

VI-067 – ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L) EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Ramiro Pereira Bisognin⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Mestrando em Tecnologia Ambiental na UNISC. Pós Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho na UNISC.

Deivid Ismael Kern⁽²⁾

Biólogo, especialista em biologia animal e vegetal pela UNISC. Mestrando em Tecnologia Ambiental na UNISC.

Robson Evaldo Gehlen Bohrer⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela UNISC. Mestrando em Tecnologia Ambiental na UNISC. Pós Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho na UNISC.

Ênio Leandro Machado⁽⁴⁾

Químico Industrial pela UFSM. Mestre em Química pela UFSM. Doutor em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais pela UFRGS. Professor do Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental (PPGTA) – Mestrado, UNISC.

Adriane Lawisch Rodriguez⁽⁵⁾

Engenheira Química pela PUC. Mestre em Engenharia Química pela UFRGS. Doutora em Engenharia pela TU-Berling. Professora do PPGTA – Mestrado, UNISC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Aquidabam, 795 - Centro – Encruzilhada do Sul – Rio Grande do Sul - CEP: 96610-000 - Brasil - Tel: (51) 84570958 - e-mail: ramirobisognin@yahoo.com.br

RESUMO

Conceitualmente “*Produção Mais Limpa*” é definida como sendo uma aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, com a finalidade de aumentar a eficiência no consumo de matérias primas e minimizar ou reciclar os resíduos gerados em um processo produtivo. Por apresentar muitas vantagens quando comparada às “*tecnologias de fim de tudo*” e ter sua origem ligada a aplicações em processos produtivos, trabalhos que enfocam aplicação de P+L em sistemas de tratamento de efluentes ainda são incipientes. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo analisar a potencialidade de aplicação de ferramentas de P+L na avaliação de sistemas de tratamento de efluentes de um campus universitário, a fim de identificar as etapas do processo que apresentam maior impacto ambiental, priorizando ações e medidas de minimização e redução de impactos. Para isso, metodologias definidas pelo CNTL/SENAI foram adotadas e, através de uma caracterização geral da área de estudo, foram listados e identificados os principais impactos ambientais ocorrentes sobre o processo de tratamento. Adotou-se como critério de priorização de impactos a severidade dos aspectos de saída e para os aspectos de entrada considerou-se a representatividade do consumo de insumos e matérias primas atribuindo a severidade. Os impactos ambientais foram avaliados considerando a existência de requisitos legais e medidas de controle. A priorização de impactos sobre o sistema foi definida através do somatório das avaliações quali-quantitativas da importância dos impactos, requisitos legais e medidas de controle “ $R = I + RL + MC$ ”. Os resultados da avaliação indicaram que as maiores pontuações da priorização de impactos estiveram relacionadas com as gerações de gases do reator UASB, geração de gases do biofiltro, incômodo as partes interessadas, consumo de energia por motores elétricos, e composição do efluente final (que não atende os parâmetros nitrogênio, fósforo, coliformes termotolerantes e ecotoxicidade). Em suma, as análises demonstraram que a aplicação da P+L em sistemas de tratamento mostrou-se promissora, sendo capaz de auxiliar na minimização de alguns impactos com pequenas propostas de melhorias e adequações de funcionamento.

PLAVRAS-CHAVES: Produção mais Limpa, tratamento de efluentes, UASB, biofiltro, impactos ambientais.

INTRODUÇÃO

Em 1989, a expressão “Produção Mais Limpa” foi lançada pela UNEP (*United Nations Environment Program*) e pela DTIE (*Division of Technology, Industry and Environment*) como sendo a aplicação contínua de uma estratégia integrada de prevenção ambiental a processos, produtos e serviços, visando o aumento da eficiência da produção e a redução dos riscos para o homem e o meio ambiente. A indústria brasileira descobre a Produção Mais Limpa na década de noventa, mais precisamente após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio 92.

A partir desse novo paradigma, a poluição ambiental passa a ser sinônimo de desperdício nas empresas responsáveis, e seus processos passam por mudanças que buscam diminuir o consumo de água, energia e matérias-primas (ARGENTA, 2007).

Fernandes et al., (2001) define a Produção Mais Limpa como sendo uma aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Produção Mais Limpa também pode ser chamada de Prevenção da Poluição, já que as técnicas utilizadas são basicamente as mesmas.

A Produção Mais Limpa é vista entre os especialistas como uma forma moderna de tratar as questões de meio ambiente nos processos industriais. Dentro desta metodologia pergunta-se “onde estão sendo gerados os resíduos?” e não mais somente “o que fazer com os resíduos gerados?”. Dessa forma, evita-se o desperdício, tornando o processo mais eficiente (HENRIQUES e QUELHAS, 2007).

