



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

MATHEUS RODRIGUES DE ARAÚJO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO REUSO DO EFLUENTE TRATADO DA ETE DE SANTA FÉ PARA FERTIRRIGAÇÃO DE MANGA

Palmas – TO

2018

MATHEUS RODRIGUES DE ARAÚJO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO REUSO DO EFLUENTE
TRATADO DA ETE DE SANTA FÉ PARA FERTIRRIGAÇÃO DE MANGA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Dalton Cardozo Bracarense.

Palmas – TO

2018

MATHEUS RODRIGUES DE ARAÚJO
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO REUSO DO EFLUENTE
TRATADO DA ETE DE SANTA FÉ PARA FERTIRRIGAÇÃO DE MANGA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Dalton Cardozo Bracarense.

Aprovado em: 16 / 11 / 18

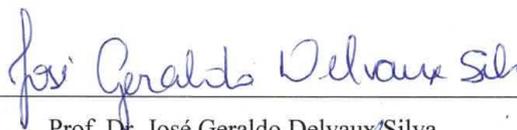
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. Dalton Cardozo Bracarense

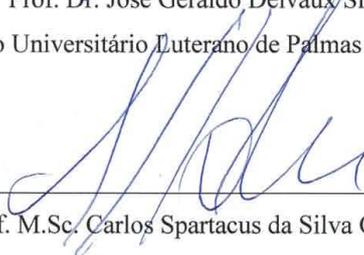
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Dr. José Geraldo Delvaux/Silva

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ser meu guia, em especial durante o período de realização deste trabalho. Agradeço por todas as bênçãos. Sem Ele, nada disso seria possível.

A minha mãe e ao meu pai, por sempre me apoiar em todas as minhas decisões, sem exceção. Por acreditar e confiar no meu potencial.

As minhas tias Maria dos Santos e Josilia, e ao meu tio Maciel, por ser parte essencial nessa caminhada, e sem vocês eu não teria conseguido vencer esta batalha.

Ao meu avô e a minha avó por serem meus guardiões e pelos ensinamentos de vida.

A minha prima Mychely por todo o apoio, e aos meus irmãos Thiago, Kaelany, Hernandes, Manuela, Fernando e Rodrigo por acreditarem nesse sonho.

Aos meus amigos de vida: André, Edgard, Matheus Wanderley, Rafael e Wallison pela confiança e incentivo. E aos meus amigos de faculdade: Rodrigo e Luan por caminharem junto comigo durante todo esse período de pesquisa, e por toda força concedida durante esses 5 anos de curso.

A minha namorada Núbia, por todos os ensinamentos compartilhados, por me ajudar na objetividade do texto e pelo companheirismo essencial durante essa jornada.

Ao meu professor orientador, Dalton Bracarense, pelos ensinamentos e experiência compartilhada e por toda compreensão. Meu eterno agradecimento e admiração.

A todos os professores de Engenharia civil da instituição de ensino CEULP/ULBRA por todos os ensinamentos ao longo desses 5 anos de academia.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização desse trabalho.

RESUMO

ARAÚJO, Matheus Rodrigues de. **Análise da viabilidade técnica e econômica do reuso do efluente tratado da ETE de Santa Fé para fertirrigação de manga.** 2018. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho teve como finalidade avaliar a qualidade e quantidade do efluente tratado da ETE de Santa Fé na cidade de Palmas – TO e permitir o seu emprego para agricultura. A ETE possui um sistema de tratamento por meio de reator UASB seguidos por lodos ativados. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados foram baseados nas normas nacionais e internacionais visando destinar o uso desse efluente para irrigação e fertilização da cultura de manga, avaliando os critérios que tornem seguro a aplicação do reuso na cultura sem riscos a saúde dos envolvidos no processo. Além disso, foi avaliada a viabilidade técnica e econômica para implantação desse projeto. O estudo foi realizado por meio de pesquisa descritiva utilizando métodos quantitativos que são viés para a determinação da qualidade do efluente tratado. Com a análise dos dados, foi necessária a utilização de um tanque de desinfecção para baixar a quantidade de coliformes termotolerantes presentes no efluente. Os resultados após esse processo foram satisfatórios, e atendem as diretrizes nacionais e internacionais para reuso na agricultura. O presente estudo contribui significativamente para o meio ambiente, uma vez que segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) a agricultura consome cerca de 70% de toda a água disponível. O reuso surge como alternativa para mitigar os impactos causados por essa atividade.

