

Resumo: Este estudo trata a remoção de contaminantes em sistemas alagados construídos em elevada altitude em condições de clima temperado. Justifica-se em função dos resultados significativos obtidos na caracterização física, química e biológica realizada em escala real SAC (Sistema Alagado Construído - Wetlands) de fluxo subsuperficial e horizontal. A análise ocorreu em uma estação de tratamento de esgoto situada no planalto andino, no interior das instalações de um projeto minero-metalúrgico em Tres Lagunas, região localizada no povoado de Girón, no estado de Azuay, no Equador. A pesquisa implica prática e monitoramento com método que envolve águas residuais domésticas, atividades de campo, análises de laboratório e cálculo das variáveis de projeto a partir de cargas específicas e remoção de contaminantes. Foram obtidas para o sistema estudado remoções médias de 74 e 80% para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), 59 e 46% para o Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Fósforo (P) e 73, 85 e 89% para Óleos e Graxas e Coliformes Totais e Termotolerantes, respectivamente. Remoções de 28% foram alcançadas para Sólidos Totais (ST) e Sólidos Dissolvidos Totais (STD), de 26% para os Sólidos Suspensos Totais (SST) e de 93% para os Sólidos Sedimentáveis (SS). Os resultados dos parâmetros demonstraram eficaz funcionamento do sistema, com níveis de concentrações no efluente abaixo dos limites permissíveis para a descarga num corpo de água doce estabelecidos na lei equatoriana. Para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Três Lagunas o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) foi de 4,05 dias, a carga orgânica superficial 1,93 vezes superior e a carga hidráulica encontram-se dentro da faixa ou do intervalo relatado. Tudo isso indica o potencial desse reator ou SAC para o tratamento de cargas orgânicas maiores, e, potencialmente, aumentar a cobertura de tratamento para pessoas (habitantes colidentes) que ainda podem ser conectados ao sistema.

Constatou-se a concepção, desenho e construção de sistemas de baixo custo para o tratamento de esgoto que fornece soluções que atingem pequenas populações, além de facilitar o cumprimento das normas de qualidade de efluentes estabelecidas pela legislação ambiental local, garantindo a proteção do meio ambiente e a qualidade de vida dos cidadãos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Tratamento Natural, Sistema Alagado Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal, Esgoto.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação das autoridades de saúde em todo o mundo está claramente refletida na legislação rigorosa dos países desenvolvidos, no que diz respeito aos limites máximos admissíveis de muitas substâncias em os efluentes de estações de tratamento e o controle sobre os limites de toxicidade dos efluentes. No entanto, devido às condições económicas graves em países em desenvolvimento, a eliminação das águas residuais é feita na maioria dos casos sem qualquer tratamento (García, J. 2003. p.4). Em uns, devido ao elevado valor que envolve as tecnologias convencionais e desenvolvidas. Em outros, devido a uma falta de consciência em relação à problemática dos vertidos dos efluentes à natureza e humanidade. Apesar de que em alguns países latino-americanos o governo fomenta uma adulada política de proteção ao meio ambiente, a falta de recursos económicos é um obstáculo na aplicação dos sistemas de tratamento. Como uma alternativa às técnicas convencionais para o tratamento de águas residuais foram desenvolvidas uma série de sistemas de tratamentos, os quais depuravam os contaminantes através de mecanismos de purificação baseados nas atividades ou processos existentes na natureza, por isso são chamados como "sistemas naturais de tratamento".

Estes sistemas requerem a mesma quantidade de energia por kg de gradiente contaminante do que as tecnologias convencionais, no entanto, a fonte é tomada a partir da natureza (García J, 2003. p.8). Processos físico-químicos, tais como filtração, decantação, absorção, foto-oxidação e fotossíntese, ligados à ação fitodepuradora da vegetação estabelecida contribuem grandemente para a ação depuradora ou tratamento realizado nesses sistemas.

