

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

APÊNDICE 1 – INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O ENQUADRAMENTO

1 ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS EMPREGADAS NA REMOÇÃO DE NUTRIENTES E NA DESINFECÇÃO DE EFLUENTES

Os nutrientes presentes nos esgotamentos sanitários representam um desafio técnico. A complexidade necessária para os tratamentos que visam evitar os efeitos nocivos do excesso destes nutrientes no meio ambiente, dificulta a sustentabilidade técnica e econômica da sua implantação.

Dentre os nutrientes presentes em esgotos sanitários o nitrogênio e o fósforo são protagonistas. A presença em excesso de nitrogênio e fósforo, nas suas diferentes formas, nos ambientes aquáticos, causa efeitos deletérios no ambiente, os quais culminam no favorecimento da eutrofização dos meios aquáticos.

A eutrofização é o fenômeno em que corpos d'água adquirem turbidez e conseqüentemente ficam com níveis baixíssimos de oxigênio dissolvido. Este processo tem um alto impacto para os ecossistemas aquáticos e pode provocar a morte de diversas espécies animais e vegetais.

O desequilíbrio ecológico causado pela eutrofização pode gerar diversos problemas aos mais diversos usos das águas. Estes problemas tendem a ocorrer em ambientes lânticos, pois em corpos hídricos com fluxo constante o acúmulo de nutrientes, de algas e de macrófitas é naturalmente dificultado. Contudo, é importante salientar que a necessidade de água, para as mais diversas atividades humanas, promove a construção de barramentos. Portanto, muitos rios com fluxo perene e velocidades relativamente altas podem ser afetados pelo processo de eutrofização, caso haja barramentos ao longo de seu curso, algo comum a partir da expansão das atividades humanas. Entre os problemas causados pela queda do oxigênio dissolvido se destacam: (i) a diminuição da quantidade de peixes; e (ii) o aumento da complexidade do tratamento de água para abastecimento.

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 1/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

1.1 Tecnologias empregadas no tratamento de esgotos visando remoção de nutrientes

Devido às consequências negativas do excesso de nutrientes em meios aquáticos, especialmente nitrogênio e fósforo, se faz necessário o emprego de tecnologias para a remoção de nitrogênio e fósforo dos esgotos. A depuração dos nutrientes pode ser alcançada através de processos biológicos ou físico-químicos.

Diante deste cenário, neste item são apresentadas as tecnologias empregadas no tratamento dos esgotos e as capacidades de remoção de nutrientes, as quais deverão ser consideradas durante o processo de implantação do enquadramento na RH-III. Como a remoção dos nutrientes presentes no esgoto depende da otimização dos processos de tratamento, também serão abordadas as variações existentes e suas limitações.

1.1.1 Remoção de nitrogênio e fósforo em tratamento por lagoas de estabilização

Os sistemas constituídos de lagoas de estabilização estão entre os tratamentos mais simples empregados para a mitigação do potencial poluidor dos esgotos. As estruturas consistem em lagoas de diferente conformação de profundidade e área superficial, que recebe os dejetos que lá ficam expostos a ação de microrganismos que consomem a matéria orgânica. Há diversas formas de lagoas e de arranjo de mais de uma lagoa que podem ser implantadas para este fim. O Quadro 1.1 apresenta o resumo dos tipos de lagoas e suas principais características.

Quadro 1.1 – Sistemas de tratamento por lagoas

| Sistema | Descrição |
|-------------------|---|
| Lagoa facultativa | A lagoa facultativa possui uma grande área superficial, e opera em fluxo contínuo, com o esgoto afluente entrando em uma extremidade e o esgoto tratado saindo na extremidade oposta. Neste percurso, o líquido permanece na lagoa por vários dias, nos quais ocorrem processos físicos e bioquímicos que contribuem para a remoção de poluentes. A matéria orgânica associada a sólidos menores, não sedimentáveis, tende a permanecer na coluna de água e convertida a gases e líquidos por mecanismos predominantemente aeróbios, conduzidos principalmente por bactérias. O oxigênio requerido na respiração das bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese. A matéria orgânica associada aos sólidos sedimentáveis tende a ir para o fundo da lagoa, onde é convertida anaerobiamente por microrganismos presentes no lodo de fundo. Ocorre ainda sedimentação bastante expressiva de ovos de |

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 2/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