Palavras-chave: Efluente tratado. Qualidade do Esgoto. Reuso na Agricultura.

ABSTRACT

ARAÚJO, Matheus Rodrigues de. **Analysis of the technical and economic viability of treated effluent reuse from the Santa Fé Sewage Treatment Station for fertigation of mango.** Course Completion dissertation (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas/TO, 2018.

The purpose of this dissertation was to evaluate the quality and quantity of the treated effluent from the Santa Fé Sewage Treatment Plant in the city of Palmas - TO and allow it to be used in agriculture. The Sewage Treatment Station has a treatment system through the UASB reactor followed by activated sludge. The parameters physical, chemical and biological analyzed were based on national and international standards for the use of this effluent in the irrigation and fertilization of the mango crop, evaluating the criteria that make safe the application of reuse in the crop without risks to the health of those who is involved in the process. In addition, the technical and economic feasibility for this project was evaluated. The study was conducted through descriptive research using quantitative methods that are bias for the determination of the quality of the treated effluent. With the data analysis, it was necessary to use a disinfection tank to lower the amount of thermotolerant coliforms present in the effluent. The results after this process were satisfactory, and respond to national and international guidelines for reuse in agriculture. The present study contributes significantly to the environment, because according to the National Water Agency (NWA), agriculture consumes about 70% of all available water. Reuse appears as an alternative to mitigate the impacts caused by this activity.

Keywords: Treated effluent. Sewage Quality. Reuse in Agriculture.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diretrizes PROSAB para reuso Agrícola	7
Quadro 2: Diretrizes PROSAB para reuso Urbano.	8
Quadro 3: Formas de reuso associada ao risco a cada uma das partes.	11
Quadro 4: Aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgoto doméstico.	13
Quadro 5: Parâmetros recomendados pela ANBT NBR 13.969/1997	14
Quadro 6: Parâmetros de qualidade do reuso Agrícola restrito.	16
Quadro 7: Descrições dos parâmetros físicos dos esgotos domésticos	17
Quadro 8: Descrições dos parâmetros químicos dos esgotos domésticos.	17
Quadro 9: Descrições dos parâmetros químicos dos esgotos domésticos. (Continuação)	18
Quadro 10: Características de cada agente contaminantes do esgoto.	18
Quadro 11: Consumo médio de água diário da mangueira Tommy Atkins.	19
Quadro 12: Quantidades de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O indicadas para a adubação de plantio e formação da mangueira irrigada.	20
Quadro 13: Quantidades de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O indicadas para a adubação produção da mangueira em função da produtividade e da disponibilidade de nutrientes.	20
Quadro 14: Avaliação econômica do cultivo de manga.	21
Quadro 15: Característica do efluente tratado da ETE de Santa Fé.	26
Quadro 16: Características do Efluente da ETE de Santa Fé após o tratamento dos dados.	28
Quadro 17: Quantidades de nutrientes necessários de acordo às características do solo.	30
Quadro 18: Comparação dos resultados da ETE Santa Fé com os órgãos regulamentadores.	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Valores selecionados para a distribuição t (Icmc – USP. 2010 online).....	27
Figura 2- Área disponível para irrigação.....	29
Figura 3- Redução dos níveis de Coliformes Fecais de acordo as concentrações de cloro adicionado. (Fonte: Pianowski e Janissek (2003)).	33

LISTA DE EQUAÇÕES

Média Aritmética.....	25
Desvio Padrão.....	25
Média \pm Distribuição de Student.....	28

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Água
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COMUSA – Companhia de Saneamento de Novo Hamburgo
COEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
EF – Estreptococos fecais
IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura
NMP – Número Mais Provável
NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez
OD – Oxigênio Dissolvido
OMS – Organização Mundial de Saúde
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RAS – Razão de Adsorção de Sódio
SST – Sólidos Suspensos Totais
UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
USEPA – Agência de Proteção ao Meio Ambiente

