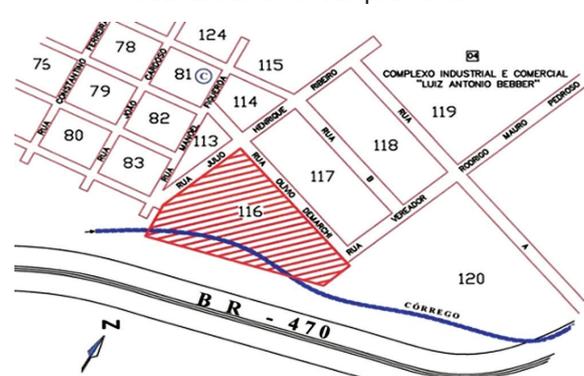
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL PARA A ETE

O presente projeto aplica-se ao terreno do Samae localizado no Bairro Nossa Senhora Aparecida, às margens da BR 470 em Campos Novos (Figura 1a). Trata-se da única localidade que não dispõe ainda de coleta e tratamento dos esgotos no município (SAMAE, 2012).

O terreno destinado para receber a ETE é destacado na Figura 1b, lote 116. A área, quanto ao uso e ocupação do solo, insere-se na Zona de Interesse Industrial II, permitida à atividade “estação de tratamento de esgotos”.



Vista do bairro em Campos Novos



(b) Terreno destinado à ETE

Figura 1. Bairro a ser atendido e localização terreno ETE, Campos Novos/SC

Fonte: Figura do Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de tratamento de esgotos foram dimensionados considerando as concepções de lagoas de estabilização, sistema australiano mais lagoas de maturação e através de zonas de raízes.

Foram adotados como parâmetros de projeto: população de 1.800 habitantes; carga de DBO de 42 g DBO/d (análises laboratoriais do SAMAE); vazão média de esgotos de 120 L/(hab.dia) (setor de faturamento do Samae). (SAMAE, 2012).

A carga total de DBO calculada é de 75,6 kg de DBO por dia.

A vazão média total diária resulta em 216 m³.

A DBO final desejada deve estar em torno de 30 mg/L, em atendimento a alínea XII do Art. 177 da Lei 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009).

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

O dimensionamento do sistema de lagoas de estabilização, sistema australiano seguido de lagoa de maturação seguiu a metodologia, incluindo os parâmetros de projeto, de acordo com exemplos numéricos apresentados por Piveli (2004).

4.1.1 Lagoa Anaeróbia

Adotando-se o tempo de detenção hidráulico, com base na vazão média de esgotos, igual a 4 dias, tem-se o volume útil necessário de lagoa anaeróbia de 864 m³.

A profundidade da lagoa anaeróbia escolhida foi de 4 m (faixa de 3 a 5 metros) (PIVELI, 2004). A área média, à meia (1/2) profundidade resulta em 216 m². A relação comprimento/largura é de $L/W = 2/1$ ($W = 10,40$ m e $L = 20,80$ m). A inclinação dos taludes permitida ao solo argiloso é de 1 (Vertical):1(Horizontal) (PIVELI, 2004). Deve ser deixada uma borda livre de 0,60 m. A taxa de aplicação volumétrica de DBO (λ_v) (λ_v) é calculada pela Eq. 1 e a taxa de aplicação superficial de DBO (λ_s) (λ_s) é obtida através da Eq. 2:

$$\lambda_v = \frac{75,6 \text{ kg DBO/dia}}{864 \text{ m}^3} = \frac{0,088 \text{ kg DBO}}{\text{m}^3 * \text{dia}} \text{ ou } \frac{88 \text{ g DBO}}{\text{m}^3 * \text{dia}} \quad (1)$$

$$\lambda_s = \left(\frac{75,6 \text{ kg DBO}}{\text{dia}} * \frac{10.000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \right) / 24,80 \text{ m} * 14,40 \text{ m} = \frac{2.116,94 \text{ kg}}{\text{dia}} \quad (2)$$

4.1.2 Lagoas Facultativas Fotossintéticas

Com a eficiência na remoção de DBO de 50% a carga de DBO residual para as lagoas facultativas é de 37,8 kg DBO/dia.