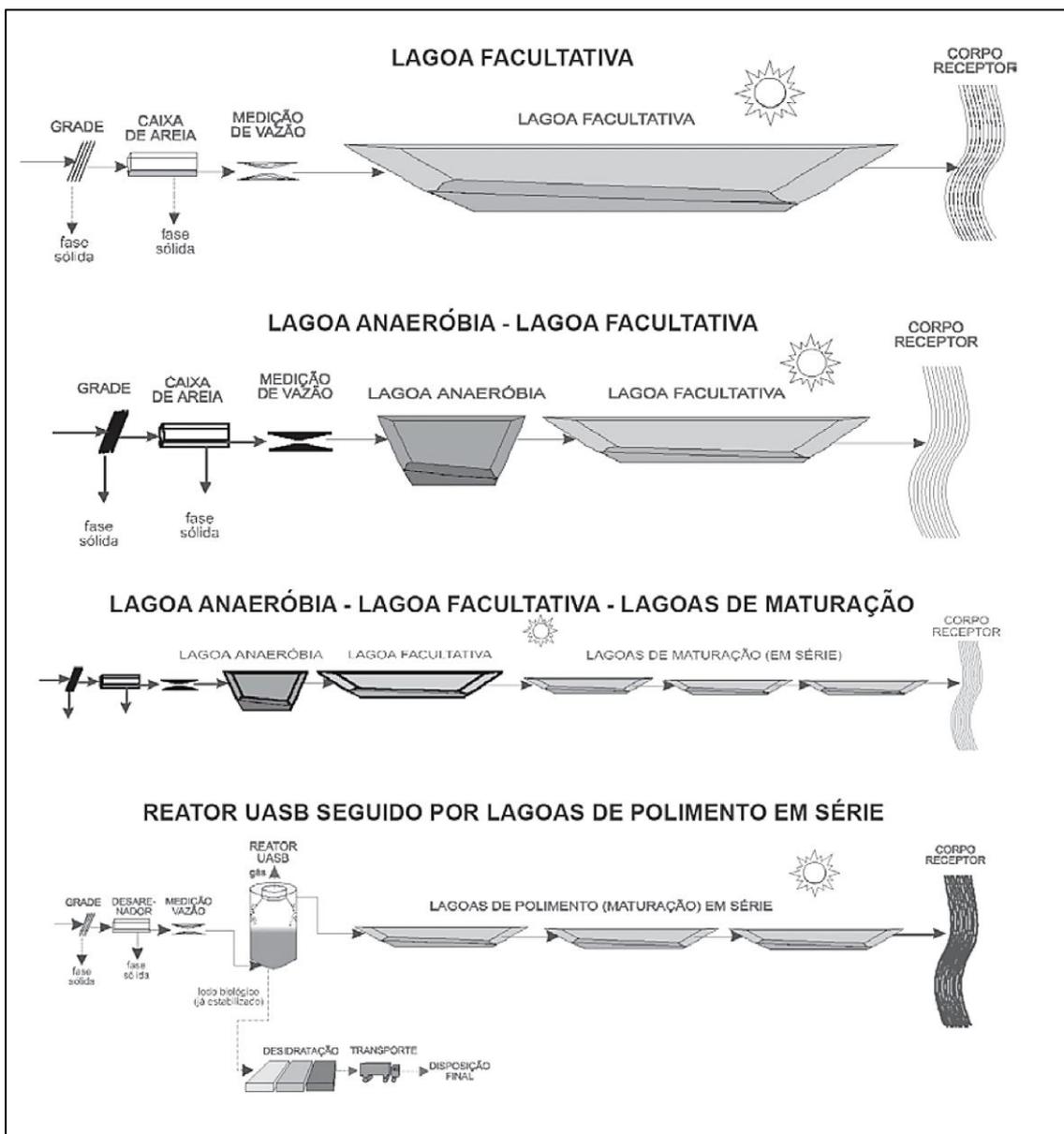
| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

| Sistema | Descrição |
|--|---|
| | helmintos e decaimento parcial de bactérias e vírus patogênicos. A remoção de nitrogênio e fosforo é baixa. |
| Sistema de lagoa anaeróbia + lagoa facultativa | A lagoa anaeróbia é mais profunda e tem menor volume e área superficial — o que dificulta a ocorrência de uma fotossíntese expressiva. Em consequência, predominam condições anaeróbias, que são responsáveis por uma remoção de cerca de 50 a 70% da matéria orgânica. A lagoa facultativa, situada a jusante, recebe, portanto, uma menor carga de matéria orgânica, o que propicia a que tenha uma menor área superficial. O sistema como um todo ocupa uma área inferior a demandada por sistemas compostos apenas por lagoas facultativas. A remoção de matéria orgânica e coliformes é um pouco mais elevada do que nos sistemas que tenham apenas lagoas facultativas, mas a remoção de nitrogênio e fosforo permanece baixa. |
| Lagoa de maturação | O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de organismos patogênicos, após a remoção da maior parte da matéria orgânica nas lagoas precedentes (anaeróbia e facultativa). Estas lagoas são mais rasas que as lagoas facultativas, e nelas a atividade fotossintética das algas predomina com relação a respiração dos microrganismos. Ocorrem nelas condições ambientais adversas para bactérias patogênicas, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. Ovos de helmintos e cistos de protozoários tendem a sedimentar. As lagoas de maturação são usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é elevadíssima. Ocorre ainda remoção parcial de nitrogênio, mas a remoção de fosforo não é elevada. |
| Lagoa de polimento | As lagoas de polimento se assemelham as lagoas de maturação, e de fato são projetadas como tal. Recebem esta designação por proporcionarem um polimento na qualidade do efluente de reatores anaeróbios, principalmente os reatores tipo UASB, mais utilizados em nosso país. Além da função típica de lagoas de maturação (elevada remoção de organismos patogênicos e remoção parcial de nitrogênio), é esperado que cumpram ainda com o polimento da matéria orgânica efluente dos reatores UASB, mas a elevada proliferação de algas dificulta a obtenção de efluentes com baixos teores de matéria orgânica e sólidos suspensos. |

Fonte: PROSAB (2009) apud VON SPERLING (2014).

As conformações de estações de tratamento constituídas de lagoas de estabilização mais comumente empregadas no tratamento de esgotos no país são: (i) lagoas facultativas; (ii) lagoas anaeróbias, seguidas por lagoas facultativas; (iii) lagoas de maturação, após lagoas anaeróbias/facultativas; e (iv) lagoas de polimento, após reatores UASB. A Figura 1.1 apresenta esquemas dos sistemas de tratamentos por lagoas de estabilização, enquanto que no Quadro 1.2 é possível comparar as principais vantagens e desvantagens de cada conformação de tratamento envolvendo lagoas de estabilização.

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 3/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |



Fonte: PROSAB (2009) apud VON SPERLING (2014).

Figura 1.1 – Esquemas de sistemas de tratamento por lagoas de estabilização.