De acordo com Lerípio (2001), os princípios de P+L surgiram nos anos 80, sendo esta, uma campanha para mudança mais profunda do comportamento industrial. Na busca de definir um sistema de produção industrial que incorporasse a variável ambiental em todas as fases produtivas, tendo como foco principal a prevenção na geração de resíduos, o Greenpeace descreveu algumas características que a organização “limpa” deveria buscar. Conforme Fundação Vanzolini são elas:

- a auto-sustentabilidade de fontes renováveis de matéria-prima;
- a redução no consumo de água e energia;
- a prevenção da geração de resíduos tóxicos e perigosos na fonte de produção;
- a reutilização e reaproveitamento de materiais por reciclagem de maneira atóxica e energia eficiente;
- a geração de produtos de vida útil longa, seguros e atóxicos, para o homem e meio ambiente, cujos restos (incluindo embalagens) tenham reaproveitamento atóxico;
- a reciclagem (na planta industrial ou fora dela) de maneira atóxica como alternativa para as opções de manejo ambiental representadas por incineração e despejo em aterros.

Conforme o CNTL (2004), a implantação de técnicas de P+L em processos produtivos permite a obtenção de soluções que venham a contribuir para a solução definitiva dos problemas ambientais, já que a prioridade da metodologia está baseada na identificação de opções de não geração dos resíduos.

De acordo com o CNTL (2002), a Produção mais Limpa apresenta várias vantagens quando comparada às tecnologias de fim de tubo (tecnologias estas que se preocupam somente em sanar os impactos ambientais dos resíduos através do tratamento após sua geração, apenas tentando remediar o mal causado, ao invés de adotar a prevenção), sendo elas:

- a. Redução da quantidade de materiais e energia usados, apresentando assim um potencial para soluções econômicas;
- b. A minimização da geração de resíduos, efluentes e emissões gasosas;
- c. A responsabilidade pode ser assumida para o processo de produção como um todo e os riscos no campo das obrigações ambientais e da disposição de resíduos podem ser minimizados.

Com base nesses conceitos de Produção Mais Limpa, este trabalho tem por objetivo analisar o sistema de tratamento de efluentes adotado na Universidade de Santa Cruz do Sul a fim de identificar as etapas do processo que apresentam maior impacto ambiental, priorizando ações e medidas de minimização e redução a serem adotadas para tais impactos.

METODOLOGIA

Caracterização do ambiente de estudo

A estação de tratamento de efluentes (ETE) da UNISC se destina ao tratamento das águas amarelas, compostas principalmente por urinas, e também as águas negras, provenientes das descargas dos vasos sanitários, coletadas de todos os banheiros da instituição. A condução do efluente até a estação de tratamento é feita por tubulação e se dá pela ação da gravidade, uma vez que a unidade de tratamento se encontra na cota mais baixa do terreno. A ETE é composta por etapas preliminares de gradeamento e desarenamento para a remoção do material particulado e grosseiro, seguido de um tanque de equalização, de onde o esgoto é bombeado para um reator UASB (*Upflow anaerobic sludge blanket reactor*, ou seja, reator anaeróbio de manta de lodo de fluxo ascendente), passando posteriormente por um biofiltro aerado submerso e um decantador, até ser destinado ao corpo receptor, como demonstra o fluxograma da Figura 1. A estação ainda conta com um sistema de neutralização de odores do biofiltro aerado e um leito de secagem para o lodo do reator UASB, conforme detalhado no esquema da Figura 2.

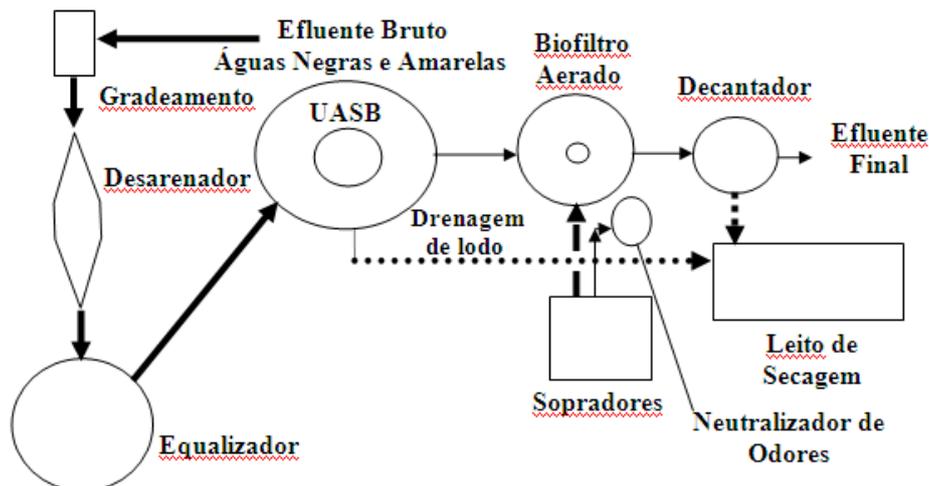


FIGURA 1: Fluxograma do processo de tratamento de efluentes da UNISC.