Considerando $T = 5$ °C para o sul do país, sendo a temperatura média do ar do mês mais frio do ano, obtém-se a taxa aplicação superficial limite de DBO (Eq. 3):

$$\lambda_L = 14.T - 40 \quad \lambda_L = 14 * 5 - 40 = 30 \text{ Kg DBO/ha} * \text{dia} \quad (3)$$

Para as lagoas facultativas a área mínima necessária é de 1,26 hectares. Adotam-se 02 (duas) lagoas operando em paralelo. A área do espelho de água por lagoa fica em: $A_{L.FAC.} = 0,63 \text{ ha}$. A relação comprimento/largura atendendo às características da área é $L/W = 3/1$, W calculada de 45,85, adotados $W = 46$ m e $L = 138$ m. Inclinação dos taludes: 1 (Vertical):1(Horizontal) (solo argiloso); borda livre adotada: 0,60 m. A profundidade varia de 1,5 a 2,0 metros, adotado 2 m.

4.1.3 Lagoas de Maturação

Adotando-se o tempo de detenção hidráulico de 7,0 dias, tem-se o volume útil necessário de lagoas de maturação de 1.512 m³. Por ser uma lagoa facultativa, sua profundidade útil deve ser $\leq 1,0$ m (PIVELI, 2004), valor adotado de 1,0 m.

A área total à meia profundidade será de 1.512 m². Adotando 02 lagoas, volume de 756 m³ cada lagoa. Para a relação comprimento/largura de 5/1, a largura resultante é $W = 12,50$ m e comprimento, $L = 62,50$ m. Em função do solo argiloso a inclinação fica de 1V:1H; borda livre adotada: 0,60 m.

As principais dimensões das lagoas anaeróbia (LA), facultativas (LF) e de maturação (LM) resultantes estão no Quadro 1.

Quadro 1. Dimensões das lagoas anaeróbia (LA), facultativa fotossintética (LF) e de maturação (LM)

Dimensão	Comprimento (m)			Largura (m)		
	LA	LF	LM	LA	LF	LM
Terreno	26,00	139,20	64,70	15,60	47,20	14,70
Espelho de água	24,80	138,00	63,50	14,40	46,00	13,50
½ pro-fundidade	20,80	136,00	62,50	10,40	44,00	12,50
Fundo	16,80	134,00	61,50	6,40	42,00	11,50

Fonte: Dados da pesquisa

4.2 DIMENSIONAMENTO ZONA DE RAÍZES

O sistema zona de raízes é antecedido por tratamento primário através de tanque séptico, seguido por filtro anaeróbio com fluxo ascendente.

4.2.1 Tanque séptico

O volume útil total do tanque séptico calculado segundo a NBR 7229 (ABNT, 1993) é de 325 m³. Escolhida a profundidade útil de 2,80 m, a área resulta em 116,07 m². Relação L/W de 3:1, obtém-se o comprimento de 18,66 m e a largura de 6,22. Valores adotados de L = 18 m e W = 7 m, com volume de 352,80 m³.

Devido à interferência dos gases na flotação das partículas, optou-se pela divisão do tanque séptico em duas câmaras melhorando assim a sedimentabilidade do lodo. A entrada do esgoto afluente contará com uma câmara que vai contemplar 2/3 (235,20 m³) do volume total do tanque séptico, seguido por outra câmara menor (1/3 = 117,60 m³). Os comprimentos serão de 12 m (1ª câmara) e de 6 m (2ª câmara).

As câmaras devem comunicar-se mediante aberturas com área equivalente a 5% da seção vertical

útil do tanque no plano de separação entre elas (NBR 7229, ABNT, 1993) A seção vertical útil ($L * h_L * h = 7 * 2,80 = 19,60 \text{ m}^2$); a área necessária das aberturas fica em: 5% de 19,60 m² = 0,98 m². Optou-se por aberturas retangulares com altura e largura de 0,40 e 0,20 m respectivamente, área unitária de 0,08 m². São necessárias 12 aberturas.