LISTA DE SÍMBOLOS

Cl. Res. – Cloro Residual

Cter – Coliformes Termotolerantes

dS/m – Deci-Siemens por Metro

L – Litros

K – Potássio

kg – Quilograma

m² – Metro quadrado

m³ – Metro cúbico

mL – Mililitro

mmolc – Milimol carga

N – Nitrogênio

P – Fósforo

pH – Potencial de Hidrogênio

T – Turbidez

μS/cm – Micro-Siemens por Centímetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo Geral	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2 JUSTIFICATIVA	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 REUSO DE EFLUENTE TRATADO	3
2.2 TIPOS DE REUSO.....	3
2.3 REUSO PARA FINS POTÁVEIS	4
2.4 REUSO PARA FINS NÃO POTÁVEIS.....	5
2.5 TIPOS DE TRATAMENTO PRA REUSO DO EFLUENTE	8
2.5.1 Reator UASB.....	9
2.5.2 Lodos ativados	10
2.6 ANÁLISE DE RISCO À SAÚDE.....	10
2.7 ASPECTOS SOCIOCULTURAIS.....	11
2.8 ASPECTOS FINANCEIROS.....	12
2.9 POLÍTICA E REGULAÇÃO	13
2.10 QUALIDADE DO ESGOTO	17
2.10.1 Características físicas.....	17
2.10.2 Características Químicas	17
2.10.3 Características Biológicas	18
2.11 CULTIVO DE MANGA	19
2.11.1 Irrigação e Adubação	19
2.12 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	22
3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	22
3.2.1 Levantamento de volumes produzidos e demandados e quantitativos de nutrientes necessários para o cultivo de manga	22
3.3 EXIGÊNCIAS LEGAIS PARA REUSO NA AGRICULTURA.....	23
3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	23

3.5 AVALIAÇÃO DOS RISCOS ASSOCIADOS AS PARTES ENVOLVIDAS	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE TRATADO DA ETE DE SANTA FÉ	25
4.1.1 Análise Estatística dos Dados	27
4.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA	28
4.2.1 Levantamento de Volumes Produzidos e Demandados	28
4.2.2 Levantamento dos Nutrientes para o Cultivo de Manga	29
4.3 EXIGÊNCIAS LEGAIS PARA REUSO NA AGRICULTURA.....	31
4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	33
4.4.1 Dimensionamento do Tanque de Contato	34
4.4.2 Custo Financeiro do Tanque de Contato.....	35
4.4.3 Custo Financeiro do quantitativo de Cloro	35
4.4.4 Economia gerada com Fósforo e Nitrogênio	36
4.4.5 Economia gerada com água	37
4.5 ANÁLISE DE RISCO À SAÚDE.....	37
5. CONCLUSÃO.....	39
6. REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por água, devido, sobretudo ao crescimento populacional e às atividades produtivas decorrentes, somado à degradação ambiental dos corpos hídricos, tem criado um cenário de escassez hídrica em diversas regiões do globo. Este cenário de escassez influencia as mudanças de hábitos da população, em especial na atividade de agricultura irrigada, que vem buscando a redução no consumo de água e a otimização dos sistemas de irrigação (SILVA et al., 2012).

Nesse contexto, a proposta de reuso de águas vem sendo amplamente disseminado no Brasil e no mundo nos últimos anos. As discussões se iniciam a respeito do uso racional da água e em situações mais específicas, finalizam com a aplicação do reuso de águas propriamente dito. São diversas as modalidades de reuso, tendo aplicações diretas na indústria, agricultura, usos urbanos, dentre outras atividades. Dessa forma, diminuindo os impactos causados ao meio ambiente, é utilizado como forma de mitigar a escassez da água e como alternativa de combate à crise hídrica presentes em algumas regiões do Brasil (SANTOS, 2017)

De maneira geral, existem as normativas vigentes para a reutilização de esgoto tratado que especificam os padrões e critérios de qualidade microbiológica, considerando os tratamentos mínimos requeridos para os efluentes, o tipo de cultura a ser irrigada e aos métodos de irrigação empregados (PERIN, 2006). No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13969/1997 estabelece parâmetros junto a outras entidades regulamentadoras para as quantidades necessárias de alguns critérios que permitem a aceitação do efluente tratado, como: a turbidez da água, quantidade de cloro residual, quantidade de coliformes fecais, DBO, pH entre outros parâmetros que permitem a aceitação ou rejeição do efluente para agricultura.