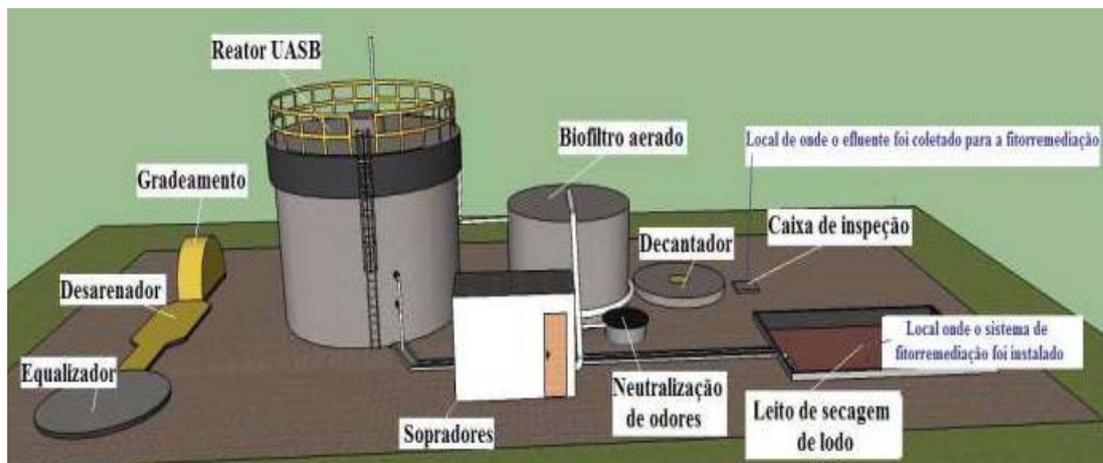


FIGURA 2: Esquema geral da ETE da UNISC com identificação dos módulos.

Identificação e priorização dos impactos associados ao processo

A fim de se identificar e priorizar os impactos associados ao processo de tratamento de efluentes, primeiramente relacionou-se todas as etapas operacionais presentes no esquema geral da ETE. Em seguida listou-se todos os aspectos de entrada e saída, descritos nesse mesmo esquema, contemplando o maior número de informações, como uso de recursos naturais na entrada do sistema e contaminações da água, do solo, das águas subterrâneas e do ar, bem como os incômodos gerados as partes interessadas.

Adotou-se como critério de priorização de impactos a severidade dos aspectos de saída, como grau de intensidade do impacto, tendo como base a capacidade do meio ambiente em suportá-lo ou reverter seus efeitos, restabelecendo as condições originais. A determinação dos pesos e níveis dos aspectos de saída estão demonstrados no Quadro 1.

QUADRO 1: Determinação de peso e nível de acordo com a gravidade dos impactos

Nível	Descrição	Peso
Baixa	Eventos que afetam o meio ambiente, mas que, através de ação simples imediata o potencial dano pode ser remediado.	1
Média	Eventos que atingem o meio ambiente mas que, através de ação simples imediata com a disponibilização de recursos e/ou apoio, remedia o potencial dano.	2
Alta	Eventos que tem a potencialidade de causar danos significativos ao meio ambiente.	3

Fonte: CNTL-SENAI/RS, 2003.

Para os aspectos de entrada considerou-se a representatividade do consumo de insumos e matérias primas atribuindo a severidade conforme o Quadro 2. O cálculo do consumo energético foi feito baseado nas potências dos motores, associado com o período de funcionamento de cada um.

QUADRO 2 – Determinação da severidade conforme aspectos de entrada

Insumos (Água, energia, etc)		
Consumo / mês	Severidade	
Até 25 % do consumo total	1	
26 a 50 % do consumo total	2	
51 a 75 % do consumo total	3	
> 76 % do consumo total	4	
Matéria prima e auxiliares		
Consumo / mês	Severidade	
	Produto Perigoso	Produto Não Perigoso
Até 30% do consumo total	2	1
31 a 60% do consumo total	3	2
61 a 100 % do consumo total	4	3

Fonte: CNTL-SENAI/RS, 2003.

Para a determinação da probabilidade de ocorrência considerou-se a frequência de ocorrência do aspecto associado ao impacto em análise, conforme Quadro 3.

QUADRO 3 – Determinação de peso e nível conforme a probabilidade dos impactos

Nível	Descrição	Peso
Baixo	O aspecto ocorre esporadicamente, sem regularidade.	1
Médio	O aspecto ocorre frequentemente (semanal, quinzenal, mensal). É planejado.	2
Alto	O aspecto ocorre continuamente, ininterruptamente	3

Fonte: CNTL-SENAI/RS, 2003.