4.2.2 Filtro anaeróbio

O volume do filtro anaeróbio (FA), aplicando-se a NBR 13969 (ABNT, 1997) resulta em 115 m³. A altura total do filtro (H) advém da altura do material filtrante ($h_1 = 1,50 \text{ m}$), somada à altura do fundo falso ($h_2 = 0,60 \text{ m}$) e à altura da lâmina livre ($h_3 = 0,15 \text{ m}$) resultando em $H = 2,25 \text{ m}$. A área fica em 51 m². O sistema funciona melhor com o uso de duas unidades (área individual de 25,50 m²), cada FA com diâmetro de 5,70 m.

4.2.3 Sistema zona de raízes

A NBR 13.069/97 apresenta as faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento. Para o conjunto tanque séptico seguido de filtro anaeróbio a eficiência na remoção de DBO é de 40 a 75% (ABNT, 1997). Adotando-se 70%, a concentração afluente ao sistema zona de raízes fica em 105 mg/L de DBO (ABNT, 1997).

O sistema escolhido foi zona de raízes de fluxo horizontal subsuperficial descrito por Crites et al. (2005 apud DORNELAS, 2008), vide Figura 2.

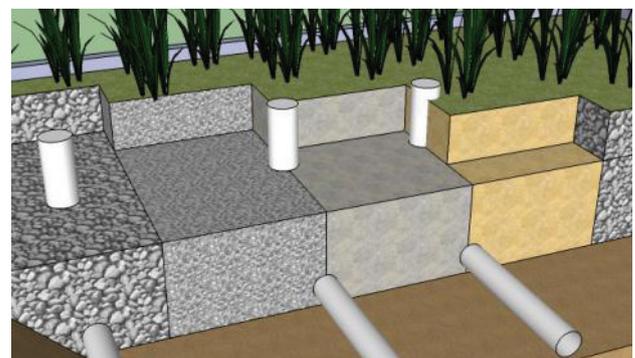


Figura 2. Esquema representativo do filtro zona de raízes de fluxo horizontal
Fonte: Figura do Autor

Para o cálculo da área superficial necessita-se obter K , o coeficiente de remoção de DBO_5 (d^{-1}) a certa temperatura do líquido ($^{\circ}C$), (Eq. 4), como segue:

$$K = K_{20} * 1,06^{(T-20)} \quad K = 1,10 * 1,06^{(16-20)} \quad (4)$$

Em que: K_{20} = coeficiente de remoção de $DBO_{5,20}$ valor sugerido de $1,1 d^{-1}$; H_{liq} = altura do líquido no interior do leito filtrante (m), valor adotado $0,70 m$, inferior à altura do leito $10 cm$, para evitar potencial exposição do efluente na superfície.

Conhecido o coeficiente K as configurações geométricas das unidades foram obtidas calculando-se a área superficial, As (Eq. 5).

$$As = Q * \left(\ln \frac{Ca}{Ce} \right) / (K * H_{liq} * n)$$

$$As = \frac{216 * \left(\ln \frac{105}{30} \right)}{0,87 * 0,70 * 0,35} \quad (5)$$

Em que: As = área superficial, m^2 ; Q = vazão de projeto, m^3/d ; concentração de DBO_5 , mg/l (Ca =afluente e Ce =efluente desejada, adotou-se o valor de $30 mg DBO/L$).

A área necessária obtida é $As=1.269,51 m^2$. Em função de segurança na funcionalidade do sistema adotou-se uma área total de $1.500 m^2$, dividida em 4 unidades de $375,00 m^2$. Cada unidade terá: altura total dos leitos de $0,70 m$; altura do líquido nos leitos de $0,50 m$. A relação de comprimento, largura adotada de $3:1$ resulta nas dimensões de $33 m$ para o comprimento e $11 m$ para a largura.