Estudar a remoção de contaminantes em sistema alagado construído de escoamento subsuperficial horizontal (SAC), que trata as águas residuais domésticas em clima temperado (povoado Girón, província de Azuay -. Equador), de fato, fornecer conhecimentos sobre a concepção e construção de sistemas de baixo custo para o tratamento de águas residuais é uma forma importante de aumentar a proteção do meio ambiente e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, proporcionando uma solução de tratamento para as pequenas comunidades, facilitando o cumprimento das normas de qualidade dos efluentes estabelecidos pela legislação equatoriana ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um sistema horizontal de fluxo subsuperficial construído em uma altitude de 3.664 m.s.n.m A temperatura média anual é de 8,4 ° C, sendo os meses mais quentes, novembro e

dezembro, com temperaturas médias de 9,3 ° C e 9,2 ° C, respectivamente, a temperatura máxima é perto de 17 ° C e a mínima em torno de 2,2 ° C.

Ele foi construído com uma secção transversal trapezoidal com 20 metros de comprimento e 10 m de largura; utilizando uma relação 2:1, a profundidade de desenho foi de 0,5 metros. O SAC constitui uma etapa o sistema secundário de tratamento de esgoto, é imperativo notar que a água residuária antes de atingir o sistema está sujeito a um tratamento primário, ela é tratada no reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), portanto. O SAC constitui o estágio secundário do tratamento.

Como planta aquática emergente é utilizada Totorá, espécie aquática emergente encontrada comumente em qualquer zona húmida natural do planalto andino, especialmente em condições climáticas semelhantes às da área de estudo ou estação de tratamento, ver Figura 1.

Fundamentos da planta aquática (Jardim Botânico de Missouri, 1995-2007):

- Família: *Cyperaceae*
- Gênero: *Totora (CA Mey) Soják*
- Nome Comum: Totorá
- Espécie Nativa Altitude Variável: 2500 - 3500 m.s.n.m



Figura 1: Planta aquática emergente. Totorá

A Figura 2 mostra um diagrama esquemático do sistema de tratamento de esgoto utilizado e os pontos onde se executaram as atividades de monitoramento e toma das amostras, para fazer posteriormente as análises uma vez iniciado o funcionamento, passando o tempo necessário para o êxito do desenvolvimento dos processos de remoção de contaminantes.

As atividades de monitoramento foram desenvolvidas, nos pontos de amostragem na entrada e saída do SAC, sempre, ao mesmo tempo, 11:00 horas, nas caixas de auditoria, cumprindo com os procedimentos estabelecidos para a preservação adequada de amostras segundo a Agência para a Proteção do Meio Ambiente do Estados Unidos (EPA) e a Associação Oficial de Química Analítica (AOAC).

Parâmetros tais como: níveis de concentração de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (NTK), Nitrogênio Amoniacoal ($\text{NH}_3\text{-N}$), Fósforo Total (P), Potencial Hidrogênio (pH), Sólidos Totais (ST), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Sedimentáveis (SS), Óleos e Graxas, e Coliformes Totais e Termotolerantes foram determinados de acordo com métodos padronizados para as análises da água e esgoto, edição 21 e os métodos estabelecidos pela EPA.

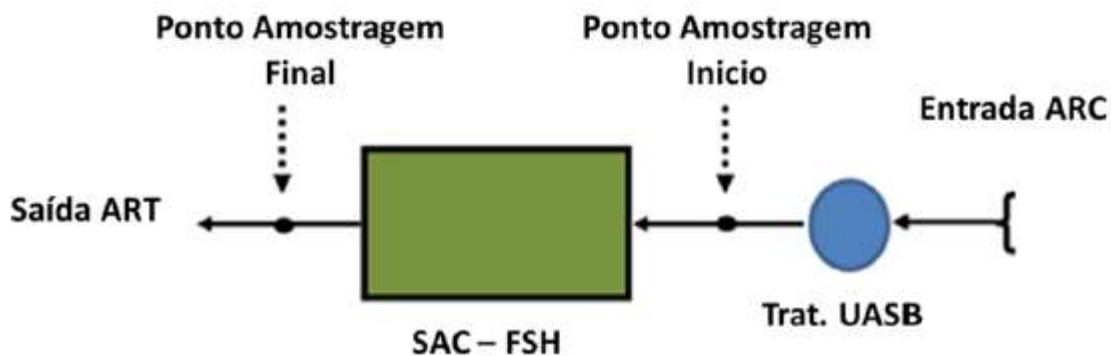


Figura 2: Esquema do Sistema de Tratamento de Esgoto – Pontos de Monitoramento. ETE Tres Lagunas

RESULTADOS OBTIDOS

Antes da avaliação e começo do estudo no SAC, uma caracterização do afluente foi executada. De acordo com os critérios de classificação para os esgotos apresentados no Metcalf e Eddy, 1996; no sistema recebe esgoto de esgoto com concentrações as quais lhe caracterizam de esgoto fraco - médio.