A importância do impacto foi medida pelo produto resultante da severidade e probabilidade, ou seja, $I = S$ (Severidade) x P (Probabilidade).

Na avaliação do impacto ambiental considerou-se a existência de requisitos legais e medidas de controle utilizadas para minimizar seu impacto sobre o meio ambiente. Podem ser considerados requisitos legais: políticas ambientais ou diretrizes ambientais corporativas; legislação ambiental (federal, estadual, municipal); normas técnicas; condicionante da licença de instalação/operação; normas regulamentadoras do trabalho – NR's, bem como as partes interessadas, tais como funcionários, vizinhos, acionistas, etc. Quando os requisitos legais se aplicarem atribui-se o valor 5, do contrário atribui-se o valor 0 (zero) (CNTL-SENAI/RS, 2003).

As medidas de controle compreendem ações propostas para evitar ou minimizar o impacto, através do controle do aspecto impactante, seja por procedimentos, instalações, ou até mesmo equipamentos utilizados que evitam ou controlam a poluição. Quando o local estudado possui alguma dessas medidas e elas são eficazes, atribui-se o valor 0 (zero), quando elas não são eficazes atribui-se o valor 3, e por último se o local não conta com essas medidas, atribui-se o valor 6.

O resultado da priorização será dado pelo somatório da “importância do impacto”, valor atribuído a requisito legal e o valor atribuído a medida de controle, ou seja, $R = I + RL + MC$. Obtido o valor, os impactos ambientais serão priorizados conforme o resultado, sendo que quanto mais elevado o valor, mais significativo o impacto ambiental em questão, devendo, portanto, concentrar esforços para sua minimização.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como entrada considerou-se todo o efluente bruto gerado na UNISC a partir dos miquitórios e vasos sanitários do Campus, o que corresponde a uma vazão média de $5,40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, por 16 horas de funcionamento, ou seja, equivalente a $86,4 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, obtidos a partir de leitura da altura da lâmina d’água na calha Parshall presente na ETE. O esgoto gerado na Universidade possui como característica, elevada concentração de urina antes que fezes, em virtude do curto tempo que a maioria dos alunos permanecem na instituição. Portanto pode-se considerar a presença de sólidos não superior a 0,1 %, valor que caracteriza os esgotos residenciais.

Ainda como entradas considerou-se os demais itens apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4 – Levantamento dos insumos de entrada na ETE

Descrição do aspecto	Potência	Consumo/mês	Severidade	Probabilidade	I i
Motor do gradeamento	0,15kw	10kw/mês	1	1	1
Bomba de recalque	2,944kw	686,93kw/mês	2	2	4
Soprador/exaustor	2,944kw	1177,6kw/mês	3	3	9
Bomba recirculação lodo decantador	0,368kw	147,2kw/mês	1	3	3
Bomba de distribuição de vazão	0,15kw	60kw/mês	1	3	3
Hidróxido de Sódio	Na	2kg	4	2	8
Pastilhas de cloro	Na	200g	1	2	2
Produtos de higienização pessoal (detergente/álcool)	Na	500mL	1	1	1

I i – Importância do impacto

Na – Não se aplica

O levantamento das manifestações de saída do processo de tratamento de efluentes encontra-se no Quadro 5.

QUADRO 5 – Levantamento das manifestações de saída da ETE

Descrição do aspecto	Quantidade	Severidade	Probabilidade	Importância do impacto
Resíduos sépticos do gradeamento	20L	2	3	6
Resíduos sépticos do desarenador	80L	2	3	6
Efluente do tanque de equalização	5,4m ³ h ⁻¹	1	1	1
Efluente do UASB	5,4m ³ h ⁻¹	1	1	1
Lodo do UASB	Mínima	1	1	1
Gases do UASB	NA	3	3	9
Efluente do biofiltro aerado	5,4m ³ h ⁻¹	1	1	1
Gases do biofiltro aerado	NA	3	3	9
Efluente final (decantador)	5,4m ³ h ⁻¹	2	3	6
Lodo do decantador	Mínimo	1	1	1
Incômodo as partes interessadas	Em função da redução da pressão atmosf	3	3	9

NA – Não Amostrado

Na avaliação do impacto ambiental considerou-se como requisitos legais: a Legislação Ambiental Estadual, através das Resoluções CONSEMA 128 e 129/2006, as normas técnicas empregadas na construção da ETE, os condicionantes da licença de instalação/operação e o atendimento das partes interessadas. A esses requisitos legais atribuiu-se o valor 5. Aos aspectos que não possuem requisitos legais atribuiu-se 0 (zero), como pode ser visto no Quadro 7.

Outro fator considerado na avaliação do impacto ambiental da atividade foi a presença de medidas de controle, como pode ser observado no Quadro 6.