4.2.4 Tempo de detenção hidráulica

O tempo de detenção hidráulica (Td) é obtido através da divisão do volume de cada zona de raízes pela vazão individual de cada unidade (Eq. 6):

$$Td = 0,35 * \frac{0,7m * 11m * 33m}{54 m^3/dia}$$

$$Td = 1,65 \text{ dias}/40 \text{ horas} \quad (5)$$

4.3 ÁREA OCUPADA PELA ETE

O terreno disponível para a implantação da ETE possui uma área de $2,89 ha$. Sob a égide do Código Florestal, Lei 12.651/12, Art. 4º (Brasil, 2012a) a área de preservação permanente (APP) seria de 30 (trinta) metros, restando $2,1$ hectares (Figura 3). Calculadas as áreas necessárias a cada um dos sistemas (Quadro 2), o sistema de lagoas ocuparia $73,5\%$ do terreno (Figura 3a), enquanto que o sistema zona de raízes exigiria apenas $7,7\%$, agora visto na projeção da ETE no terreno utilizável (Figura 3b).

Quadro 2. Resumo de áreas das lagoas de estabilização e do sistema Zona de Raízes

Qtde.	Descrição	Tamanho no Terreno	Área (m²)	Área total (m²)
01	Lagoa Anaeróbia	26,00 m x 15,60 m	405,60	15.448,26
02	Lagoas Facultativas Fotosintéticas	139,20 m x 47,20 m	13.140,48	
02	Lagoas de Maturação	64,70 m x 14,70 m	1.902,18	
01	Tanque Séptico	18,00 m x 7,00 m	126,00	1.625,52
02	Filtro Anaeróbio	Ø 5,50 m	47,52	
04	Zona de Raízes – wetlands	11,00 m x 33,00 m	1.452,00	

Fonte: Dados da Pesquisa

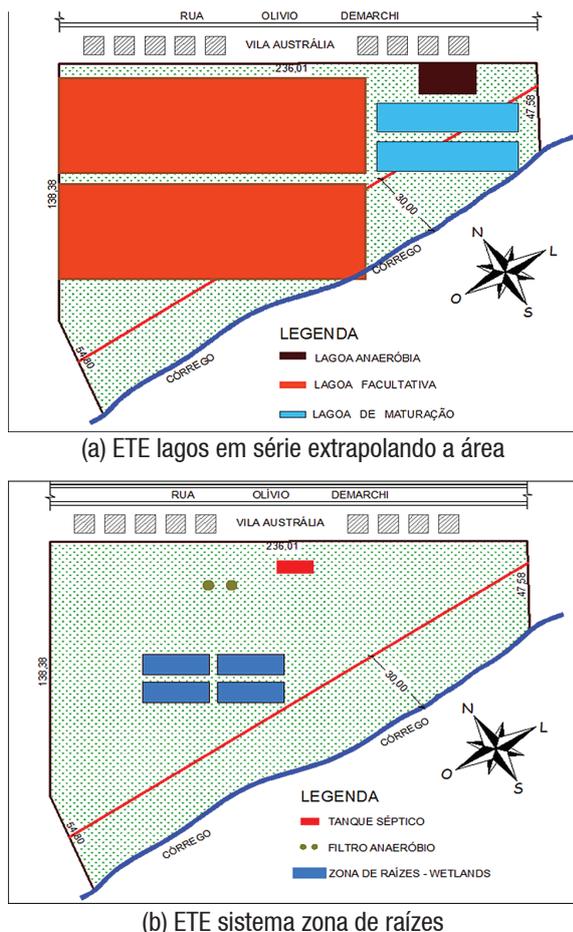


Figura 3. Projeção da estação de tratamento de esgotos no terreno

Fonte: Figura do Autor

Está em vigor a Lei 12.727 de 17/10/2012 (BRASIL, 2012b) que altera a Lei 12.651/2012. A redução de área de APP ainda não permitiria a implantação do sistema de lagoas.

Art. 61–A. Nas Áreas de Preservação Permanente, é autorizada, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris [...].

§ 1º Para os imóveis rurais com área de até 1 (um) módulo fiscal que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 5 (cinco) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água (Lei nº 12.727 de 17/10/2012 (BRASIL, 2012b)).

A Prefeitura Municipal de Campos Novos avalia em R\$ 30,00 (trinta reais) o metro quadrado (valor venal) para terreno similar. O SAMAE é o proprietário do imóvel. A aquisição de área para a opção lagoas em série encareceria a obra. Von Sperling (1996) ressalta que em áreas urbanas ou de algum elemento de importância o custo do terreno pode ser bastante elevado, conduzindo à necessidade de se adotar soluções mais compactas.

