



II-007 - DESEMPENHO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS EM ESCALA PILOTO PARA TRATAMENTO DE LODO PROVENIENTE DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO

Thiago Christian Meira⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC/Videira).

Ana Cristina Costa

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC/Videira).

Débora Peliser

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC/Videira). Especialização em MBA em Gestão Estratégica de Negócios, pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC/Videira). Engenheira responsável técnica da Autarquia Municipal de Saneamento de Fraiburgo – SANEFRAI.

Jean Carlo Salomé dos Santos Menezes

Químico pela Universidade de Passo Fundo (UPF), Mestre e Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPG3M-UFRGS). Professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC/Videira).

Carla Suntti

Engenheira Ambiental pela Universidade do Contestado – UnC/Çador. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Professora da Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC/Videira. Coordenadora do Curso de Engenharia Química (UNOESC/Videira).

Endereço⁽¹⁾: Rua 10 de Setembro, 2509 - Universitário - Videira - SC - CEP: 89560-000 - Brasil - Tel: +55 (49) 8850-0313 - e-mail: thiago_crystian@hotmail.com

RESUMO

O tratamento individual dos despejos domésticos é a opção mais utilizada para tratar o efluente proveniente das residências. O tanque séptico é utilizado como opção de baixo custo e considerável eficiência. Com características variadas o lodo é retirado do tanque séptico, sendo de alto potencial poluidor devido à matéria orgânica presente, gerando dessa forma odores desagradáveis e proliferação de vetores. O lodo proveniente de efluente de tanques sépticos demanda alternativas que visam o tratamento e destinação final adequado, devendo ser tratado para minimizar os impactos ambientais. Este trabalho monitorou um sistema piloto de *wetland* construído, implantado para o tratamento do lodo adensado por um processo físico-químico, sendo que o efluente bruto era proveniente de coletas realizadas pelos caminhões limpa fossa da Autarquia Municipal de Saneamento Fraiburgo – SANEFRAI. O tratamento físico-químico do lodo coletado de tanques sépticos era realizado com a adição de um coagulante vegetal a base de tanino, sendo que o lodo adensado foi aplicando no *wetland* de fluxo vertical, com uma taxa de sólidos totais de 125 kgST.m⁻².ano⁻¹. Os parâmetros físico-químicos analisados e caracterizados no lodo foram: pH, Temperatura, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis, Umidade, Sólidos Sedimentáveis, DQO e Ortofosfato. Os resultados revelaram que o filtro com macrófitas implantado em escala piloto apresentou elevada eficiência em termos de remoção de sólidos suspensos totais (95%), nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato (95 %) ocorrendo a nitrificação no sistema, além de remover em média 99% de DQO e 90 % de ortofosfato. Com relação ao lodo bruto este apresentou 96% de umidade e 4% de sólidos e o lodo adensado apresentou 85% de umidade e 15% de sólidos.

PALAVRAS-CHAVE: Despejos domésticos, Lodo tratamento físico-químico, Tanino, *Wetlands*.

INTRODUÇÃO

No Brasil ainda persiste a carência em infraestrutura de esgotamento sanitário, fazendo com que na grande maioria dos municípios a população adote o tratamento individual de suas excretas, utilizando como sistema o tanque séptico seguido de filtro anaeróbio. Andreoli et al. (2009) descrevem que por não necessitar de mão de

obra especializada, o tanque séptico ou fossa séptica é uma alternativa viável para o tratamento de esgoto in loco, com baixo custo de implantação e operação, podendo ser aplicado nas mais diversas condições topográficas.

Para Jordão e Pessoa (2011) os tanques sépticos são considerados dispositivos de baixo custo, que proporcionam a sedimentação dos sólidos e a retenção do material graxo, transformando bioquimicamente em substâncias e compostos simples e estáveis. Ainda segundo os autores a finalidade da adoção deste sistema é de controlar a poluição e contaminação que seriam lançadas nos corpos hídricos, uma vez que a carga orgânica presente nos esgotos é prejudicial para a qualidade da água. Objetiva-se com a utilização dos tanques sépticos, diminuir esta carga orgânica de modo que o efluente final esteja dentro dos parâmetros recomendados pela legislação.

Philippi (1993) já ressaltava, no entanto, a necessidade de manutenções periódicas desses sistemas, com a finalidade de remover o lodo acumulado no interior dos tanques sépticos de modo que estes tanques não passassem a funcionar como uma caixa de passagem.

As coletas de resíduos de tanques sépticos, filtros anaeróbios e sumidouros no município de Fraiburgo são realizadas pela Autarquia Municipal de Saneamento de Fraiburgo – SANEFRAI. A limpeza destes sistemas é efetuada por um caminhão limpa fossa, sendo que o material coletado é descarregado na estação de tratamento de efluentes (ETE) do bairro Jardim América.

Até o ano de 2013, a SANEFRAI tratava os resíduos coletados pelo caminhão limpa fossa na ETE do próprio aterro sanitário, em conjunto com o lixiviado, elevando a vazão e aumentando significativamente a concentração de sólidos no sistema, o qual não foi dimensionado para receber esse tipo de material. Em vistas destas condições, o efluente não atendia aos padrões legais de lançamento. Com isso, houve a necessidade de implantar um novo sistema, onde o efluente coletado fosse submetido a um tratamento físico-químico para a separação da fase sólida da líquida.

Imhoff (1996) relata que o tratamento físico-químico aumenta a velocidade de sedimentação das partículas presentes no efluente por meio de agentes químicos. Jordão e Pessoa (2011) afirmam que nesses processos é possível obter remoção de parte da matéria orgânica por sedimentação e precipitação química – não mais que 37% e 55% da Demanda Bioquímica de Oxigênio, respectivamente.