QUARO 6 - Valoração das medidas de controle para os aspectos considerados

Descrição do aspecto	Possui medidas de controle	Eficaz	Valor atribuído
Etapa de maior consumo energético por motor elétrico	Não	Não	6
Consumo de hidróxido de sódio	Sim (controle de pH)	Parcialmente	3
Consumo de pastilhas de cloro	Sim (período de duração)	Parcialmente	3
Consumo de produtos de higiene pessoal	Sim (reposição de acordo com consumo)	Sim	0
Resíduos sépticos do gradeamento	Sim (remoção e destinação adequada)	Sim	0
Resíduos sépticos do desarenador	Sim (remoção e destinação adequada)	Sim	0
Efluente do tanque de equalização	Sim (canalização)	Sim	0
Efluente do UASB	Sim (canalização)	Sim	0
Lodo do UASB	Sim (adensamento e maturação)	Parcialmente	3
Gases do UASB	Não	Não	6
Efluente do biofiltro aerado	Sim (canalização)	Sim	0
Gases do biofiltro aerado	Sim (Neutralização de odores)	Parcialmente	3
Efluente final (decantador)	Sim (tratamento)	Parcialmente	3
Lodo do decantador	Sim (recirculação p/ biofiltro)	Sim	0
Incômodo a partes interessadas	Sim (cortina vegetal e neutralizador de odores)	Parcialmente	3

A determinação da etapa de maior impacto ambiental é dada pelo resultado do somatório da importância do impacto, valor atribuído a requisito legal e o valor atribuído as medidas de controle. O resultado deste somatório está expresso no Quadro 7.

QUADRO 7 – Determinação das etapas de maior impacto ambiental

Descrição do aspecto	Importância do impacto	Requisitos legais	Medidas de controle	Resultado
Etapa de maior consumo energético por motor elétrico	9	0	6	15
Consumo de hidróxido de sódio	8	0	3	11
Consumo de pastilhas de cloro	2	0	3	5
Resíduos sépticos do gradeamento	6	5	0	11
Resíduos sépticos do desarenador	6	5	0	11
Efluente do tanque de equalização	1	0	0	1
Efluente do UASB	1	0	0	1
Lodo do UASB	1	5	3	9
Gases do UASB	9	5	6	20
Efluente do biofiltro aerado	1	0	0	1
Gases do biofiltro aerado	9	5	3	17
Efluente final (decantador)	6	5	3	14
Lodo do decantador	1	5	0	6
Incômodo a partes interessadas	9	5	3	17

Conforme pode ser observado no Quadro 7, pelo fato do reator UASB não possuir um sistema de queima de gases, esta etapa é considerada de maior impacto ambiental, devendo concentrar atenções para a minimização dos impactos. Em seguida estão dois fatores com a mesma pontuação e com relação entre si, que devem ser considerados para a melhoria das condições de operação da ETE. Esses fatores representam os gases aspirados do biofiltro aerado contendo mercaptanas, gás sulfídrico e escatol que provocam mal cheiros e geram incômodos à vizinhança, portanto também deve-se melhorar as formas de atenuação desses gases. Em terceiro lugar têm-se como problemática o consumo de energia, sendo os ventiladores do biofiltro os maiores responsáveis por esse consumo, uma vez que o filtro aerado conta com um ventilador responsável por injetar ar e o outro para remover o ar direcionando-o para o neutralizador de odores. Ocupando o quarto lugar tem-se a emissão do efluente no corpo receptor sem o atendimento completo das Resoluções 128 e 129 de 2006 para os parâmetros nitrogênio, fósforo, coliformes termotolerantes e ecotoxicidade, necessitando de readequações para esse atendimento. Os demais aspectos não conferem impactos significativos uma vez que estão recebendo o gerenciamento adequado, mas no entanto, sugestões de melhorias sempre devem ser apresentadas.

Aspecto de maior impacto: geração de gases pelo reator UASB

De acordo com Souza (1986) a estimativa da produção potencial de biogás num estado constante é proporcional a quantidade de DQO consumida no reator anaeróbio, onde 1 g de DQO consumida corresponde à produção de 0,35 L de CH₄, sob temperatura e pressão normais. Assim ao considerarmos os valores obtidos na estação no ano de 2010, como: DQO do efluente bruto igual a 414 mgL⁻¹ e DQO do efluente tratado de 69 mgL⁻¹, tem-se a remoção de 345 g de DQO por metro cúbico de efluente, o que corresponde a geração de 10,43 m³ de metano por dia, já que a vazão da estação é de 86,4 m³dia⁻¹. A emissão desse metano, sem nenhum sistema de atenuação, contribui significativamente para tornar essa etapa do tratamento como a de maior impacto ambiental. Ao invés de se utilizar um sistema sofisticado para reduzir as emissões de metano para a atmosfera, em virtude da baixa vazão de biogás liberada pelo reator UASB da UNISC e pelo alto custo associado, pode se pensar em um queimador de gases com ignitor automático, que primeiramente acumula os gases gerados e posteriormente os queima pela liberação de centelha elétrica, proveniente do acúmulo de energia solar.