Ainda segundo Von Sperling (1996), as lagoas anaeróbias necessitam de um afastamento mínimo em torno de 500 m das residências mais próximas, em função da possibilidade de maus odores.

Nesse caso, não é possível respeitar esse afastamento devido às dimensões do terreno, inviabilizando o tratamento de esgotos desta comunidade por lagoas de estabilização.

4.4 ZONA DE RAÍZES: CARACTERÍSTICAS, CRONOGRAMA E ORÇAMENTO

O sistema escolhido (Figura 4) para uma população de 1.800 habitantes, com geração *per capita* de esgoto na ordem de 120 litros/pessoa.dia e contribuição de carga orgânica de 42 g DBO/pessoa.dia contempla: tratamento preliminar, sendo o gradeamento para a remoção de sólidos grosseiros e o desarenador para a sedimentação das partículas; tanque séptico (18 x 7 x 2,80 m), com duas câmaras para melhor sedimentação do lodo; 02 filtros anaeróbios, DBO resultante de 175 mg DBO/L, formato cilíndrico, fluxo ascendente (diâmetro 5,70 m, altura 2,25 m); 4 unidade de wetlands (33 x 11 x 0,7 m) .

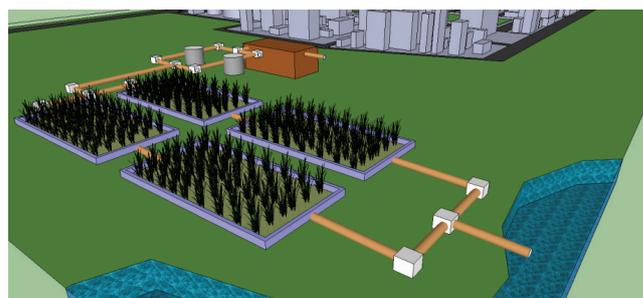


Figura 4. Sistema de tratamento zona de raízes, projeto Samae de Campos Novos (SC)
Fonte: Figura do Autor

O dimensionamento considerou a DBO afluente (bruta) de 350 mg/L, e a DBO do efluente tratado igual a 30 mg/L (eficiência global de 91%). A concentração de DBO final esperada é de 30 mg DBO/L, atendendo à legislação ambiental (SANTA CATARINA, 2009).

O orçamento realizado para o sistema de tratamento zona de raízes detalhado por Melo (2012) resultou no custo de R\$ 566.984,79, distribuídos em: serviços preliminares (7%), preparo das valas (4%), tubulação para interligação dos sistemas (4%), gradeamento e desarenador (3%), tanque séptico (25%), filtro anaeróbio (33%) e zona de raízes (24%).

O cronograma prevê a implantação do sistema *wetlands* no prazo de 6 (seis) meses, incluindo as etapas de preparação do terreno (1 mês), a construção do tanque séptico e dos filtros anaeróbios (2 meses), da zona de raízes (2 meses) e do plantio de mudas (1 mês).

Para o sistema zona de raízes optou-se por uma espécie nativa (Taboa – *typha dominguensis*) que tem seu ciclo adaptado ao clima frio.

No decorrer do tempo, com o crescimento das plantas da zona de raízes, aumenta-se a eficiência do tratamento, garantindo a remoção de nutrientes. Em contrapartida as plantas são capazes de triplicarem em torno de 2 meses, o que exige certa manutenção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de alternativas de tratamento de esgotos foi realizado no município de Campos Novos (SC), atendido pela concessionária SAMAE. Dimensionados dois sistemas a concepção de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes – *wetlands* mostrou-se mais viável quando comparada às lagoas de estabilização, por ser compacto e compatível com a área do terreno existente. O sistema de lagoas demandaria aquisição de terreno pelo SAMAE.

A amplitude térmica, com baixas temperaturas à noite e elevadas temperaturas no decorrer do dia, da região de Campos Novos foi considerada em projeto. A temperatura afeta diretamente os processos

físicos, químicos e biológicos e, ambas as concepções, foram dimensionadas para situação mais desfavorável, ou seja, a temperatura do mês mais frio. A espécie nativa escolhida de taboa (*typha dominguensis*) visa assegurar a sobrevivência das plantas na estação mais fria do ano.