A utilização dos agentes químicos, denominados de coagulantes, proporciona a precipitação dos sólidos que estão suspensos e que não sedimentam, bem como a parcela das partículas coloidais presentes no lodo. (IMHOFF, 1996).

Segundo Mangrich et al (2014) uma alternativa aos reagentes químicos utilizados largamente pelas companhias de saneamento tem sido a utilização de polímeros catiônicos orgânicos preparados a partir de produtos naturais, como o tanino extraído da *Acacia mearnsii* de Wildemann, ou acácia negra, planta de origem australiana.

Dessa forma a SANEFRAI fez a construção de um sistema para tratamento físico-químico utilizando tanino como coagulante. Desde 2014 o lodo adensado produzido é encaminhado para leitos de secagem, com objetivo de desaguamento e em seguida é removido manualmente e depositado no aterro sanitário da própria empresa. Esse procedimento, porém, demanda muita mão-de-obra, além da demora para a secagem do material em períodos chuvosos.

Como alternativa complementar elencou-se a construção de um sistema denominado *wetland* construído, o qual segundo Suntti, Magri e Philippi (2011) constitui-se em uma adaptação dos leitos de secagem, onde tem-se a junção das macrófitas ao meio filtrante proporcionando o desaguamento e a mineralização dos resíduos sépticos. Esse fenômeno acontece, pois as macrófitas possibilitam boas condições para o processo físico de filtração, realizando a transferência de oxigênio ao leito e permitindo um aumento na evapotranspiração do lodo, além de influenciar no processo de secagem e mineralização do mesmo. Os referidos autores destacam ainda que é um sistema vantajoso tanto do ponto de vista econômico como ecológico para o tratamento e

desaguamento do lodo, uma vez que se constitui a uma tecnologia simples sob o aspecto construtivo e operacional em relação aos demais processos que são utilizados para a mesma finalidade.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo, foi a implantação e o monitoramento de um *wetlands* construído em escala piloto para o tratamento do lodo proveniente do tratamento físico-químico dos resíduos coletados por caminhões limpa fossa no município de Fraiburgo/SC.

MÁTERIAIS E MÉTODOS

DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL E LOCAL DA PESQUISA

A SANEFRAI é responsável pelo saneamento do município de Fraiburgo, oferecendo serviços de captação, tratamento e distribuição de água, coleta, tratamento e destinação final de esgoto, manutenção de redes de drenagem pluvial e coleta e disposição final de resíduos sólidos, também oferece o serviço de coleta e tratamento de resíduos de tanques sépticos e filtros anaeróbios.

O lodo utilizado para o estudo é proveniente do tratamento físico-químico dos resíduos coletados pelos caminhões limpa fossa do município de Fraiburgo-SC. O sistema implantado pela SANEFRAI para tratar os resíduos de tanques sépticos é composto por um tratamento preliminar, onde são removidos os sólidos grosseiros por um processo de gradeamento, o efluente então, é direcionado para os flocculantes, onde é adicionado o coagulante vegetal a base de tanino, para que os flocos menores se aglutinem ficando dessa forma mais densos e com melhor sedimentabilidade. Assim, a fase sólida deposita-se no fundo sendo separada da fase líquida pela diferença de densidade.

O sobrenadante segue para um tanque pulmão e posteriormente para um tratamento biológico, o qual trata em conjunto o esgoto sanitário do bairro Jardim América. O lodo é disposto em leitos de secagem e, após estar seco, é encaminhado ao aterro sanitário do município.

Para a realização do estudo, utilizou-se uma parcela do lodo adensado para a alimentação do *wetland* construído, o qual foi implantado em escala piloto, constituído por um tanque de fibra de vidro com diâmetro de 2,5m e altura de 1,35m.

Neste tanque foi instalada uma tubulação de 40 mm de diâmetro de forma horizontal na base, para coleta do líquido percolado e outra tubulação foi conectada nesta, porém no sentido vertical para permitir a circulação natural de ar no leito. O material filtrante do *wetland* foi composto por uma camada de 40cm de brita nº 2 na base, sobre esta uma camada foi adicionado 20cm de brita nº 3/4 e a terceira camada era composta por 10cm de areia grossa. Sobre o material de recheio foram plantadas 10 mudas por metro quadrado de macrófitas do tipo emergentes (*Junco*).

Depois de construído, o *wetland* de fluxo vertical passou por um período de aclimação, no qual 15 dias o mesmo foi alimentado com o sobrenadante dos flocculantes, sendo aplicado uma taxa de 50 mm de efluente ao dia. A alimentação era realizada no topo do *wetland* de forma controlada para não revolver as camadas filtrantes.

Após esse período, a taxa de aplicação do lodo adensado pelo processo físico-químico foi de 125 KgST.m⁻².ano⁻¹, aproximadamente 440L semanais.

Na Figura 1 é apresentado as diferentes camadas do *wetland* bem como o *Junco* utilizado no leito, a fase de alimentação e o sistema alimentado com lodo.



$\varnothing = 2,5m$ $A = 4,9m^2$

Pedra = 0,4m

Pedrisco = 0,2m

Areia = 0,1m



Junco

Aclimação: 50mm/d

440 litros Lodo

Wetlands

Figura 1: Camadas do leito filtrante e sistema pronto.