Segundo aspecto de geração de impacto: emissão de odores pelos gases do biofiltro e incômodo a vizinhança

Isto se deve pelo desprendimento dos gases gerados no reator UASB, pela movimentação do ar no biofiltro aerado e também pelo funcionamento inadequado do biofiltro durante anos, o qual ao invés de operar como um sistema aeróbio, até este ano estava operando como um sistema anaeróbio. Tal problema será melhor explicado na quarta etapa de geração de impactos.

As emissões de odores podem ser minimizadas colocando em praticas medidas que atenuem a propagação dos gases exauridos pelo sistema. Entres as medidas propostas têm-se a substituição da tubulação de exaustão dos gases do biofiltro, instalação de um biofiltro com limalha de ferro e cavaco de madeira, e melhoria do cortinamento vegetal no entorno da ETE.

A substituição da tubulação de 150 mm por outra de maior diâmetro na sucção dos gases gerados se explicaria pelo fato de que a tubulação de injeção de ar é de 300 mm (duas de 150 mm). A tubulação de exaustão pode estar comprometendo a sucção de parte da vazão de ar injetada, e como consequência tem-se a propagação de gases com forte odor. Esta pratica vem a atender uma readequação da retirada dos gases do biofiltro aerado.

A instalação de um filtro de cavaco de madeira juntamente com limalha de ferro na tubulação de sucção dos gases do biofiltro, antes do lavador de gases, seria responsável por filtrar os gases gerados, principalmente o H_2S , minimizando consideravelmente os odores. O gás sulfídrico, como é conhecido o H_2S , ao reagir com a limalha de ferro se converte em sulfeto ferroso, um subproduto que pode ser utilizado posteriormente na depilação de couro em curtumes. Já o cavaco saturado pode ser destinado a compostagem interna, realizada no Campus.

Ainda com o objetivo de reduzir os odores poderia ser efetuada a melhoria do cortinamento vegetal existente. A proposta é recompor a vegetação, preenchendo os espaços vazios do cortinamento atual, além de plantar mais exemplares ao lado das já existentes, formando uma cortina dupla, principalmente no lado onde há maior concentração de residências. A vegetação existente é composta predominantemente por ingás, que se caracterizam pelo seu porte médio, chegando a 6 metros de altura. No plantio da segunda carreira de árvores, se daria preferência para espécies de maior porte que cheguem a 8 – 10 metros de altura, além da utilização de trepadeiras nas cercas de delimitação da área.

Terceiro aspecto de geração de impacto: consumo energético

Com relação ao consumo energético, pouco pode ser feito para reduzi-lo sem que haja interferências negativas no processo de tratamento. Observou-se que os motores foram bem dimensionados para a finalidade que se destinam, além de serem motores trifásicos que apresentam maior rendimento e menor consumo energético quando comparados com motores monofásicos. Ademais o motor utilizado na grade rotativa, bem como o utilizado no distribuidor de vazão do biofiltro, são motores de baixa potência (1/4 cv) mas como contam com caixas redutoras, possuem excelente aplicação. No entanto na área da ETE está instalado um sistema de células fotovoltaicas de transformação de energia solar em energia elétrica, constituído por 14 placas (70w cada) e 12 baterias de armazenamento de energia. Este sistema possui capacidade de geração de 980 wh^{-1} , que seria capaz de gerar energia por aproximadamente 11 horas durante o dia, considerando das 07:00 às 18:00 horas. Como o rendimento desses sistemas não costumam ser 100%, pode se considerar uma perda de energia de 20%, e assim teríamos o equivalente a 784 wh^{-1} , durante 11 horas. Esta potência seria capaz de manter em funcionamento a bomba de recirculação do lodo do decantador para o biofiltro aerado, de 368 w, mais o distribuidor de vazão do biofiltro que possui 184 w de potência, e também o motor da grade rotativa, que também possui 184 w de potência, porém este último funciona somente 10 minutos por dia enquanto os outros dois citados operam 16 horas por dia. Dessa forma as etapas descritas a cima poderiam utilizar uma fonte de energia alternativa, pelo menos durante o período de radiação solar, já que o sistema com as células fotovoltaicas não está sendo utilizado. Apesar desta medida não contemplar a etapa de maior consumo energético, evidenciada pelos ventiladores do biofiltro, ela estaria contribuindo para a redução do consumo energético, e de custos, principalmente se fosse empregada no horário de ponta, compreendido entre 18:00 às 21:00 horas. Uma vez que passa-se utilizar um sistema até então inservível, com ganho na redução do consumo energético e utilização de uma fonte de energia alternativa estaríamos agindo de acordo com os conceitos de produção mais limpa.