Quadro 1.2 – Vantagens e desvantagens dos sistemas de tratamento por lagoas

| Sistema | Vantagens | Desvantagens |
|--|---|--|
| Lagoa facultativa | Satisfatória eficiência na remoção de DBO Razoável eficiência na remoção de patógenos Construção, operação e manutenção simples Reduzidos custos de implantação e operação Ausência de equipamentos mecânicos Requisitos energéticos praticamente nulos Satisfatória resistência a variações de carga Remoção de lodo necessária apenas após períodos superiores a 20 anos | Elevados requisitos de área Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento restritivos A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (ex: crescimento de vegetação) Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos Performance variável de acordo com as condições climáticas (temperatura e insolação) Possibilidade do crescimento de insetos |
| Sistema de lagoa anaeróbia + lagoa facultativa | Idem lagoas facultativas Requisitos de área inferiores aos das lagoas facultativas únicas | Idem lagoas facultativas Possibilidade de maus odores na lagoa anaeróbia Necessidade de um afastamento razoável das residências circunvizinhas Necessidade de remoção periódica (intervalo de alguns anos) do lodo da lagoa anaeróbia |
| Lagoa anaeróbia/facultativa + lagoa de maturação | Idem sistema de lagoas precedente Elevada eficiência na remoção de patógenos (bactérias, vírus, protozoários, helmintos) Razoável eficiência na remoção de nutrientes | Idem sistema de lagoas precedente Requisitos de área bastante elevados Maiores custos de implantação em relação ao verificado para implantação de um sistema sem lagoas de maturação |
| Reator UASB + lagoas de polimento/maturação | Idem lagoas + lagoas de maturação Menores requisitos de área do que o de sistemas de lagoas + lagoas de maturação Melhor controle de gases e odores no reator UASB comparado com lagoas anaeróbias | Controle operacional no reator UASB menos simples do que o verificado nos sistemas compostos apenas por lagoas Necessidade do gerenciamento (desaguamento e destinação final) do lodo excedente retirado do reator UASB |

Fonte: PROSAB (2009) apud VON SPERLING (2014).

Embora os sistemas de tratamento que utilizam lagoas de estabilização não sejam os mais eficientes para a remoção dos nutrientes, estas estruturas são capazes de depurar parte destes poluentes. Os principais mecanismos de remoção de nitrogênio em lagoas de estabilização são: (i) volatilização da amônia; (ii) assimilação da amônia pelas algas; (iii) assimilação dos nitratos pelas algas; (iv) nitrificação – desnitrificação; e (v) sedimentação do nitrogênio orgânico particulado. Já o processo de remoção de fósforo em lagoas se produz pela precipitação de fosfatos, em condições de elevado pH, sendo favorecida em lagoas especialmente rasas.

O Quadro 1.3 apresenta as eficiências de remoção de nutrientes, bem como de outros parâmetros, em cada conformação de sistemas de tratamento envolvendo lagoas.

Quadro 1.3 – Características dos principais sistemas de lagoas sem aeração

| Sistema/Parâmetro | Lagoa facultativa | Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa | Lagoa anaeróbia + lagoa facult. + lagoa de maturação | Reator UASB + lagoas de polimento | |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|---------------|
| Concentrações típicas do efluente | DBO ₅ (mg/L) | 50-80 | 50-80 | 40-70 | 40-70 |
| | DQO (mg/L) | 120-200 | 120-200 | 100-180 | 100-180 |
| | SS (mg/L) | 60-90 | 60-90 | 50-80 | 50-80 |
| | Amônia-N (mg/L) | > 15 | > 15 | 10-15 | 10-15 |
| | N total (mg/L) | > 20 | > 20 | 15-20 | 15-20 |
| | P total (mg/L) | > 4 | > 4 | < 4 | < 4 |
| | Coliformes (NMP/100ml) | 106-107 | 106-107 | 102-104 | 102-104 |
| | Ovos helmintos (ovo/L) | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| Eficiência | DBO (%) | 70-80 | 75-85 | 80-85 | 77-87 |
| | DQO (%) | 65-75 | 65-80 | 70-83 | 70-83 |
| | SS (%) | 70-80 | 70-80 | 73-83 | 73-83 |
| | Amônia (%) | 25-50 | 25-50 | 50-70 | 50-70 |
| | Nitrogênio (%) | 20-40 | 20-40 | 40-60 | 40-60 |
| | Fósforo (%) | 20-50 | 20-50 | 25-60 | 25-60 |
| | Coliformes (%) | 90-99 | 90-99 | 99,9-99,999 | 99,9-99,999 |
| Área requerida (m ² /hab) | 2,0 - 4,0 | 1,5 - 3,0 | 3,0 - 5,0 | 1,5 - 2,5 | |

Fonte: PROSAB (2009) apud VON SPERLING (2014).

Percebe-se, a partir da análise dos resultados encontrados em literatura, que a remoção de nutrientes não ultrapassa os 70% para o nitrogênio e 60% para o fósforo em nenhuma configuração de sistemas envolvendo lagoas. Portanto, estes sistemas podem ser empregados em locais com disponibilidade de áreas para a sua instalação e que apresentem corpos hídricos com alta capacidade de depuração destes nutrientes. Em locais bastante urbanizados, com pouca área disponível, e nos quais o despejo do esgoto tratado seja direcionado para pequenos córregos ou rios que afluem para lagoas ou reservatórios, esta tecnologia de tratamento pode não atender a demanda de eficiência requerida.

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

1.1.2 Remoção biológica de nitrogênio e fósforo em sistemas de lodos ativados

Os sistemas de tratamento constituídos da tecnologia de lodos ativados consistem em um ou mais reatores, dentre os quais um deles apresenta aeração abundante e mistura completa. A aeração favorece o metabolismo aeróbio dos microrganismos, de forma a otimizar a degradação da matéria orgânica presente nos esgotos.

Uma estação de tratamento de esgotos do tipo lodo ativado conta com apenas um tanque de aeração, portanto, devido à necessidade de remoção de nutrientes, foram criadas configurações de tanques sequenciais que incluem fases anaeróbicas, anóxicas, bem como a recirculação do lodo e dos efluentes. Dentre as configurações de reatores utilizadas para a remoção de nutrientes destacam-se:

- **Phoredox:** dois reatores em série, sendo o primeiro anaeróbio e o seguinte aeróbio. Nesta configuração, o lodo é reciclado do decantador final (posterior ao reator aeróbio) para o reator anaeróbio (início do tratamento). Como o próprio nome sugere, este tratamento não é eficaz na remoção de nitrogênio, principalmente pela falta da fase anóxica para a desnitrificação e pela baixa idade do lodo praticada, dificultando a nitrificação. Sua aplicação é indicada para climas temperados;
- **Bardenpho:** constituído de, no mínimo, três reatores em série, sendo o primeiro e o terceiro anóxicos, o segundo aeróbio. A recirculação do efluente é realizada do tanque aeróbio para o primeiro tanque anóxico, já a recirculação de lodo ocorre apenas do decantador final para o início do processo. Este sistema é utilizado visando à remoção do nitrogênio. No primeiro reator há remoção de grande parte do nitrato a uma taxa elevada, e o nitrato é reintroduzido através de recirculação de licor misto nitrificado do segundo reator. No terceiro reator há remoção do nitrato restante, o que resulta em um efluente livre de nitrato. Esta configuração não favorece a remoção de fósforo