Após a alimentação, o lodo permanecia no sistema durante seis dias, então o percolado era coletado, deixando o mesmo escoar completamente durante um dia, para realizar a nova alimentação no sétimo dia, reiniciando o ciclo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de tratamento do lodo foi monitorado durante os meses de setembro e outubro de 2016, com amostragem no lodo bruto, no lodo adensado, no sobrenadante e no líquido percolado. Os resultados da operação e monitoramento do sistema estão apresentados na tabela 1.

De acordo com os dados apresentados na tabela 1 pode-se observar a grande variabilidade nas características do lodo bruto e adensado, contudo sabe-se que isso é uma característica inerente a esse tipo de efluente. (ANDREOLI, 2009).

Os valores médios obtidos com o monitoramento semanal do parâmetro pH nos diferentes pontos amostrados, demonstram que não houve grandes variações, inclusive no lodo bruto. A média do pH no líquido percolado foi 6,98, próximo a neutralidade, não prejudicando o desenvolvimento das bactérias no tratamento biológico do efluente, e estando de acordo com a resolução 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) a qual estabelece que o valor de pH deve ficar na faixa de 5 a 9.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros analisados

PARÂMETROS	Lodo Bruto	Lodo Adensado	Sobrenadante	Líquido Percolado
	Méd. ± Desv. Padrão	Méd. ± Desv. Padrão	Méd. ± Desv. Padrão	Méd. ± Desv. Padrão
	Máximo-Mínimo	Máximo-Mínimo	Máximo-Mínimo	Máximo-Mínimo
pH	7,09 ± 0,42	7,24 ± 0,12	7,24 ± 0,26	6,98 ± 0,27
	7,46-6,40	7,46-7,06	7,47-6,63	7,21-6,54
	n= 6	n= 8	n= 7	n= 6
Temp. °C	23,30 ± 0,59	23,32 ± 0,68	21,66 ± 2,69	23,19 ± 0,63
	24,10 - 22,40	24,50 - 22,40	24 - 17,90	24,00 - 22,10
	n= 6	n= 6	n= 7	n= 6
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	184,28 ± 57,57	177,67 ± 63,03	140,88 ± 64,51	8,93 ± 3,76
	275,75 - 118,33	284,67 - 112,58	221,58 - 24,03	12,77 - 4,27
	n= 5	n= 5	n= 5	n= 5
Nitrogênio Nitrito (mg.L ⁻¹)	2,15 ± 1,05	1,50 ± 1,54	0,91 ± 0,81	4,36 ± 4,42
	3,91 - 0,88	4,54 - 0,45	2,54 - 0,27	12,18 - 0,22
	n= 6	n= 6	n= 7	n= 6
Nitrogênio Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,75 ± 1,21	2,85 ± 2,45	0,72 ± 0,43	27,93 ± 6,08
	3,88 - 0,59	6,36 - 0,83	1,56 - 0,18	34,91 - 18,68
	n= 5	n= 6	n= 6	n= 5
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	4481,94 ± 3888,25	15784,33 ± 22924,93	867,33 ± 187,95	829,17 ± 449,41
	10598,33 - 998,33	54146,67 - 1310,00	1284,00 - 680,00	1435,00 - 653,33
	n= 6	n= 6	n= 7	n= 6
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	2985,56 ± 2407,27	10448,00 ± 15984,35	-	-
	6468,33 - 811,67	37848,33 - 873,33	-	-
	n= 6	n= 6	-	-
Sólidos Suspensos Fixos (mg.L ⁻¹)	1746,67 ± 1539,02	5336,33 ± 7073,88	-	-
	4130,00 - 593,33	16298,33 - 436,67	-	-
	n= 6	n= 6	-	-
Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	878,33 ± 298,02	980,00 ± 44,72	0,06 ± 0,18	0,00 ± 0,00
	1000,00 - 270,00	1000,00 - 900,00	0,50 - 0,00	0,00 - 0,00
	n= 6	n= 6	n= 6	n= 6
Ortofosfato (mg.L ⁻¹)	53,18 ± 26,57	36,51 ± 22,18	30,56 ± 25,98	3,38 ± 2,01
	90,13 - 24,85	80,15 - 20,67	81,30 - 8,46	5,80 - 0,57
	n= 6	n= 6	n= 7	n= 6
DQO (mg.L ⁻¹)	4993,63 ± 1645,80	14142,84 ± 16330,40	443,13 ± 157,24	74,45 ± 42,17
	7446,50 - 4295,50	37496,00 - 1345,75	577,36 - 243,88	126,40 - 23,11
	n= 4	n= 4	n= 4	n= 3

REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Na figura 2 são apresentados os sólidos sedimentáveis presentes no lodo bruto e adensado, onde a concentração média foi de 878,33 e 824,17 mL.L⁻¹ respectivamente.