O estudo apresenta as condições e parâmetros para o reuso do efluente tratado pelo sistema com reator UASB seguido de lodos ativados da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Santa Fé no município de Palmas – TO com vazão de 20 l/s para irrigação e adubação da cultura de manga. O trabalho apresentará as características do efluente tratado dessa ETE comparada aos padrões permitidos pelos órgãos regulamentadores e avaliar as condições técnica e econômica para a destinação a essa cultura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica quanto aos parâmetros físico-químicos e financeiro do reuso de efluente da ETE de Santa Fé para fertirrigação da cultura de manga.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o efluente tratado da ETE de Santa Fé
- Analisar a viabilidade técnica da utilização do efluente tratado da ETE de Santa Fé para o cultivo de manga.
- Analisar a viabilidade econômica da utilização do efluente tratado da ETE de Santa Fé para o cultivo de manga.
- Avaliar o risco associado a cada uma das partes envolvidas de acordo com as regulamentações nacionais para reuso.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo a ANA (2017), a agricultura irrigada é o uso que mais consome água no Brasil e no mundo, estima-se que 70% do consumo total de água seja destinada a essa atividade. Diante disso, o reuso do efluente proveniente de ETE para irrigação e fertilização na agricultura se tornam alternativas importantes para mitigar os impactos que essa atividade provoca no meio ambiente.

Nesse sentido, o estudo é relevante, pois avalia a quantidade em relação aos volumes de efluente produzidos pela ETE e demandados de acordo com a necessidade da planta. Soma-se a isso, a análise qualitativa que atestam a qualidade em relação aos parâmetros regulamentados para reuso, bem como as características do efluente tratado a fim de saber as concentrações em nutrientes essenciais. Por fim, o estudo tratará também da viabilidade econômica e dos riscos aos envolvidos no processo do reuso, o trabalho propõe técnicas que tornem seguro a aplicação do efluente tratado sem riscos à saúde humana.

Os resultados encontrados serão úteis, pois a destinação do efluente tratado para irrigação e adubação proporciona um ganho ambiental significativo beneficiando a agricultura, a tese se justifica pela geração de economia expressiva no custo financeiro com água e nutrientes mitigando os impactos ambientais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REUSO DE EFLUENTE TRATADO

O reuso de efluente tratado proveniente de ETE, quando bem planejado, tem demonstrado ser uma das alternativas mais interessantes de suprimento. Por meio da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carregada em uso anterior, empregando-a novamente em formas que requerem qualidade menos rigorosa que o primeiro uso, encurtando assim o ciclo hídrico da natureza em favor do equilíbrio energético (METCALF;EDDY, 2003).

Sempre que a água torna-se um recurso eminente de escassez em determinado uso, são buscadas, de formas sistematizadas ou não, alternativas de suprimento ou repressão do consumo para que seja estabelecido o equilíbrio oferta/demanda desse recurso (MENDONÇA, 2004). Dessa forma, o reuso do efluente aparece como alternativa para o crescimento da oferta de água, proporcionando viabilidade técnica e econômica, como também a racionalização deste recurso. O reuso é uma técnica atualmente utilizada em vários países desenvolvidos. Podendo ocorrer em diversas maneiras como será visto nas seções seguintes.

2.2 TIPOS DE REUSO

De forma abrangente, o reuso da água ocorre de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não planejadas e para fins potáveis e não potáveis (OMS, 1973).

- Reuso indireto: Esse tipo de reuso acontece quando a água já utilizada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída.
- Reuso direto: Consiste no uso planejado e deliberado de efluente tratado para determinadas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.
- Reciclagem interna: É o reuso da água internamente a instalações industriais tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Soma se a isso, buscando um melhor detalhamento as diferentes formas e terminologias do reuso, são acrescentados outros conceitos segundo Mieli (2001):

- Reuso indireto não planejado: É aquele em que a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada.
- Reuso indireto planejado: É aquele no qual os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de alguma necessidade.
- Reuso direto planejado das águas: É aquele cujos efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso. Já vem sendo praticado por indústrias e em irrigação.