Tabela 1: Características do Esgoto Estudado – Classificação Média segundo Metcalf e Eddy

| PARÂMETRO | UND. | Média | MAX. | MIN. |
|-------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| DBO | mg/L | 300 | 482 | 154 |
| DQO | mg/L | 859 | 1600 | 425 |
| NTK | mg/L | 56 | 92 | 28 |
| N-NH ₃ | mg/L | 10 | 15 | 5 |
| P | mg/L | 3 | 4 | 2 |
| ST | mg/L | 693 | 850 | 428 |
| SDT | mg/L | 537 | 780 | 325 |
| SST | mg/L | 155 | 365 | 50 |
| SS | mg/L | 0,13 | 0,72 | 0 |
| Graxas | mg/L | 2,59 | 3,8 | 1,4 |
| Coli.Totais | Nº/100mL | 1,5 x 10 ⁸ | 9,2 x 10 ⁸ | 1,1 x 10 ⁷ |
| Coli.Fecais | Nº/100mL | 1,4 x 10 ⁷ | 5,4 x 10 ⁷ | 1,1 x 10 ⁴ |

Os valores de eficiência para os parâmetros DBO e DQO foram de 80% e 74%, respectivamente, eles podem ser tratados como valores com níveis relativamente elevados de remoção, embora na literatura relata valores acima de 90% de eficiência. Isto sugere a eficácia deste sistema para remover contaminantes independentemente dos níveis das concentrações no afluente (García J, 2003). A remoção de Nitrogênio e Fósforo foi observada ao longo do estudo, a remoção% de Nitrogênio Total e Amoniacal do sistema foi de 59% para o NTK e 51% para o caso de N-NH₃, sendo os valores abaixo mostrados na literatura (80% NTK), (US EPA. 1988). Para o Fósforo se obtiveram 46% de remoção.

Tabela 2: Média das Porcentagens de Remoção dos Contaminantes ou Poluentes. ETE Tres Lagunas.

| Parâmetro | % Remoção |
|-------------------|-----------|
| DBO | 74 |
| DQO | 80 |
| NTK | 59 |
| N-NH ₃ | 51 |
| P | 46 |
| ST | 28 |
| SDT | 28 |
| SST | 25 |
| SS | 93 |
| Graxas | 73 |
| Coli.Totais | 85 |
| Coli.Fecais | 89 |

O percentual médio alcançado para remoção de ST e SDT foi de 28%, enquanto, para o parâmetro SST foi obtido um 26%. Embora baixas concentrações de SS, o sistema atingiu uma média de 94% de remoção. As correlações entre os ST, SST e SDT foram feitas, mostrando que tanto para afluentes como efluente, as correlações não são muito fortes, especificamente a relação entre os totais e os dissolvidos no afluente tem um coeficiente de correlação de 0,57 e efluente 0,32. Além disso, a relação entre os sólidos totais e os sólidos sedimentáveis em ambos os sites (afluente e efluente), não reflexaram relação alguma, devido a que seus coeficientes de correlação (0,002) foram baixos. Concentrações de Óleos e Graxas indicam a remoção eficaz deste parâmetro, de 73%.