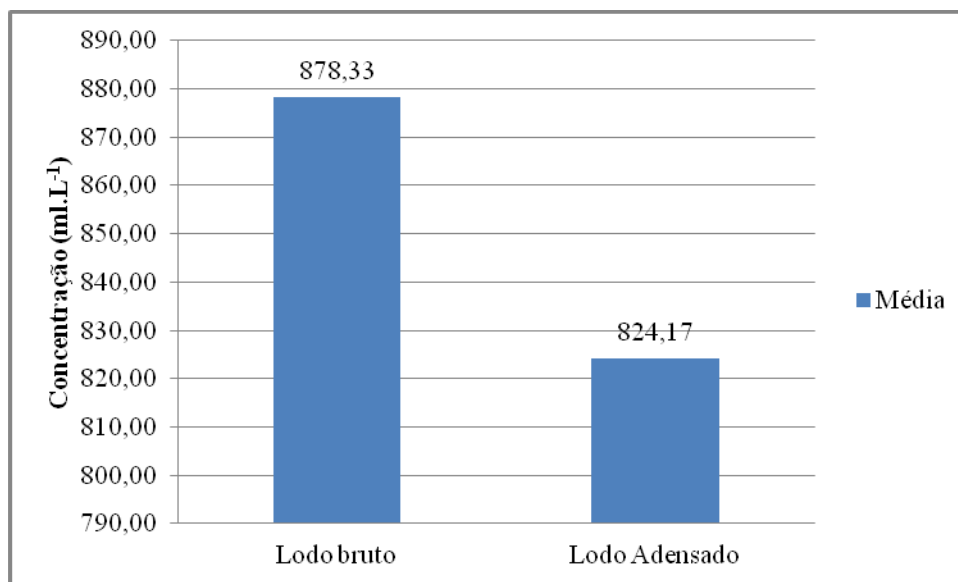


Figura 2: Concentração média de Sólidos Sedimentáveis.

Segundo o CONAMA, Resolução 430 (2011) sobre os materiais sedimentáveis é permitido “até 1 mL.L⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff, para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes”. Isso indica que estes lodos não poderiam ser lançados no corpo hídrico sem nenhum tratamento. Observa-se, contudo, conforme apresentado na tabela 1 que o líquido percolado do *wetland* não obteve concentração de sólidos, com eficiência de 100% de remoção estando de acordo com o padrão de lançamento da legislação vigente.

Na figura 3 verifica-se que o percentual de sólidos no lodo bruto foi de 4%, enquanto uma significativa parcela foi referente a umidade presente no mesmo com média de 96%.

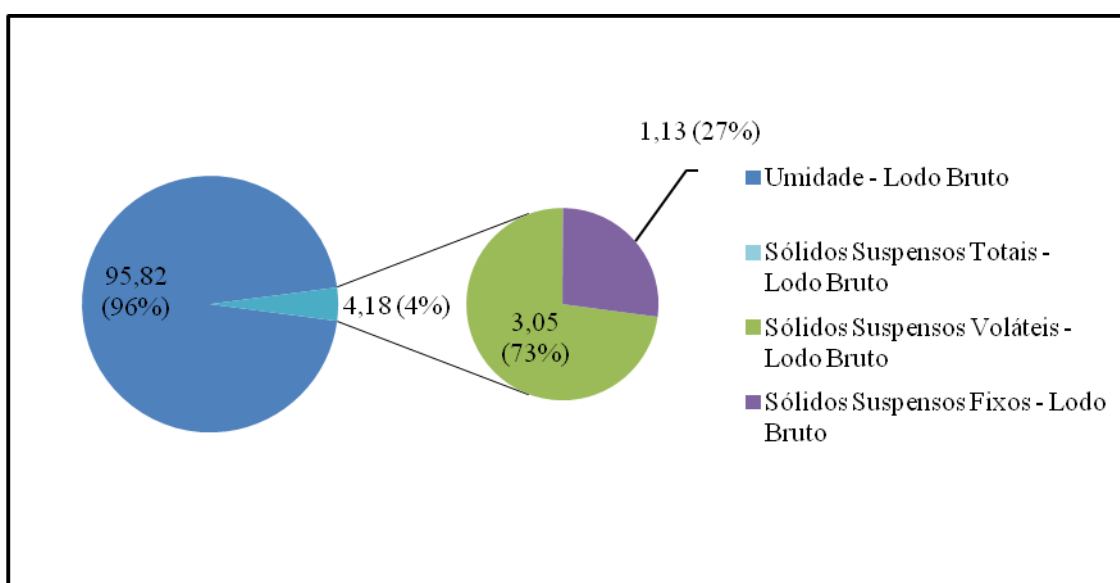


Figura 3: Concentração de Umidade, Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis Lodo Bruto, em %.

Pode ser verificado, que o lodo bruto apresentou uma elevada concentração de sólidos se comparada com a de esgoto doméstico, onde a porcentagem de sólidos não atinge 1% (VON SPERLING, 2005). Devido ao lodo ser proveniente de diferentes residências, até mesmo escolas, a concentração de sólidos pode variar de acordo com a atividade exercida no empreendimento e o intervalo de limpeza do tanque séptico.

Verifica-se ainda que dos 4% de sólidos, 73% são de sólidos voláteis (fração orgânica), enquanto os 27% representam a parcela de sólidos fixos (fração inorgânica). Algumas frações de sólidos podem ser relacionadas, fornecendo informações importantes, como por exemplo, a relação entre Sólidos Voláteis e Sólidos Totais (SV/ST), que representa o grau de mineralização de um lodo (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Esse percentual encontrado indica que o lodo analisado ainda precisa passar por um processo de estabilização visando remover essa parcela de sólidos voláteis, o que poderá ser conseguido no *wetland* com um maior tempo de monitoramento, onde haverá um acúmulo do lodo na camada do leito o qual poderá ser utilizado como adubo, desde que atinja os parâmetros estabelecidos pela legislação quanto a sua segurança sanitária.

Na figura 4, é apresentado os resultados referente a concentração de sólidos e umidade do lodo adensado. Na referida figura é possível verificar a eficiência do processo físico-químico, sendo que o lodo adensado atingiu uma concentração média de 15% de sólidos suspensos totais, atribuídos a ação do coagulante utilizado.

Para exemplificar, de cada 14m³ de lodo bruto submetido ao processo físico-químico, de 1,0 a 3,5m³ tornava-se lodo adensado e de 10,5m³ a 13m³ tornava-se sobrenadante clarificado.

A porcentagem média da umidade no lodo adensado foi de 85%, sólidos suspensos totais 15 %, sendo destes 11% voláteis e 4 % de fixos.