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 7/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

e por isso há formas modificadas que incluem tanque anaeróbio no início do tratamento, buscando a maior retenção do fósforo no lodo;

- UCT (sigla para University of Cape Town) e UCT modificado:** no sistema UCT a distribuição dos reatores é realizada para evitar a introdução de nitrato na zona anaeróbia, favorecendo a remoção de fósforo. Isso ocorre por conta da recirculação do lodo da zona anóxica para a zona anaeróbia. A concentração de nitrato é mantida baixa na zona anóxica através do controle da recirculação do reator aeróbio para o anóxico, fazendo com que o nitrato disponível no reator anóxico seja igual a capacidade de desnitrificação desta estrutura. Já o sistema UCT modificado foi desenvolvido para garantir que não haja introdução de nitrato na zona anaeróbia. Isso é feito com a divisão da zona anóxica em dois reatores, no primeiro a desnitrificação de nitrato é completa, evitando a entrada de nitrato na zona anaeróbia, que recebe recirculação deste primeiro reator. A segunda zona anóxica receberá recirculação do reator aeróbio (último da série) para a remoção de parte do nitrato gerado naquele reator. Ocorre que no UCT modificado a zona anóxica será subutilizada mantendo parte do nitrato no efluente tratado, mas apresentando maior rendimento na remoção do fósforo; e
- Sistema de Johannesburg:** este sistema é parecido ao Bardenpho, mas o lodo de retorno passa por um reator anóxico antes de retornar ao início do ciclo, que é um reator anaeróbio (diferente do Bardenpho onde o ciclo inicia em um reator anóxico). O tratamento anóxico do lodo decantado misturado ao efluente bruto, cria um licor misto sem nitrato na saída deste reator, que é descarregado no reator anaeróbio, restando no reator inicial apenas o nitrato presente no efluente bruto.

Por fim, o Quadro 1.4 compara as principais vantagens e desvantagens de cada uma das conformações apresentadas.

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 8/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

Quadro 1.4 – Vantagens e desvantagens dos sistemas de tratamento por lodos ativados

| Sistema | Vantagens | Desvantagens |
|----------------------|---|--|
| Phoredox | Sistema compacto, simples e com curto tempo de permanência. | Não favorece a nitrificação. Em climas quentes não é confiável. |
| Bardenpho modificado | Alta taxa de desnitrificação. Boa remoção de fósforo. Idade do lodo curta. | A recirculação de nitrato pode ocorrer. A desnitrificação pode ser incompleta. Tendência de formação de lodo filamentosos. Bardenpho convencional dificulta a remoção de fósforo. |
| UCT | Prevenção de recirculação de nitrato. | Desnitrificação incompleta. Uso da capacidade de desnitrificação é ineficiente. |
| UCT modificado | Assegura melhor condição anaeróbia para a remoção de fósforo | Menos desnitrificação em relação ao UCT convencional. |
| Johannesburg | Uso eficiente do reator para a remoção de nitrogênio, mesmo favorecendo a remoção de fósforo. | Remoção de nitrogênio incompleta |

Fonte: VAN HAANDEL & MARAIS (1999).

1.1.3 Remoção biológica de nitrogênio e fósforo em sistemas de tratamento físico-químicos

O tratamento físico-químico pressupõe um aumento de custos na operação, uma vez que depende de adição de produtos químicos ou a implantação de técnica de separação de sólidos. O tratamento físico-químico para remoção de nutrientes é normalmente associado aos tratamentos biológicos na busca pelo aumento da eficiência do tratamento, configurando um nível terciário de tratamento. A seguir são apresentadas as principais técnicas de remoção de nutrientes.

Remoção de nitrogênio amoniacal por arraste com ar

A remoção de amônia por arraste de ar, também conhecida pelo termo inglês *ammonia stripping*, consiste na agitação e conseqüente exposição da mistura entre o gás e água ao ar. Embora a concentração final de amônia no efluente possa alcançar valores da ordem de 1 a 3 mgNH₃ -N/L, a tecnologia não encontra maior aplicabilidade para o caso do esgoto sanitário, quando comparada aos processos biológicos de nitrificação e desnitrificação. Em função dos elevados custos operacionais e de manutenção associados, a aplicabilidade desta tecnologia encontra-se limitada aos casos em que a elevação do pH é também

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 9/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

requerida por outras unidades e/ou etapas do tratamento, tal como a precipitação química de P com emprego de cal (METCALF & EDDY, 2005).

Remoção de nitrogênio amoniacal por cloração

Além da desinfecção, o cloro pode ser utilizado como agente oxidante para a remoção de amônia. Os produtos clorados mais comumente utilizados são: o gás cloro (Cl_2); o hipoclorito de cálcio [$Ca(OCl)_2$] (contendo cerca de 70% de cloro disponível); e o hipoclorito de sódio ($NaOCl$) (normalmente disponível no mercado na forma líquida, comercialmente conhecido como água sanitária). Da mesma forma que a tecnologia de arraste de ar, a remoção por cloração tende a, também, não encontrar aplicabilidade para o caso do esgoto sanitário. Observa-se que a tecnologia depende de dispositivos e procedimentos de segurança, uma vez que a exposição de cloro é capaz de resultar em severa toxicidade ao homem (PROSAB, 2009).