2.3 REUSO PARA FINS POTÁVEIS

Caracteriza reuso potável como uma alternativa associadas a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inaceitável. Além disso, os custos dos sistemas de tratamentos avançados, que seriam necessários para um projeto dessa natureza, levariam à inviabilidade econômica do abastecimento público, não havendo ainda, garantia de proteção adequada da saúde dos consumidores (BEM FILHO, 2003).

De acordo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o reuso pode ser dividido em reuso potável direto e reuso potável indireto (OMS, 1973).

- Reuso Potável direto: Consiste quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é posteriormente utilizado no sistema de água potável. É praticamente inviável devido ao elevado custo do tratamento e ao alto risco sanitário associado;
- Reuso Potável indireto: Esse caso o esgoto, após o processo de tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e terminantemente utilização como água potável.

2.4 REUSO PARA FINS NÃO POTÁVEIS

Algumas terminologias são adotadas para o Reuso não potável, suas aplicações e categorias, de acordo com Mancuso e Santos (2003), são adotadas as seguintes classificações para reuso não potável.

- Industrial
- Agrícolas
- Urbanos
- Meio Ambiente

2.4.1 Reuso Industrial

As atividades industriais no Brasil respondem por aproximadamente 20% do consumo de água, sendo que, pelo menos 10% são extraídas diretamente de corpos d'água e mais da metade é tratada de forma inadequada ou não recebe nenhuma forma de tratamento. O reuso e reciclagem na indústria constituem ferramentas de gestão fundamentais para a sustentabilidade da produção industrial. A prática de reuso industrial é basicamente utilizada nas seguintes situações: torre de resfriamento, caldeiras, lavagem de peças e equipamentos, irrigação de área verde, lavagem de pisos e veículos e processos industriais (BIFF, 2009).

O reuso industrial proporciona formas de mitigar o elevado consumo de águas nas indústrias e conseqüentemente promover uma política sustentável reduzindo os impactos sobre o meio ambiente.

2.4.2 Reuso Agrícola

Diante de um cenário associado à crise hídrica e a escassez desse recurso natural, as atividades agrícolas devem ter prioridade no reuso do efluente, esse setor, atualmente, utiliza 70 % do consumo total de água no Brasil devidos as grandes lavouras na produção de culturas alimentícias e não alimentícias em todas as regiões do Brasil (BERNARDI, 2003).

O reuso agrícola por meio da irrigação, pode maximizar a produção agrícola, mantendo constante a quantidade de produção estoque, racionalizar o consumo de água além da minimização de incertezas contra irregularidades nos períodos chuvosos.

O efluente provindo da ETE devidamente tratado pode ser utilizado como: (BERNARDI, 2003).

- Culturas de alimento que não necessitam de processamento, como forma de irrigação e fertilização, incluindo a esse grupo, as culturas de alimentos que podem ser consumidos de forma crua;
- Culturas de alimento que necessitam de processamento industrial, na forma de irrigação superficial, por exemplo, a irrigação de pomares e vinhas;
- Culturas não alimentícias, que se destinam a produção de alimentos destinados a criação de animais, por exemplo, irrigação de forragens, pastos e etc.;
- Dessedentação de animais.

A prática do reuso do efluente na atividade agrícola possibilita uma forma efetiva de controlar a poluição e uma alternativa cabível de maximizar as potencialidades de recursos hídricos nas regiões com índices de escassez. Essa forma de reuso possibilita potencializar aspectos econômicos e ambientais.

De acordo com Mancuso e Santos (2003), na categoria de reuso de águas servidas para a agricultura irrigada de culturas e olericultura, as limitações se referem ao efeito da qualidade da água, principalmente a salinização dos solos, e a preocupação patogênica (bactérias, vírus e parasitas) na saúde pública.