Quarto aspecto de geração de impacto: não atendimento das Resoluções 128 e 129 para alguns parâmetros de lançamento do efluente

Nós últimos anos os responsáveis pela operação da ETE da UNISC, funcionários da área ambiental da Instituição, tem desenvolvido trabalhos de melhorias operacionais ao sistema. Apesar da ETE ter entrado em operação em 2006, apenas em 2010 percebeu-se que o fundo falso do biofiltro aerado estava alagado, o que impedia a entrada de ar feita nesse ponto, pela formação de um selo d'água. Como consequência disso o sistema praticamente funcionou como um biofiltro anaeróbio durante anos, o que explica a baixa eficiência obtida até então na remoção de nitrogênio, não superior a de 25%. Após adequações no biofiltro para garantir a entrada de ar no sistema, a eficiência de remoção de nitrogênio passou a aumentar, em agosto de 2010, logo em seguida a modificação e com início a formação de biofilme aeróbio, essa eficiência já passava de 52%. Juntamente com o aumento da eficiência de remoção de nitrogênio teve-se maior eficiência na remoção de fósforo, passando de 12% em 2006 para 42% em agosto de 2010. Como esta correção no biofiltro é recente acredita-se que o sistema apresentará melhores resultados nas próximas análises. Ainda como melhoria no biofiltro tem-se a instalação de um distribuidor de vazão, o qual tem por função evitar a formação de caminhos preferenciais aumentando o contato do efluente com os microrganismos aderidos no meio suporte, ou seja, o efluente passou a estar mais disponível a ação microbiana.

Outras duas melhorias ao biofiltro poderiam ser testadas, a primeira consiste na substituição da tubulação de 150 mm por outra de maior diâmetro na sucção dos gases gerados, como já comentado, que além de minimizar os odores, auxiliaria na remoção de compostos nitrogenados. A segunda melhoria a ser testada seria a substituição dos meios suportes constituídos de britas por meios suportes poliméricos de matrizes recicláveis, os quais apresentam maior área de contato em virtude das suas formas e boas condições de adesão para o biofilme.

Para se obter maior eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes no sistema como um todo, a relação C:N:P deveria ser corrigida. Como já descrito anteriormente, o efluente gerado na universidade é rico em compostos nitrogenados antes que matéria orgânica, conferindo uma relação C:N:P, conforme análise de DQO, NTK e P, de aproximadamente 224:7:0,5, enquanto deveria ser de 350:7:1, ideal para sistemas anaeróbios, como recomenda a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2009). Para melhorar as características do efluente bruto em relação ao tratamento, a concentração de nitrogênio deveria ser reduzida ou então a concentração de matéria orgânica aumentada.

Como último critério de melhoria do quarto aspecto impactante levantado na ETE, poderia ser instalado na saída do decantador, ao final do processo, um sistema de desinfecção por foto-reatores para reduzir a concentração de coliformes termotolerantes que na média do ano de 2010, se encontra superior a 1.000.000 NMP/100mL, em substituição as pastilhas de cloro, que na presença de matéria orgânica podem gerar organoclorados. Muitos projetos de desinfecção usando sistemas de foto-reatores têm recebido atenção do público devido a sua alta eficiência na inativação de coliformes fecais (entre os quais detacam-se *Escherichia coli*) e ovos de helmintos (*Ascharis lumbricoides*). Tais reatores foram pesquisados em sistemas combinados com reatores anereóbios do tipo UASB, e a eficiência foi basicamente analisada através da relação entre o tempo de detenção hidráulica (em segundos) e as doses de aplicação de radiação Ultra Violeta (UV). A aplicação de foto-reatores para a inativação de coliformes fecais e ovos de helmintos, tais como *E. coli* e *A. lumbricoides* tem demonstrado eficiência em diversos sistemas que usam reatores anaeróbio do tipo UASB, alimentados com esgoto doméstico.

Para exemplificar, Alves *et al.* (2003), avaliou aplicabilidade de um sistema envolvendo foto-reatores simplificados para a inativação de coliformes totais e *Escherichia coli*. O sistema adotado possuía um volume útil de 20,7 L, confeccionado por um tubo de PVC com diâmetro de 200 mm e equipado com quatro lâmpadas de mercúrio imersas, com potência unitária de 30 W. O reator operou em um tempo de detenção hidráulica variando de 30 a 180 segundos e aplicação de 3,7 a 41,9 mW.s/cm². Os resultados demonstraram aplicabilidade na desinfecção de esgotos tratados, reduzindo eficientemente coliformes totais e *E. coli* na faixa de 2,0 a 4,3 unidades logarítmicas mesmo na presença de sólidos em suspensão na faixa de 47 a 137 mgL⁻¹. Já Silva *et al.*, (2002), executou o mesmo sistema testado por Alves *et al.*, (2003), com os mesmos volumes, dimensões e diâmetro do PVC utilizados. O Foto-reator foi testado em conjunto com o sistema UASB, operado em três fases, com tempo de detenção hidráulica de 50, 90 e 120 segundos e doses estimadas de 16,9; 30,4 e 40,6 mW.s.cm⁻². Foram observadas elevadas eficiências médias de inativação de coliformes totais e de *E. coli*, na faixa entre 3 e 4 unidades logarítmicas (~99,9%). A melhor eficiência na inativação de ovos de *A. lumbricoides*