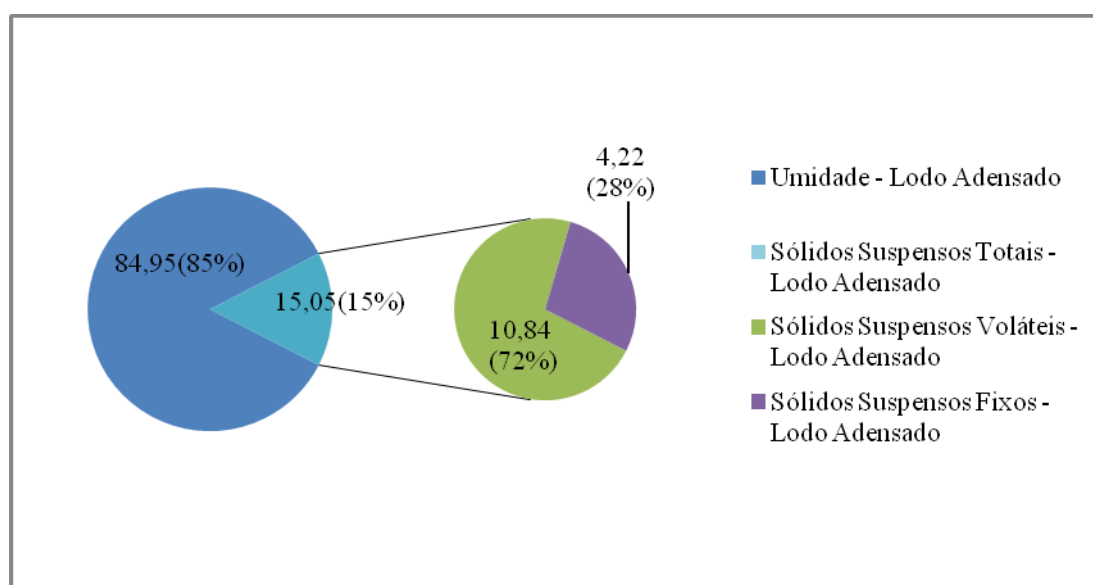


Figura 4: Concentração de Umidade, Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis Lodo Adensado.

Na figura 5 é apresentado a concentração média dos sólidos suspensos totais avaliados no sistema. Verifica-se que houve um aumento na concentração de sólidos do lodo bruto para o lodo adensado, o que já era de se esperar devido ao princípio do processo de coagulação-floculação.

Observa-se ainda que a concentração do lodo adensado afluente ao *wetland* foi de 15784,33 mg.L⁻¹, enquanto o líquido percolado apresentou uma concentração de 829,17 mg.L⁻¹. A figura 5 também permite verificar a elevada eficiência do *wetland* na retenção de sólidos, o qual apresentou uma remoção média de 95%, embora essa eficiência seja elevada é necessário ainda atingir menores concentrações desse parâmetro, o que pode ser atingido com um tempo maior de monitoramento.

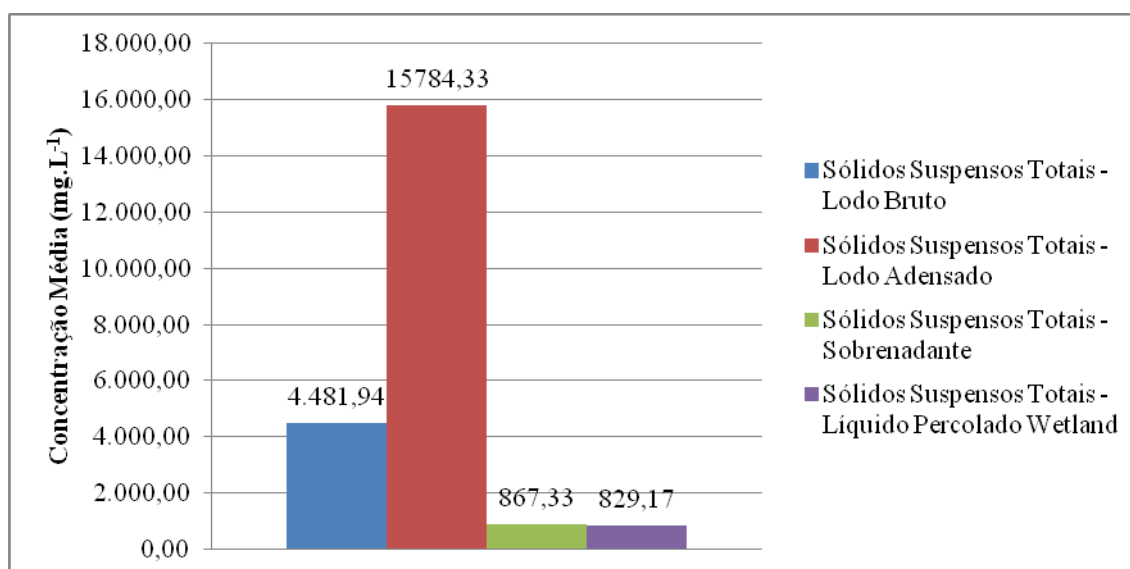


Figura 5: Concentração Média de Sólidos Suspensos Totais.