Conforme Santos (*apud* PROSAB, 2017) para reuso agrícola deve-se respeitar os seguintes critérios de acordo o Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Diretrizes PROSAB para reuso Agrícola

Categoria	CTer por 100 mL	Ovos helmintos/L	Observações
Irrestrita: Qualquer cultura, hidropônicas e consumidas cruas.	$< 1 \times 10^3$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^4$ Cter/100ml no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado
Restrita: Hidropônico e qualquer cultura ingerida crua, culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores.	$< 1 \times 10^4$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^5$ CTer / 100mL no caso da existência de barreiras adicionais de proteção ao trabalhador. É facultado o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que associado à irrigação subsuperficial.

Fonte: SANTOS, (apud PROSAB, 2017)

2.4.3 Reuso Urbano

Os potenciais para prática de reuso urbano são bastante diversificados, essa forma de reuso, por ter um contato direto com o humano necessita de um tratamento mais rigoroso sendo um necessário um efluente de alta qualidade. Em alguns casos, podem levar a custos incompatíveis em relação aos benefícios trazidos pelo reuso.

De maneira geral, eles podem ser irrestritos e restritos: (SANTOS, 2017)

- Irrestrito: a utilização do efluente nessa modalidade é destinada a usos que não tem restrições ao público, por exemplo, limpeza do pavimento de ruas e avenidas, limpeza de parques e jardins abertos ao público, entre outros aspectos paisagísticos e ornamentais.

- Restrito: o efluente nessa modalidade pode ser utilizado em áreas com acesso restrito ao público, por exemplo, uma desobstrução de sistemas de captação de esgoto ou galerias para captação de águas pluviais, limpeza da poeira em estradas vicinais, entre outros aspectos.

De acordo com Mancuso e Santos (2003), Na categoria para irrigação de ambientes urbanos (parques, jardins, clubes, áreas residenciais, cemitérios, cinturões verdes e gramados), a limitação está relacionada com a contaminação das águas de superfície e subterrânea devido à gestão ineficiente e com restrições na comercialização dos produtos agrícolas e aceitação de mercados.

Conforme Santos (*apud* PROSAB, 2017) para reuso urbano deve-se respeitar os seguintes critérios de acordo o Quadro 2 a seguir:

Quadro 2: Diretrizes PROSAB para reuso Urbano.

Categoria	CTer por 100 mL	Ovos helmintos/L
Usos irrestritos: Irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios); usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas.	< 200	≤ 1
Usos restritos: Irrigação (parques, canteiros de rodovias); usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção.	< 1 x 10 ⁴	≤ 1
Descarga de toaletes	< 1 x 10 ³	≤ 1

Fonte: SANTOS, (*apud* PROSAB, 2017)

2.4.4 Meio Ambiente

Nessa forma de reuso, as práticas adotadas consistem em programas de gerenciamento que tem por finalidade potencializar os recursos hídricos reusando o efluente tratado e consequentemente evitando o lançamento direto no meio ambiente.

De acordo com Hespanhol (2002), o reuso quando bem planejado trás melhorias significativas ao meio ambiente, das quais: Evita a descarga do esgoto diretamente nos corpos d'água. Preserva os recursos subterrâneos. Garante a conservação do solo, diminuindo a existência de humos e evitando os riscos de erosão. Contribui principalmente para países desenvolvidos, aumentando a produção com culturas irrigadas pelo esgoto tratado, como também aumentando a qualidade de vida e as condições sociais das pessoas ligadas a esse esquema de reuso.

2.5 TIPOS DE TRATAMENTO PRA REUSO DO EFLUENTE

Os processos de tratamento do esgoto, conforme Von Sperling (1996) possuem três formas iniciais, são elas: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e

tratamento terciário. O tratamento preliminar destina-se principalmente à remoção de sólidos agressivos e areia, o mecanismo utilizado para remoção desses sólidos é através de grades de proteção, em seguida o efluente passa por um desarenador e um medidor de vazão. Algumas vantagens são citadas por esse sistema de tratamento primário, por exemplo: proteção dos equipamentos de bombeamento, proteção das unidades subsequentes e proteção dos corpos receptores. O tratamento primário destina-se à remoção de partículas sólidas em suspensão sedimentáveis e de sólidos flutuantes, apesar do efluente passar pelo processo de tratamento preliminar ainda sobram partículas em suspensão, que são removidas em unidades de sedimentação através de um decantador primário. Já o tratamento secundário tem como objetivo a remoção da matéria orgânica, uma vez que essa se apresenta da seguinte forma: DBO solúvel e DBO em suspensão, o processo apresenta formas de acelerar a fase de degradação nos corpos receptores, enquanto que os processos de tratamento preliminar e primário utilizam mecanismos de origem física, o processo de tratamento secundário utiliza mecanismos de origem bioquímica realizada por microrganismos, como: bactérias, protozoários, fungos e etc.