foi obtidas em um tempo de detenção de 40 e 60 segundos (doses de 13,6 e 20,3 mW.s.cm⁻², respectivamente), quando aproximadamente 65% dos ovos permaneceram no estágio de célula única e apenas cerca de 10% dos ovos completaram o seu desenvolvimento e conseguiram atingir o estágio de larva.

Com as melhorias já realizadas e com as que ainda podem ser implantadas, acredita-se que o potencial ecotóxico do efluente será reduzido, juntamente com as concentrações de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo. Tudo indica que a carga orgânica do efluente em conjunto com o excesso de nutrientes, mais especificadamente nitrogênio, possa ser um dos principais fatores que contribuem para o aumento da toxicidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o diagnóstico da ETE e da proposição das medidas mitigadoras para os impactos ambientais causados pelas etapas do processo, foi caracterizada como etapa de maior impacto a geração de gases do reator UASB, seguido da geração de gases do biofiltro aerado pelo funcionamento inadequado do sistema, além do incomodo causado a vizinhança pelos odores. O terceiro aspecto de maior impacto foi evidenciado pelo consumo energético da planta. E por último, foi evidenciado o não atendimento de alguns parâmetros das resoluções que determinam os limites de emissão dos efluentes.

Com o trabalho realizado, pôde se constatar que a aplicação da P+L mostrou-se promissora, podendo minimizar alguns impactos com pequenas propostas de melhorias e adequações de funcionamento. Estas pequenas mudanças no sistema de tratamento podem ser capazes de gerar ganhos na economia, uma vez que permitem reduzir o desperdício do funcionamento, bem como na eficiência, tendo em vista que a mesma é preservada ou melhorada após as propostas mitigadoras dos impactos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, C. V. P.; CHERNICHARO, C. A. L.; VON SPERLING, M. Desenvolvimento de sistema simplificado e de baixo custo para desinfecção de esgotos tratados biologicamente. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Santa Catarina, Joinville, SC, Brasil, 2003.
2. ARGENTA, D. O. F. Alternativas de melhoria no processo produtivo do setor moveleiro de Santa Maria/RS: Impactos Ambientais. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.
3. CETESB, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Série de Nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrato e nitrito). Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acessado em: Dezembro/2009.
4. CNTL, Centro Nacional de Tecnologias Limpas - SENAI/RS. Manual metodologia de implantação do programa de produção mais limpa. Curso de Consultores em Produção mais Limpa, Fortaleza, janeiro, 2002.
5. CNTL, Centro Nacional de Tecnologias Limpas - SENAI/RS. Sistema de gestão ambiental e produção mais limpa. Série Manuais de Produção mais Limpa. Porto Alegre, p. 49, 2003.
6. CNTL, Centro Nacional de Tecnologias Limpas - SENAI/RS. A produção mais limpa como um fator do desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.holographic.com.br/~prj/cntl/sobre-4suten.html> Acessado em: Dezembro/2009.
7. FERNANDES, J. V. G *et al.* Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 06, n. 03, jul/dez. Rio de Janeiro, p. 157-164, 2001.
8. HENRIQUES, L. P.; QUELHAS, O. L. G. Produção Mais Limpa: Um exemplo para sustentabilidade nas organizações. 2007. Disponível em: http://www1.sp.senac.br/hotsites/sigas/docs/20071016_CAS_ProducaoMaisLimpa.pdf. Acessado em Setembro/2010.
9. LERÍPIO, A.. Gaia: um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

10. SILVA, J.C.C.; CHERNICHARO, C. A. L.; VON SPERLING, M.; ALVES, C.V.P.; ZERBINI, A.M.; GODNHO, V.M.; LAUFFER, J. Desenvolvimento e avaliação de um fotorreator simplificado de radiação UV para inativação de coliformes e ovos de helmintos em esgotos tratados. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária y Ambiental. México, Cancun, 2002.
11. SOUZA, M. E. Criteria for the Utilization, Design and Operation of UASB Reactors. Water Science and Technology, v. 18, n. 12, p.55-69, 1986.
12. FUNDAÇÃO VANZOLINI. Disponível em: <www.fundacaovanzolini.org.br>. Acessado em: Outubro/2010.