A matéria orgânica foi mensurada pelos parâmetros de DQO e sólidos suspensos totais. Conforme apresentado na tabela 1 o lodo bruto possui uma concentração média de 4993,63 mg.L⁻¹, enquanto o lodo adensado essa concentração variou de 1345,75 até 37496,00 mg.L⁻¹. Essa grande variabilidade na concentração da amostra adensada pode ter ocorrido em função das características do efluente, devido o mesmo ser proveniente de coletas realizadas em locais como, sumidouro, fossas sépticas e lagoas anaeróbias. Em relação ao líquido percolado do *wetland* sua concentração média foi de 74,45 mg.L⁻¹, mesmo apresentando essa grande variabilidade afluente o *wetland* apresentou uma elevada eficiência em termos de remoção, com média de 99,44%. Os resultados do monitoramento de DQO podem ser visualizados na figura 6.

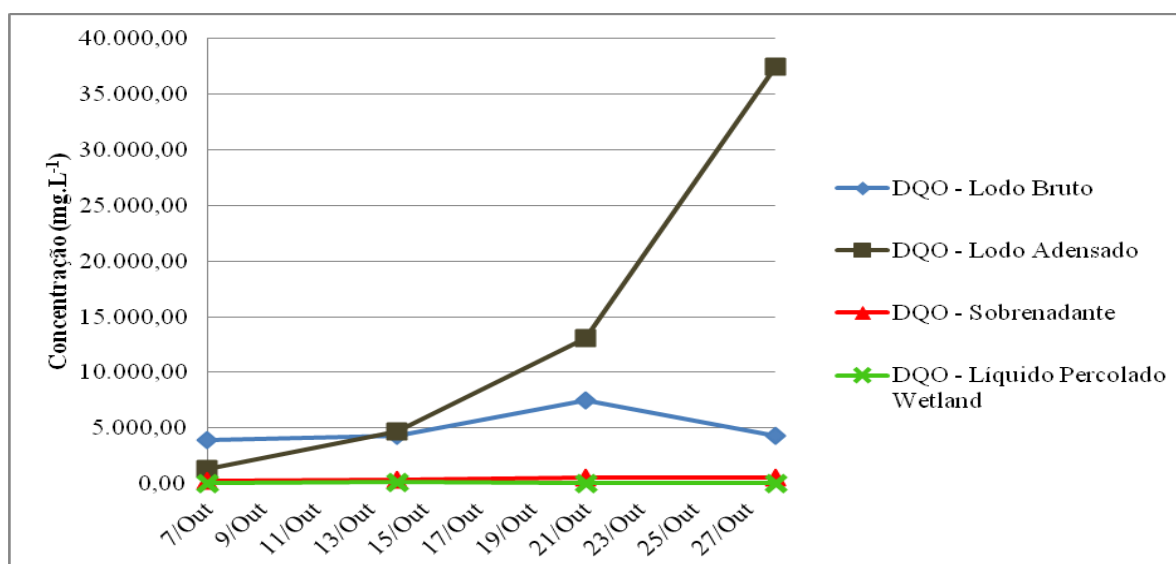


Figura 6: Concentração de Demanda Química de Oxigênio.

De acordo com a figura 6, observa-se que a DQO do dia 07 outubro do lodo adensado foi inferior ao lodo bruto, isso ocorreu devido ao ponto de coleta no floccodcantador não ser no fundo do tanque, sendo que o lodo adensou abaixo do ponto de coleta misturando com o sobrenadante.

Suntti, Magri e Philippi, (2011) em sua pesquisa sobre filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical (*wetlands*) aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico, verificaram que os filtros

apresentaram bom desempenho na remoção da matéria orgânica presente no lodo, com 99% de eficiência de remoção de DQ) para o filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical alimentado com uma taxa de $250\text{kgST.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}$ e 94% para o filtro alimentado com $125\text{kgST.m}^{-2}\text{.ano}^{-1}$, mesma taxa aplicada nessa pesquisa. Ao fazer um comparativo com esta pesquisa pode-se verificar que o *wetland* estudado apresentou uma eficiência ligeiramente superior, o que poderia ter sido em função do processo físico químico utilizado a base de coagulante vegetal.

REMOÇÃO DA SÉRIE NITROGENADA

Os valores médios obtidos com o monitoramento semanal do parâmetro de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, dos quatro pontos de amostragem, estão representados na figura 7. Para melhor visualização dos resultados fez-se a soma da série nitrogenada (Amônia + Nitrito + Nitrato), somente para o líquido percolado optou-se em apresentar separado a Amônia do Nitrito + Nitrato.