Remoção de fósforo por coagulação química

Para a remoção físico-química de fósforo são adicionados sais metálicos ao esgoto, permitindo a adsorção de íons PO_4 por espécies hidrolisadas de alumínio ou de ferro e a formação de precipitados fosfatados complexos, do tipo $Me(OH)_{3-x}(PO_4)_x$. Os metais comumente utilizados para este fim são o cálcio (Ca^{2+}), o ferro (Fe^{2+} ou Fe^{3+}) ou alumínio (Al^{3+}). Os sais normalmente empregados são a cal ($Ca(OH)_2$), o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$), o aluminato de sódio ($NaAl$), o cloreto férrico ($FeCl_3$), o sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$), o sulfato ferroso ($FeSO_4$) e o cloreto ferroso ($FeCl_2$). Polímeros também podem ser eficientemente aplicados, funcionando, associados aos coagulantes, como auxiliares de floculação (PROSAB, 2009). Segundo Metcalf & Eddy (2005), os fatores que afetam a escolha do produto químico para a remoção de fósforo são:

- Concentrações de fósforo e sólidos em suspensão e alcalinidade do afluente;
- Custo econômico e garantia de fornecimento do produto químico;
- Gestão do lodo gerado; e

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 10/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

- Compatibilidade com outros processos de tratamento existentes na ETE.

A coagulação é apenas o início do processo que conta ainda com as etapas de floculação e de separação. A floculação é a etapa de tratamento posterior à coagulação, que consiste na manutenção de lenta agitação da massa líquida, de forma que seja promovido o encontro e a colisão das partículas desestabilizadas, induzindo a formação de flocos de maior tamanho. A associação entre o aumento da dimensão dos flocos e o exercício das forças de cisalhamento, favorece a ruptura dos flocos. Neste sentido, agregação e quebra constituem processos simultâneos que contribuem para a uniformidade de tamanho dos flocos formados.

A eficiência desta etapa de tratamento depende do desempenho da etapa de mistura do coagulante/floculante, e influência, de forma incisiva, o desempenho da etapa posterior de separação. Já a separação pode ocorrer pela sedimentação, onde os flocos são mantidos em um tanque sem turbulência para que se acumulem no fundo, pela flotação, onde bolhas de ar são adicionadas a fase líquida para que estas favoreçam a ascensão das partículas, ou pela filtração, onde meios filtrantes separam a fase sólida da líquida (PROSAB, 2009).

Novas tecnologias

Conforme visto anteriormente, a remoção de fósforo nos tratamentos por processos biológicos pressupõe a sua incorporação na fase sólida (lodo), por isso, normalmente, usam-se métodos físico-químicos para eliminar o fosfato presente em grandes concentrações da água de lodo. Uma opção interessante é a precipitação como um mineral pouco solúvel, denominado estruvita ($MgNH_4PO_4$). Este mineral se forma com pH elevado (> 9). Ao se adicionar cal ($CaOMgO$) à água de lodo, então, tem-se os três componentes (Mg^{2+} , NH_4 + e PO_4^{3-}) e o pH elevado necessário. Uma opção interessante é utilizar o cristalizador: um reator de fluxo ascendente com um leito de grãos de $MgNH_4PO_4$ (pelo qual escoar a água de lodo com cal em sentido ascensional). Assim, o material precipita sobre os grãos e pode ser comercializado como fertilizante (PROSAB, 2009).

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 11/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

1.1.4 Remoção de nitrogênio e fósforo em sistemas de disposição controlada no solo

Nesta técnica, a remoção de nutrientes ocorre pelas plantas, que dependem do aporte de nitrogênio e fósforo para seu desenvolvimento. Os principais processos utilizados são os de fertirrigação e de escoamento superficial. A eficiência de remoção está intrinsicamente relacionada às taxas de aplicação, pois apenas baixas cargas aplicadas por unidade de área apresentam remoção de nutrientes importante.

Portanto, princípios de engenharia agrônômica e de saúde pública devem ser considerados, pois a percolação de nitrogênio pelo solo pode contaminar o lençol freático. É importante um estudo da qualidade do efluente da ETE pós-tratamento, antes da disposição no solo, para avaliar esta possibilidade.

1.2 Principais Tecnologias de Tratamento de Esgotos Empregadas na Desinfecção

Os esgotos sanitários são as principais fontes de contaminação dos corpos hídrico e do solo, podendo transmitir organismos patogênicos aos seres humanos. A transmissão de organismos tais como bactérias, vírus, protozoários e helmintos pode ocorrer pela ingestão direta da água contaminada, por alimentos contaminados ou pela infecção devido ao contato com água ou solo contaminados (GONÇALVES, 2003).

A necessidade do controle da qualidade das águas destinadas à recreação, ao abastecimento humano e à irrigação torna-se evidente, tendo-se em vista as rotas de transmissão listadas anteriormente. Para tanto, é importante a realização de um tratamento que proporcione a desinfecção dos efluentes de estações de tratamento de esgotos sanitários.

A desinfecção de efluentes é a etapa do tratamento que visa, principalmente, à inativação de patógenos, devido aos riscos que estes trazem à saúde humana (GONÇALVES e MARQUES, 2015). Os métodos de desinfecção mais usuais são as lagoas de maturação, a cloração (Cl_2), o dióxido de cloro (ClO_2), a ozonização e a radiação ultravioleta, descritas a seguir:

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 12/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

- Lagoas de Maturação:** as lagoas de maturação consistem em métodos naturais de remoção de organismos indesejados. A mortandade de bactérias e vírus ocorre pela ação de microrganismos e pela radiação UV proveniente da luz solar, enquanto os cistos de protozoários e os ovos de helmintos tendem a sedimentar (GONÇALVES e MARQUES, 2015). Este método exige grandes áreas superficiais, porém, dispensa mão de obra para operação, reduzindo os custos.
- Cloração:** a cloração através do cloro livre é o método mais utilizado, tanto para desinfecção de água potável, como para esgotos sanitários, devido à sua viabilidade econômica e domínio tecnológico. A eficiência de desinfecção dessa substância química é indiscutível, entretanto, podem ser gerados subprodutos tóxicos à saúde humana, como Trihalometanos, ácidos haloacéticos e compostos halogênicos orgânicos dissolvidos (LAZAROVA et al, 1999). Após a cloração, pode ser realizada a descloração, geralmente feita com dióxido de enxofre, para a redução das concentrações de cloro residual, o qual é tóxico a várias espécies aquáticas (GONÇALVES e MARQUES, 2015).
- Dióxido de Cloro:** de acordo com Condie (1986), o dióxido de cloro é um gás tóxico e deve ser gerado no local, porém, possui poder oxidante superior ao cloro livre e não mantém residual desinfetante. Esse composto químico não apresenta potencialidade de geração de compostos organoclorados, entretanto, se decompõe em clorito e clorato, que podem ser prejudiciais à saúde humana.
- Ozonização:** o ozônio é eficaz para a inativação de bactérias, vírus e protozoários de difícil eliminação, tais como Giardia e Cryptosporidium (OLIVEIRA, 2005). Esse método de desinfecção exige a produção de ozônio *in loco*, apresentando custos relativamente altos de implantação e operação. Quanto à formação