As vantagens do sistema de zona de raízes não estão apenas em evitar o despejo direto de esgoto doméstico comprometendo a qualidade das águas receptoras, mas, por ser basicamente biológico sem o uso de energia, agentes químicos ou equipamentos mecânicos e ainda, por não produzir metano, característico de processos anaeróbios, evitando-se maus odores, produção de biomassa, captação de carbono, entre outras.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, Construção e Operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

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

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166–67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 23 de jun. 2012.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19

de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2012b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm>. Acesso em: 30 mar. 2013.

DORNELAS, F.P. **Avaliação do desempenho de Wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2008.

ENGENHARIA E PROJETOS. **Tecnologia para tratamento de esgotos sanitários**. Monte Santo de Minas, MG, 2012 Disponível em: <http://www.enge.com.br/esgoto_tecnologia.htm> Acesso em: 26 mai. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Plano Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicao-de-vida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2012.

SALARO JUNIOR, R.. **Avaliação da eficiência de sistema fito-pedológico (wetlands) na depuração de efluentes domésticos gerados em pequena comunidade**. 2008. 153f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus Botucatu, Botucatu, SP, 2008. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bla/33004064021P7/2008/salarojunior_r_me_botfca.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2012.

KLÜSENER, J. J. **Influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas**. 2006. 133 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LINDNER, R. Quando a natureza é tecnologia. **Jornal Cidadania**, Gaspar/SC, março/abril de 2010. Disponível em: <http://www.fundacaobunge.org.br/jornal-cidadania/materia.php?id=3960&/quando_a_natureza_e_a_tecnologia>. Acesso em: 16 jun. 2012.

MELO, J. **Estudo de viabilidade técnico-econômica para o tratamento de esgoto em uma Comunidade de Campos Novos – SC**. 2012. Relatório Estágio (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2012.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W. O wetland como componente de ECOSAN – experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE SANITATION: “FOOD AND WATER SECURITY FOR LATIN AMERICA. 2007, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/ponencias/0%20WETLAND%20COMO%20COMPONENTE%20DE%20ECOSAN.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2012.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo Wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: Ed. do Autor, 2004. 133p.

PIVELI, R.P. **Tratamento de esgotos sanitários**. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Disciplina PHD 2411 – Saneamento I. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/APOSTILA%20-%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTOS.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2012.

SAMAE. Serviço Autônomo Municipal de água e Esgoto. Campos Novos. 2012. Disponível em: <<http://www.classificadosmercosul.com.br/samae/default.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

SANTA CATARINA. **Lei n. 14.675, de 13 de abril de 2009**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente.

Disponível em: <http://www.cooperalfa.com.br/2010/arquivos/codigo_ambiental.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2012.

SEZERINO, P. H. **Utilização de biofiltros com Macrófitas (Vertical Constructed Wetlands) como pós-tratamento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos suínos**. 2002. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2002. 200 p.

SILVA, . E. Tecnologia de Tratamento, Polimento e Reciclagem de Água por Zona de Raízes. **Portal Tratamento de Água**. 2008. Disponível em: <http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=361>. Acesso em: 28 abr. 2012.

SILVA, S. C. da. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. 205f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://vsites.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/teses-ptarh/Selma%20Silva.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2012.

TONIATO, J. V. **Avaliação de um wetland construída no tratamento de efluentes sépticos – estudo de caso Ilha Grande**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://bvssp.icict.fiocruz.br/lildbi/docsonline/get.php?id=680>>. Acesso em: 28 abr. 2012.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos de tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 2.

WITKOVSKI, A.; VIDAL, C. M. S. Proposição de sistema de tratamento de esgoto sanitário constituído de tanque séptico seguido de zona de raízes para ser imple-

mentado em pequenas comunidades rurais. **Revista Eletrônica Lato Sensu**, 2009. Disponível em: <http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/P%C3%A1ginas/7%20Edi%C3%A7%C3%A3o/Agrarias/PDF/2-Ed7_CA-Propos.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2012.

Recebido em: 15 de abril de 2013

Enviado em: 12 de junho de 2013