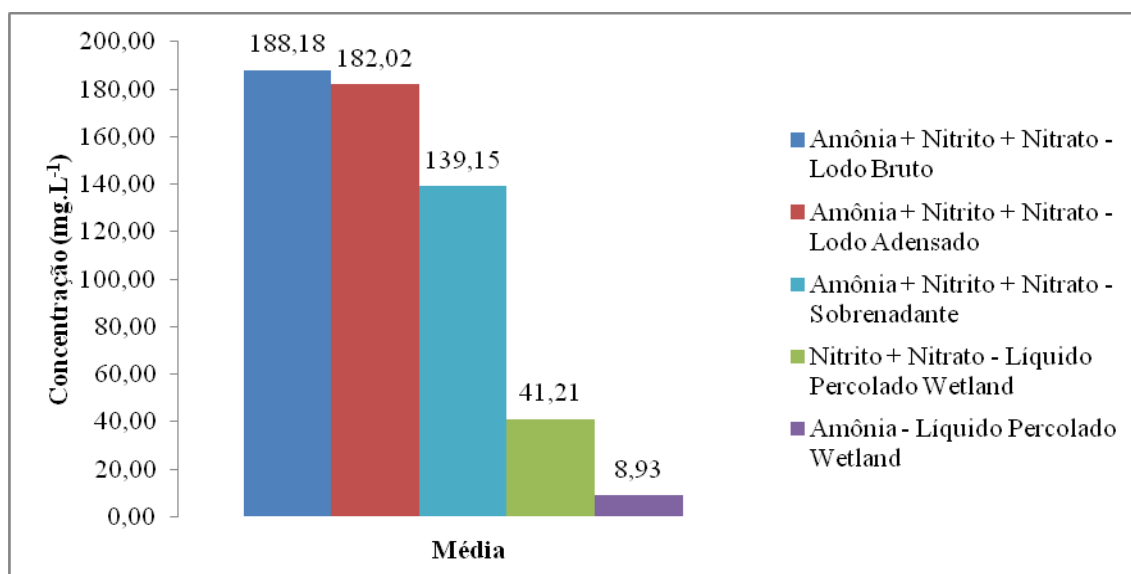


Figura 7: Concentração de Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato.

Conforme a figura 7, pode ser verificado que ao longo do período de monitoramento o lodo bruto apresentou uma alta concentração de amônia, com uma média de $184,28\text{mg.L}^{-1}$. Em relação ao lodo adensado percebe-se uma pequena redução nessa concentração, atingindo uma média de $177,67\text{mg.L}^{-1}$. Em relação ao líquido percolado do *wetland*, verifica-se que ocorreu remoção significativa nas formas de nitrogênio amoniacal, sendo que o efluente final teve uma concentração média de $8,93\text{mg.L}^{-1}$, atingindo uma remoção média de 95,15%. Segundo a resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) a concentração de nitrogênio amoniacal deve ser de até $20,0\text{mg.L}^{-1}$, demonstrando que o efluente final atende a exigência legal.

Segundo Haiml (2014) em sua pesquisa o lodo bruto, apresentou uma concentração média de amônia de $85,8\text{mg.L}^{-1}$. Na sua pesquisa foi estudado *wetlands* plantados com Junco, Papiro e Taboa, atingindo uma boa remoção deste nutriente, com concentrações em 10,9; 10,2 e $10,6\text{mg.L}^{-1}$ respectivamente, e eficiência de 87% no *wetland* Junco e Taboa e 88% no Papiro. Ainda segundo a autora, observa-se que estas reações ocorrem porque o *wetland* construído possui um meio filtrante em que permite a fixação de biomassa o que propicia a remoção destes compostos, além da necessidade do nitrogênio para o desenvolvimento das plantas, contribuindo para a remoção deste nutriente.

Serafini (2014) em seu sistema de *wetland* construído alimentado com lodo bruto proveniente de limpa fossa, verificou uma remoção de nitrogênio amoniacal na ordem de 51,5%, eficiência superior quando comparado a sistemas convencionais. A eficiência na remoção encontrada nesta pesquisa pode ter ocorrido devido ao tempo de aclimação e monitoramento, e o não desenvolvimento total das plantas.

As concentrações médias de nitrato + nitrito no efluente de lodo bruto, adensado, sobrenadante e líquido percolado do *wetland* foram de 3,90; 4,35; 1,71 e 32,29mg.L⁻¹, respectivamente.

Pode-se verificar um aumento na concentração de nitrato + nitrito no líquido percolado, o que evidencia o desenvolvimento do processo de nitrificação.

O nitrato e o nitrito residual demonstram que ocorreu a nitrificação, e a baixa concentração de amônia no líquido percolado pode evidenciar que uma parcela significativa tenha ficado no leito filtrante ou até mesmo no lodo acumulado.

Para que o processo de nitrificação ocorra há a necessidade de oxigênio no meio, o qual neste processo é fornecido pela convecção e difusão atmosférica (PHILIPPI; SEZERINO 2004) durante a alimentação do *wetland* com lodo e pelas raízes das plantas. Esse aporte de oxigênio durante a alimentação pode ter sido o propulsor do processo de nitrificação no leito, porém as macrófitas também requerem nitrogênio para o seu desenvolvimento, as quais podem ter incorporado parte da concentração deste nutriente na sua biomassa.

Apesar dos elevados níveis de nitrato, um processo posterior com adição de uma fonte externa de carbono e ambientes anóxicos, seria necessário para remover esse residual restante.

REMOÇÃO DE FÓSFORO

Uma remoção significativa de ortofosfato (figura 8) era esperada visto que o fósforo é um macro nutriente essencial para o desenvolvimento de plantas e microrganismos. (PHILIPPI; SEZERINO 2004). Conforme apresentado na figura 8, verifica-se entradas médias de 36,51mg.L⁻¹ e saída 3,38 mg.L⁻¹, apresentando uma eficiência de 90,73% de remoção. Esses elevados níveis de remoção podem ser justificados pela assimilação das plantas, acúmulo do lodo seco no topo da camada filtrante, bem como a diluição do efluente devido às elevadas precipitações.