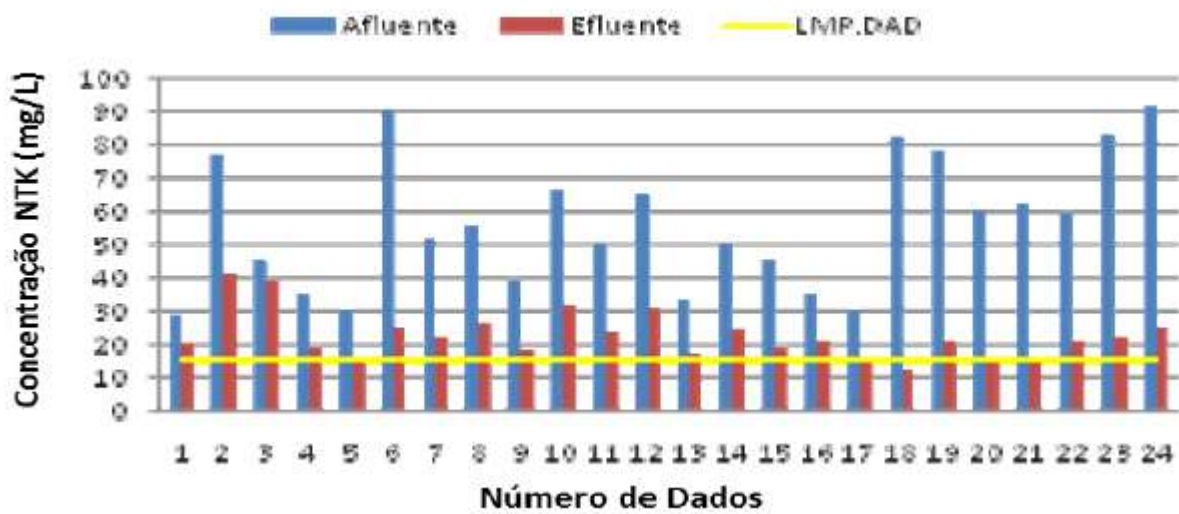
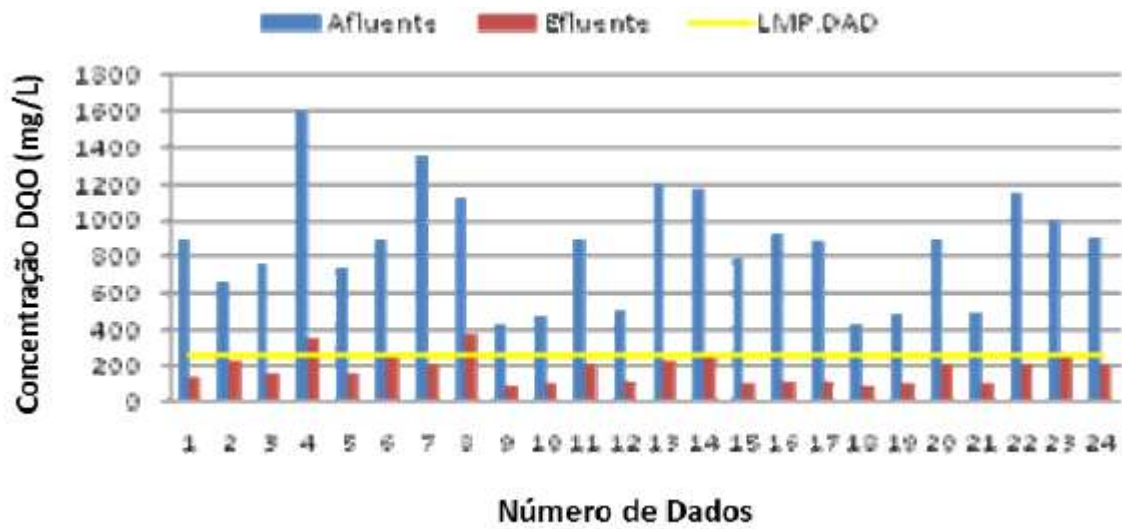
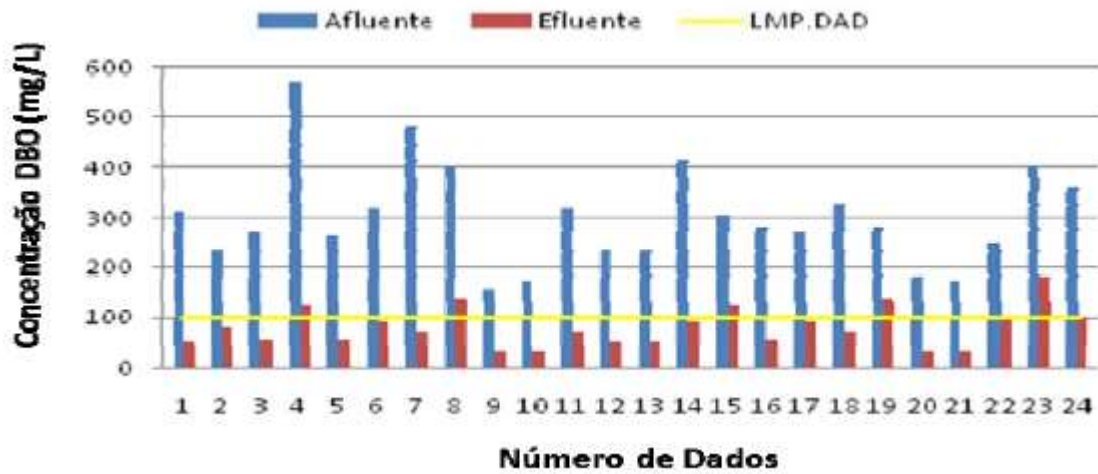
As Taxas de remoção microbiológica são apresentadas da seguinte forma: coliformes totais, 85%, e coliformes termotolerantes 89%.