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 13/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

de subprodutos, não se sabe muito acerca da possível toxicidade (GONÇALVES, 2003).

- **Luz Ultra Violeta (UV):** a radiação UV apresenta alta capacidade de inativação de patógenos e não gera subprodutos tóxicos. A utilização de lâmpadas UV para a desinfecção de efluentes sanitários é uma técnica que depende também da qualidade do efluente e possui custos mais elevados.

1.2.1 Métodos alternativos

Outros processos alternativos de desinfecção têm sido estudados e desenvolvidos, como as misturas oxidantes, a filtração por membranas e os processos oxidativos avançados (VON SPERLING, 2014).

Por fim, segundo Gonçalves (2003), a disposição de efluentes secundários no solo também é uma alternativa, pois as condições desfavoráveis no solo favorecem a mortalidade de patógenos e os nutrientes são absorvidos pelas plantas e incorporados no solo. Esta prática depende de um tratamento prévio adequado, para que não traga riscos à saúde da população e ao meio ambiente.

1.3 Critérios para a adoção de técnicas de desinfecção

Fizthenry e colaboradores (2016) sugere alguns critérios de seleção de sistemas de desinfecção de esgotos sanitários:

- A necessidade de um tratamento primário eficaz e processos de tratamento secundários para permitir que a desinfecção atinja os patógenos com sucesso;
- O patógeno específico visado;
- A quantidade e a qualidade do efluente a ser desinfetado;
- A formação e remoção/tratamento de subprodutos perigosos (por exemplo, águas residuárias compostas de altas cargas de matéria orgânica e brometo aumentam a demanda de ozônio e o potencial para formação de subprodutos prejudiciais);

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 14/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

- Facilidade de manuseio, segurança e armazenamento;
- Custo global adicionado à operação e manutenção das ETEs existentes.

O Quadro 1.5 apresenta as vantagens e desvantagens de cada umas técnicas de tratamento descritas, com base em Gonçalves (2003) e Gonçalves e Marques (2015). Já os quadros Quadro 1.6, Quadro 1.7 e Quadro 1.8 apresentam alguns aspectos importantes para a seleção do processo de desinfecção.

Torna-se importante salientar que a implantação de estruturas que visam à desinfecção dos esgotos não se faz necessária para todas as tecnologias de tratamento. Há estações de tratamento que contam com tratamento biológico mais complexo, as quais apresentam alta eficiência na inativação de patógenos. Processos físico-químicos que envolvem o uso de oxidantes químicos também apresentam grande eficiência na remoção destes organismos. Portanto, para cada tecnologia empregada é preciso avaliar a real necessidade da implementação de uma etapa de desinfecção.

Quadro 1.5- Vantagens e desvantagens das diferentes técnicas de desinfecção de efluentes de estações de tratamento esgotos sanitários

| Processo | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------|---|--|
| Lagoa de Maturação | <ul style="list-style-type: none"> - É um processo natural, não utiliza agentes químicos; - Processo sem mecanização, de operação simples; - Não gera residual ou subprodutos tóxicos; - Possui eficácia comprovada na remoção de patógenos de difícil eliminação (ovos de helmintos). | <ul style="list-style-type: none"> - Necessita de grandes áreas para implantação; - Não possui forte potencial oxidantes; - Necessitam de longos tempos de detenção (2 a 3 dias); - Produz algas em grande quantidade; - O potencial desinfetante depende de condições climáticas que possibilitem exposição contínua à radiação solar. |
| Disposição no solo | <ul style="list-style-type: none"> - Processo natural, sem mecanização; - Não gera efeitos residuais prejudiciais; - Operação simples; - Pode ser realizado de forma concomitante à estabilização da matéria orgânica. | <ul style="list-style-type: none"> - Necessita de grandes áreas; - Desempenho depende das condições climáticas; - Sensível à quantidade de sólidos suspensos no afluente. |
| Cloração | <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia amplamente conhecida; - Não necessita de grandes áreas para implantação; - Possui alto teor oxidante; - Gera cloraminas, que possuem alto poder biocida; - É eficiente para bactérias e vírus; - Flexibilidade de dosagens; | <ul style="list-style-type: none"> - Produto tóxico à saúde humana; - O cloro residual pode ser tóxico à biota aquática; - Geração de subprodutos potencialmente tóxicos à saúde humana; - Dificuldade em inativar ovos de helmintos e cistos de protozoários de difícil eliminação (cistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i>); |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