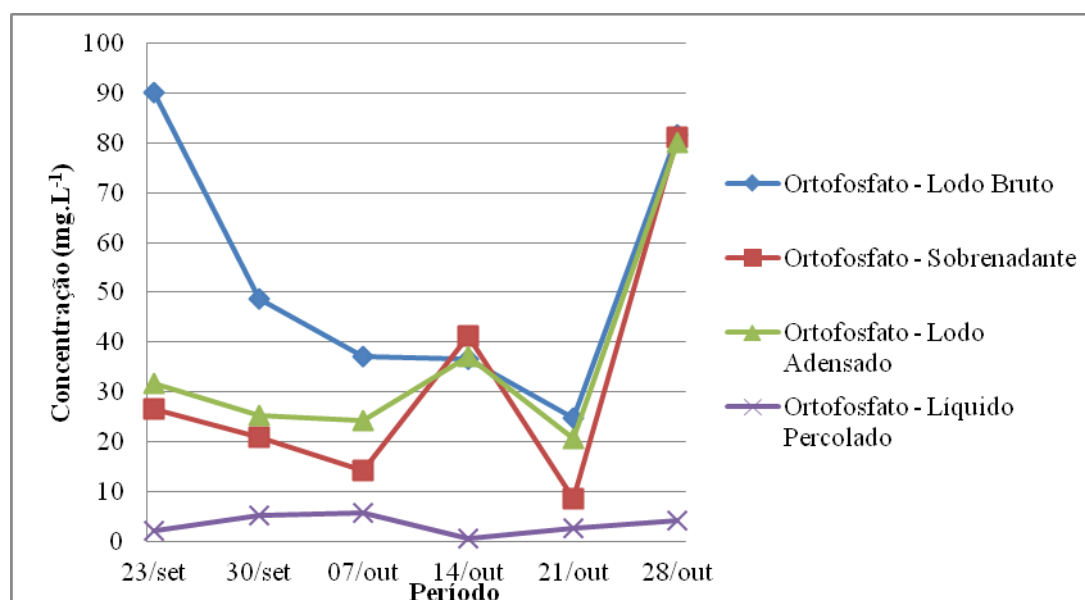


Figura 8: Concentração de Ortofosfato.

Segundo Travani de Lima (2011) em seu projeto desenvolvido sobre a capacidade de retenção e dinâmica de um *wetland* construído no tratamento de águas residuais, a carga média de ortofosfato na entrada do sistema foi de 27,7 mg.min⁻¹ na seca e 51,2 mg.min⁻¹ na chuva, com remoção média de 81% e 52%. A autora conclui que as maiores taxas de eficiência de remoção obtidas tanto para dados de concentração como de carga, ocorreram para o período seco.

CONCLUSÃO

As amostras de lodo bruto analisadas apresentaram elevados desvios padrões na maioria dos parâmetros ao longo do período de análises, devido aos efluentes serem coletados pelos caminhões limpa fossa de locais como sumidouros, tanques sépticos e filtros anaeróbios, mudando dessa forma as características do lodo dependendo do local de sua coleta.

O tanino por ser um coagulante vegetal demonstrou alta eficiência na aglutinação de partículas formando um lodo realmente adensado deixando o mesmo mais espesso e com menos umidade.

O tratamento do lodo adensado no *wetland* construído foi eficiente em todos os parâmetros analisados removendo poluentes orgânicos e inorgânicos, com percentual de remoção elevado de ortofosfato (91%), DQO (99%), sólidos suspensos totais (95%), sólidos sedimentáveis (100%), nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato (95%), realizando a nitrificação em apenas um sistema, sendo que seu percolado atendeu as normas de padrões de lançamento de acordo com as legislações vigentes.

O *wetland* construído pode ser implantado em escala real visto que não causa impactos ambientais, é de baixo custo de implantação e fácil operação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V. et al. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento gerenciamento e destino final**. Lodo de fossa séptica. Rio de Janeiro: ABES; Projeto PROSAB, 2009.
2. ANDREOLI, C.V.; VONSPERLING, M.; FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001.
3. APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21. ed. Washington: APHA, 2006
4. AUTARQUIA MUNICIPAL DE SANEAMENTO FRAIBURGO - SANEFRAI. **Sistema de esgoto sanitário operando em Fraiburgo**, 2014. Disponível em: www.sanefrai.sc.gov.br/#getContent?idref=69.
5. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº430**. Brasília, 2011.
6. CASTRO-SILVA, M. A. et al. **Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulantes orgânicos vegetais (tanato quaternário de amônio)–I**. microrganismos filamentosos. Revista Estudos de Biologia, v. 26, n. 54, p. 21-27, 2004.
7. HAIML, C. **Operação de wetlands construídos para desaguamento de lodo com recirculação: características dos efluentes produzidos**. Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico. Florianópolis, 2014.
8. IMHOFF, Karl; IMHOFF, Klaus R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Blücher, 1996.
9. JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. 4. Ed. Belo Horizonte_ Segrac Editora, 2005. v. 1. 906 p.
10. JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. 6. Ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.
11. MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. **Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii***. Revista Virtual de Química, v. 6, p. 2-15, 2014.
12. PELEGRINO, Eloá Cristina Figueirinha. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
13. PHILIPPI, L.S. **Funcionamento de fossas sépticas em condições reais: volume e acumulação de lodo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17, Natal. Anais... Natal: ABES, v. 2, tomo I, p. 633-642, 1993.
14. PHILIPPI, L.S; SEZERINO, P.H. **Aplicação de Sistemas tipo Wetlands no tratamento de Águas Residuárias: Utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis-SC. Ed. Do Autor. 2004. p 144.



15. SERAFINI, Jessica. **Tratamento de lodo proveniente de limpezas de tanques sépticos em *wetland* construído em escala piloto**. Videira, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira, 2014).
16. SOLANO, M.L.; SORIANO, P.; CIRIA, M. P. **Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages**. Biosystems Engineering, v.87, n.1, p.109-118, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511003001922>> Acesso em: 22 jun. 2015.
17. SUNTTI, C.; MAGRI, M.E.; PHILIPPI, L. S. **Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico**. Florianópolis: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; SIELO; Grupo de estudo em saneamento descentralizado, 2011.
18. TRAVAINI-LIMA, Fernanda. **Capacidade de retenção e dinâmica de um *wetland* construído no tratamento de águas residuais**. 2011.
19. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.