As concentrações no efluente foram comparadas com os regulamentos em vigor, em especial com certos limites máximos admissíveis na Normativa de Qualidade Ambiental e Lançamento de Efluentes: Recursos Hídricos do Texto Unificação da Legislação Ambiental Secundaria (TULAS). As concentrações de DBO e DQO no efluente estão abaixo dos limites estabelecidos nos regulamentos ou legislação, demonstrando assim, a eficiência do sistema e sua utilização com sucesso no tratamento de esgotos, ver Figura 3.

Concentrações de NTK presentes na maioria das amostras encontram-se por acima do limite fixado no TULAS. Razão pelo qual, a descarga em corpos receptores de água doce não pode ser direta. Em relação ao Fósforo Total as concentrações na totalidade das amostras avaliadas se mentem abaixo do limite estabelecido; é interessante mostrar que as concentrações de entrada foram também abaixo deste valor, Figura 4.

Concentrações de Sólidos Totais na entrada e saída foram também comparadas com o valor estabelecido no limite pela legislação nacional para as descargas de água doce no capítulo VI do TULAS, quantificando eles podem-se observar concentrações deles abaixo do estabelecido. Nos Sólidos em Suspensão podem ser notados que, com a exceção de uma amostragem no efluente, o resto tem valores sempre abaixo do limite.

Níveis de coliformes no efluente sempre acima da norma indica que o sistema não cumpre com os limites para de remoção (> 99,9%).