| Processo | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Não exige longos tempos de contato com o efluente (30 a 60 minutos). | <ul style="list-style-type: none"> - O potencial desinfetante é reduzido pela formação de subprodutos de menor potencial desinfetante; - Aumenta os sólidos totais dissolvidos; - O potencial desinfetante depende do pH do efluente. |
| Cloração/ descloração | <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia bem desenvolvida; - Não necessita de grandes áreas para implantação; - Efetiva e confiável para uma grande variedade de patógenos; - Oxidação de certos compostos orgânicos e inorgânicos; - Flexibilidade de dosagens. | <ul style="list-style-type: none"> - Requer adição de produtos químicos para eliminar o cloro residual; - Elimina o efeito residual da desinfecção com cloro; - Gera subprodutos potencialmente perigosos; - Aumenta os sólidos totais dissolvidos; - Alguns patógenos são resistentes. |
| Dióxido de Cloro | <ul style="list-style-type: none"> - Não necessita de grandes áreas para implantação; - Possui alto teor desinfetante; - Não gera residual tóxico; - Geração reduzida de cloraminas e trihalometanos; - Possui poder biocida superior ao cloro, inativando protozoários resistentes como cistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giárdia</i>; - Necessita de pequenos tempos de contato com o efluente (aproximadamente 30 minutos). | <ul style="list-style-type: none"> - Produto tóxico à saúde humana; - Produto se decompõe rapidamente quando exposto à luz; - A decomposição em cloritos e cloratos é acelerada por variações de pH, temperatura ou exposição à luz; - A formação de cloritos e cloratos em excesso é prejudicial à saúde humana; - Dificuldade em inativar ovos de helmintos; - O potencial desinfetante é reduzido pela presença de sólidos em suspensão e variações de temperatura. |
| Ozonização | <ul style="list-style-type: none"> - Não necessita de grandes áreas para implantação; - Possui alto poder oxidante; - Não gera residual tóxico; - Eleva o teor de oxigênio dissolvido no efluente tratado; - Gera subprodutos de fácil degradação biológica e de menor toxicidade que os reagentes orgânicos; - Possui poder biocida superior ao dióxido de cloro, inativando protozoários resistentes como cistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giárdia</i>; - Necessita de pequenos tempos de contato com o efluente (10 a 30 minutos). | <ul style="list-style-type: none"> - Baixas doses podem não inativar alguns vírus, esporos e cistos; - Produto muito reativo e corrosivo; - Produto extremamente irritante e possivelmente tóxico; - Necessita geração <i>in loco</i>; - Não se sabe muito sobre os subprodutos gerados pela ozonização; - O potencial desinfetante é reduzido pelo excesso de sólidos em suspensão, além de material orgânico e inorgânico. |
| Radiação UV | <ul style="list-style-type: none"> - Não necessita de grandes áreas para implantação; - Não necessita de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos; - Operação simples; - Não utiliza agentes químicos; - Não gera residual ou subprodutos tóxicos; - Efetivo na inativação de vírus e esporos; | <ul style="list-style-type: none"> - Baixas dosagens não inativam alguns vírus, esporos e cistos; - Microrganismos podem se multiplicar através da fotorreativação ou recuperação no escuro; - O potencial desinfetante é reduzido em efluentes com elevada concentração de sólidos dissolvidos totais e com alta turbidez. |

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 Apêndice 1_Enquadramento | 16/20 |
| | | 01 | | | | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

| Processo | Vantagens | Desvantagens |
|----------|---|--------------|
| | - Não exige tempo de contato prolongado com o efluente. | |

Fonte: adaptado de Gonçalves (2003) e Gonçalves e Marques (2015).

Quadro 1.6- Nível de desenvolvimento, aspectos de operação e manutenção dos processos de desinfecção de esgotos

| Consideração | Cloração | Cloração/descloração | Dióxido de cloro | Ozônio | UV | Lagoas de estabilização | Disposição no solo |
|--|-------------------|----------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|
| Tamanho da ETE | Todos os tamanhos | Todos os tamanhos | Pequeno a médio | Médio a grande | Todos os tamanhos | Pequeno a médio | Pequeno |
| Nível de tratamento antes da desinfecção | Todos os níveis | Todos os níveis | Secundário | Secundário | Secundário | Secundário | Primário ou secundário |
| Complexidade relativa da tecnologia | Simple a moderada | Moderada | Moderada | Complexa | Simple a moderada | Muito simples | Simple |
| Confiabilidade | Muito boa | Boa | - | Boa | Boa | Boa | Regular |
| Controle do processo | Bem desenvolvido | Desenvolvido | Desenvolvido | Em desenvolvimento | Em desenvolvimento | Desenvolvido | Em desenvolvimento |
| Sensibilidade à operação e manutenção | Mínima | Moderada | - | Alta | Moderada | Muito pouco | Muito pouca |

Fonte: adaptado de Von Sperling (2014).

Quadro 1.7 - Efetividade do processo de desinfecção sobre os organismos patogênicos do esgoto sanitário

| Consideração | Cloração | Cloração/descloração | Dióxido de cloro | Ozônio | UV | Lagoas de estabilização | Disposição no solo |
|---------------------------|----------|----------------------|------------------|--------|---------|-------------------------|--------------------|
| Efeito bactericida | Bom | Bom | Bom | Bom | Bom | Bom | Bom |
| Efeito virucida | Ruim | Ruim | Bom | Bom | Bom | Bom | Desconhecido |
| Efeito sobre protozoários | Pouco | Pouco | Regular | Bom | Regular | Bom | Bom |
| Efeito sobre helmintos | Pouco | Pouco | Pouco | Pouco | Pouco | Bom | Bom |

Fonte: adaptado de Gonçalves (2003) e Gonçalves e Marques (2015).

Quadro 1.8 - Aspectos referentes ao impacto do processo de desinfecção na saúde dos trabalhadores, nas estruturas e no meio ambiente

| Consideração | Cloração | Cloração/descloração | Ozônio | UV | Lagoas de estabilização | Disposição no solo |
|--------------------------|-------------|----------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------------|
| Durabilidade do residual | Longa | Nenhuma | Nenhuma | Sem residual | Sem residual | Sem residual |
| Subprodutos tóxicos | Sim | Sim | Não esperado | Não | Não | Não |
| Riscos à saúde | Sim | Sim | Não | Não | Não | Não |
| Perigo no transporte | Substancial | Substancial | Moderado | Mínimo | Nenhum | Nenhum |
| Corrosão | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Não |

Fonte: adaptado de Gonçalves (2003).