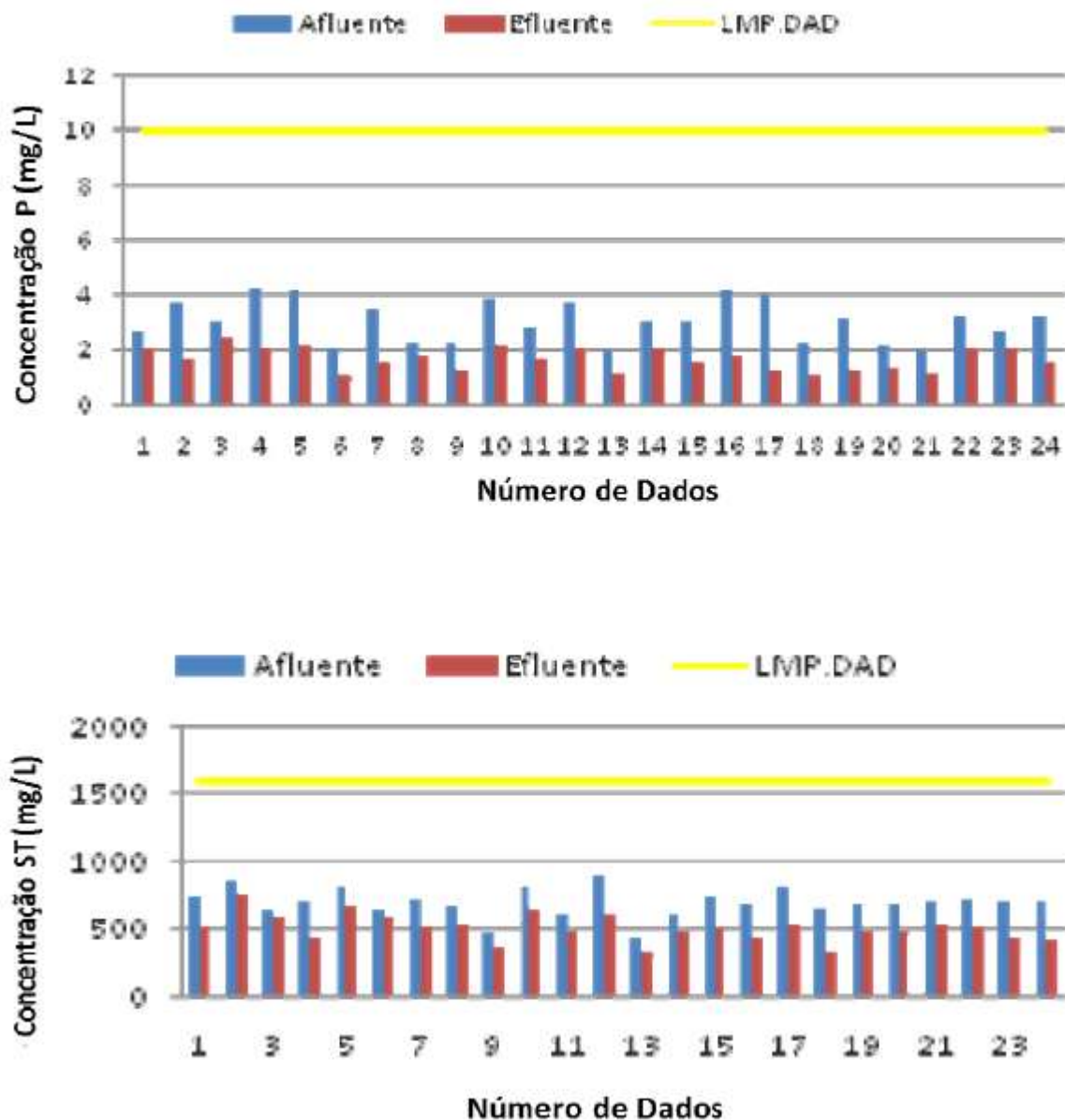


Figura 3: Comparação Concentração Efluente vs. Padrão do Lançamento. ETE Três Lagunas.

Os cálculos de carga orgânica superficial, carga hidráulica, coeficiente de degradação do sistema (k) e análise de população equivalente foram realizados. As dimensões do reator estudado determinam uma área superficial de 200 m^2 . A concentração média de matéria orgânica manteve-se cerca de 300 mg/L e a média de admissão ou fluxo no afluente ao reator foi de $0,1 \text{ L/s}$.

Tabela 3: Parâmetros Calculados. ETE Tres Lagunas.

| Parâmetros Calculados | Unid. | % Remoção |
|---|--------------------------------------|------------------|
| Área Superficial | m² | 200 |
| Volume | m³ | 100 |
| Carga Orgânica Superficial | Kg/ha.d | 129,6 |
| Carga Hidráulica | m³/m² d | 0,043 |
| Tempo de Retenção Hidráulica | d | 4,05 |
| Coefficiente de Velocidade de Degradação | d⁻¹ | 0,329 |
| População Equivalente | Pe | 43 |
| Metros Quadrados/Habitantes | m²/Pe | 4,35 |

A carga orgânica superficial para este sistema no tempo estudado foi de 129,6 kg/ha.d e o tempo de retenção hidráulica é de 4,05 dias. Estes resultados demonstram que o reator localizado na província de Azuay trabalha 1,93 vezes acima da carga orgânica proposta por Metcalf e Eddy (1995) que é 67 Kg/ha.d, ver Tabela 3.

Durante o período de estudo a carga hidráulica do afluente do reator foi de 0,043 m³/m² d, encontrando-se o valor do sistema de trabalho dentro da faixa relatada para este tipo de tratamento (0.014-0.046 m³/m² d) Metcalf e Eddy (1995), ver Tabela 3.

O coeficiente de degradação do sistema (k), considerado a partir de uma cinética de primeira ordem para um reator de escoamento tampão, foi 0,329 k valor de d⁻¹. (Tabela 3).

A análise da população equivalente (ver, Tabela 3) foi determinada depois de fazer uma modificação na equação característica a ser aplicável, seu objetivo foi que possa ser utilizada para as condições do Equador; os dados foram obtidos a partir da regulamentação da Secretaria de Meio Ambiente e IEOS (1992) (Cárdenas, 2008). Os resultados mostram que a população equivalente que pode ser tratada no sistema alagado construído é de 46 habitantes e o número de metros quadrados exigidos per capita é de 4,35 m²/Pe, bem abaixo do valor expresso por Brix, H (1994 c), o que levanta 20 m²/Pe.

CONCLUSÕES

Este trabalho é uma contribuição para os estudos que estão sendo realizado sobre o uso de sistemas alagados construídos no tratamento das águas residuais onde se combinam processos de depuração ou saneamento de natureza física, química e biológica.

- Testes constituem uma contribuição para o conhecimento do funcionamento destes sistemas de tratamento de águas residuais domésticas (esgotos) nas condições de clima temperado em altitudes perto de 3600 metros sobre o nível do mar.
- Os Sistemas Naturais do Tratamento são eficazes na remoção de matéria orgânica, as remoções de DBO e DQO foram de 74% e 80% respectivamente. Os níveis de concentração do efluente durante o tempo todo que realizado o estudo cumpre nos limites de descarga de efluentes admissíveis num corpo de água doce.
- Na remoção de NTK, valores de até 59% foram obtidos apesar das condições climáticas (baixas temperaturas médias ($\pm 8^\circ \text{C}$)) inibirem o crescimento da vegetação propriamente adaptada. As plantas emergentes no sistema estão dispostas ao longo do comprimento e largura dele. Remoções de fósforo de 46% foram alcançadas.
- O percentual de remoção de sólidos foi ST = 28% SDT = 28%, SST = 26%. Por outro lado, um 93% foi obtido em relação à remoção de SS, este parâmetro tinha a característica de que num 58% das amostras no afluente não foram obtidos valores de concentração.
- O nível de remoção do parâmetro óleo e graxas foi de 73%, ele pode ser considerado alto, embora sua concentração inicial fosse muito baixa (5 mg/L).
- As remoções de coliformes foram de 66% para coliformes totais e 73% para coliformes termotolerantes.
- As flutuações nas concentrações dos afluentes não influenciam na remoção de contaminantes, o sistema trabalha em condições de estado estacionário e apresenta uma população microbiana bem adaptada para o ambiente e às características do esgoto a ser tratado, o tempo de retenção hidráulica foi de 4,05 dias.
- O sistema funcionou com carga orgânica de 1,93 vezes maior do que o relatado (Metcalf e Eddy (1995) (67 kg/ha.d)), 129,6 Kg/ha.d. A carga hidráulica (0,043 m³/m²d) se encontra dentro dos intervalos descritos na literatura (Metcalf e Eddy, 1995).
- O coeficiente da constante de degradação (k) de 0.329d⁻¹ fica abaixo de valores estudados e relatados em várias bibliografias. Isto confirma a estreita relação entre a taxa de degradação, temperatura e população microbiana adaptada para o ambiente e as características do esgoto a tratar.
- A área por pessoa servida foi reduzida 4,35 m²/Pe. A literatura relata área equivalente de 20 m²/Pe (Brix H, 1994 c).

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais), ao CNPq, ao DESA-UFMG e à Universidade de Cuenca (Equador) pelo apoio ao desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (RESUMO)

1. Brix, H. Constructed Wetland for municipal wastewater treatment in Europe. Global Wetlands: Old World and New. Misch w.J. (Ed), Elsevier Science. 1994 c.
2. García, J. Estudio de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales. Tesis de Diploma para Ingeniero Químico. González Díaz O. (Tutor). Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE). La Habana, Cuba. 2003.
3. Metcalf & Eddy. Ingeniería de las Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Madrid. Tercera Edición (en español), Ed. McGraw-Hill. 1995.
4. Reed, S C. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment. U S Environmental Protection Agency Washington, D C. EPA 832-r-93-008. 1993
5. USEPA. Subsurface flow constructed Wetlands for wastewater treatment: A Technology Assessment Office of Water. USEPA 832-R_93-008. 1988.