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 Apêndice 1_Enquadramento | 17/20 |
| | | 01 | | | | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

2 TECNOLOGIA QUE POSSIBILITA GERAR BIOGÁS E OUTROS SUBPRODUTOS A PARTIR DO PROCESSO DE TRATAMENTO DO ESTERCO EM BIORREFINARIAS

Segundo o estudo desenvolvido por Mühlen et al. (2020)¹, a Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul necessita resolver a histórica ausência de saneamento rural. Não só para atingir os índices mínimos de saneamento (nos quais se encontra abaixo da média nacional), mas também para preservar a qualidade das águas que entrega ao Sistema Guandu, que abastece a toda a região metropolitana do Rio de Janeiro. Dessa forma poderiam economizar grandes recursos na remoção de uma parte significativa de poluentes, fornecendo água de ótima qualidade para a segunda maior metrópole do país.

Os autores afirmam que o esterco bovino é um dos maiores desafios do saneamento rural da RH-III e a adoção de esterqueiras já provou sua ineficácia como sistema de tratamento desses dejetos. Basicamente porque o investimento não traz nenhum tipo de benefício econômico concreto para o produtor rural. Até agora, as soluções tecnológicas sustentáveis foram direcionadas a grandes proprietários ou clusters de produtores próximos para conseguir economias de escala que pudessem viabilizar investimentos vultosos. Esses empreendimentos de grande e médio porte são conhecidos como biorrefinarias, que atendem com eficiência as demandas de um setor bem restrito do universo de proprietários rurais.

Por esse motivo, os autores sugerem que a melhor alternativa pode ser o investimento em biodigestores anaeróbicos. Nesses sistemas, a matéria orgânica passa por todas as fases físicoquímicas e biológicas de degradação até a formação de biofertilizante e biogás. A vantagem desse sistema de gestão de resíduos sólidos procedentes da criação de gado é, em primeiro lugar, a possibilidade de dimensionar o biorreator à carga orgânica de propriedades de diferentes magnitudes. Dessa forma, os pequenos produtores também podem aceder a possibilidade de tratar seus resíduos orgânicos com um investimento

¹ Resíduos Sólidos Rurais na Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul: Contexto e Perspectivas. Disponível em: <http://www.editorasynapse.org/wp-content/uploads/2020/11/Res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-V0.pdf>

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 18/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

na medida de suas necessidades. Em segundo lugar, os produtores podem ver um rápido retorno financeiro de seu investimento na produção de energia térmica, elétrica e biofertilizante líquido. E no terceiro lugar, os produtores podem cumprir com eficiência as metas de saneamento ambiental de suas propriedades, pois os biodigestores conseguem taxas de remoção de matéria orgânica até de 98% (MÜHLEN et al., 2020).

Segundo os autores, o município de Valença, localizado no RH-III, apresenta o maior rebanho de gado leiteiro da região. Alguns proprietários rurais da região utilizam biodigestores de pequeno porte do modelo indiano para tratamento dos dejetos animais, pois além de gerarem energia térmica e elétrica propiciam um excelente biofertilizante para o produtor.

O tratamento anaeróbio, com estudos mais recentes, e como no caso do município de Valença, tem atraído atenção positiva para esses mesmos fins. Isso se deve ao fato de que balanços energéticos para tratamentos com DA são bastante favoráveis, devido à recuperação de energia com o biogás e recuperação de nutrientes, na forma de biofertilizante. A não utilização de energia elétrica para a aeração necessária no sistema aeróbio, a produção mínima de lodo, pequenas exigências de espaço e a produção de biogás e/ou energia elétrica também justificam a DA para tratamento dessas águas (WAN et al., 2016 *Apud* MÜHLEN et al., 2020).

Tanto na região ora estudada, como em todo Brasil, é um reator que ficou famoso por sua versão para esgotamento sanitário. No campo já vem sendo utilizado como produto de biogás após eficiente pré-tratamento e separador de fases líquida-sólida. Possui grande capacidade de remoção de DBO e DQO, além de ótima performance na geração de gás. Apresenta ainda um TDH de 8 (oito) horas considerado baixo para efluentes com grandes cargas de DBO e DQO. Requer pequenos espaços para instalação e seu custo, como o de manutenção, é o menor no seguimento para tratamento de esgoto doméstico. Sua operação requer baixo nível técnico. Não é adequado para insumos sólidos, semissólidos e de prolongada degradação (HERMANNY, 2019 *Apud* MÜHLEN et al., 2020).

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 19/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |

| | | | |
|---|--|--|---|
|  | PF-05 – Plano de Bacia Hidrográfica da RH-III | Tipo de Documento: Relatório Técnico |  |
| | COMPLEMENTAÇÃO E FINALIZAÇÃO DO PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - PIRH-PS E ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES | Cód. do Documento: Apêndice 1_Enquadramento1 | |

O CSTR – Continus Strike Tank Reactor é um tanque agitado com escoamento contínuo e sem acúmulo de reagentes ou produtos e é operado com a agitação constante, controle de temperatura e regime contínuo de abastecimento. É indicado para as mais variadas biomassas sólidas, pastosas e líquidas, com tecnologia para digestão anaeróbica de alta performance. O biodigestor CSTR é baseado num fluxo contínuo de entrada de biomassa fresca misturada de forma contínua e otimizada em seu interior, que trabalham em temperatura controlada, gerando uma alta produção de biogás (KUCZMAN, 2018 *Apud* MÜHLEN et al., 2020). Um dos biodigestores mais encontrado em áreas rurais, se não for o mais encontrado, o Biodigestor de Lagoa Coberta ou BLC, é muito empregado em propriedades rurais devido a produção animal. Normalmente instalado por meio de um tanque escavado no solo, é impermeabilizado e coberto com um material geossintético, produto feito com polímero sintético ou natural, em forma de manta ou como PVC (policloreto de vinil), PEAD (Polietileno de Alta Densidade), entre outros. Este modelo é considerado de baixo nível tecnológico e se caracteriza pela baixa permeabilidade de fluídos e gases. Seu formato geralmente é retangular, mas a inclinação e a instalação dependem das características do solo de cada propriedade (CIBIOGÁS, 2020 *Apud* MÜHLEN et al., 2020).

| | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------|
|  | Elaborado por: | Nº da revisão | Revisado por: | Aprovado por: | PF-05 | 20/20 |
| | | 01 | | | Apêndice 1_Enquadramento | |