O tratamento secundário, geralmente inclui unidades de tratamento preliminar, porém em algumas unidades dispensam unidades de tratamento primário. Existem diversas modalidades de tratamento secundário, como: Lagoas de estabilização, Lodos aditivados, Filtros biológicos, Tratamento anaeróbio entre outros. E por fim, o tratamento terciário, este se faz necessário para retirada de materiais específicos que não foram retirados nas duas etapas anteriores, por exemplo: metais pesados, algum poluente biodegradável, matéria orgânica entre outros nutrientes (VON SPERLING, 1996). Nesse estudo, serão abordados dois tipos de tratamento secundário do esgoto que são adotados na ETE de Santa Fé, são eles: Lodos aditivados e Sistema com reator UASB.

2.5.1 Reator UASB

Conforme Von Sperling (1996) nestes reatores a biomassa cresce dispersa no meio, diferente dos casos de filtros biológicos que a biomassa fica aderida ao meio suporte especialmente incluído. A própria biomassa ao crescer no Reator UASB pode formar pequenos grânulos correspondentes à aglutinação de diversas bactérias. Esses grânulos tendem a servir de meio suporte para outras bactérias, essa granulação contribui para eficiência do sistema, porém não é necessária para o funcionamento do reator.

A concentração de biomassa nesses reatores é muito elevada, diminuindo o volume requerido de manta de lodo para os reatores anaeróbios se comparada a outros sistemas de tratamento. O fluxo do líquido é ascendente, e como resultado de atividades anaeróbias são formados gases, como por exemplo: gás metano e gás carbônico. Esse gás é coletado na parte superior onde também abrigam os sedimentos, porém, a gás não penetra na zona de sedimentação e a separação sólido-líquido não é prejudicada, o efluente sai de forma clarificada e a concentração de biomassa no reator é mantida elevada. O lodo já sai estabilizado podendo simplesmente ser desidratado em leitos de secagem. E diferente dos filtros anaeróbios, esse sistema de tratamento não necessita de decantação primária, facilitando ainda mais o sistema de tratamento (VON SPERLING, 1996).

2.5.2 Lodos ativados

Segundo a Comusa (2007) esse sistema de tratamento de esgotos denominado lodos ativados é mundialmente utilizado tanto para o tratamento de efluentes sanitários (fezes, urina e águas de lavagem em geral) quanto de origem industrial. É um sistema que necessita de um alto grau de mecanização quando comparado a outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e, conseqüentemente, exige maior consumo de energia elétrica.

Algumas características do sistema de tratamento por lodos ativados são:

- Necessidade de pequena área física disponível para sua implantação (a tecnologia exige requisitos mínimos de área).
- Elevado grau de eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrogenada.
- Flexibilidade de operação.
- Necessidade de análises físico-químicas e microbiológicas frequentes para monitoramento e controle do processo.
- Exige operadores qualificados para a operação.
- Os custos operacionais estão associados ao consumo de energia elétrica (alto grau de mecanização e automação), consumo de produtos químicos (alcalinizantes, por exemplo) e capacitações periódicas dos responsáveis pela operação.

2.6 ANÁLISE DE RISCO À SAÚDE

A OMS estabelece parâmetros em relação à utilização de efluentes para fins agrícolas, priorizando a qualidade biológica dos efluentes utilizados na irrigação para esse tipo de

atividade, com intuito de reduzir as probabilidades de disseminação de patógenos, impedindo diferentes tipos de doenças. Várias formas de tratamento de efluentes são utilizadas para que atinjam o enquadramento de qualidade indicado pela OMS (WHO, 2006).

A presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reuso, principalmente naqueles oriundos de estações de tratamento de esgotos de grandes conurbações, com polos industriais expressivos, caracteriza reuso potável como uma alternativa associadas a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inaceitável. Os custos dos sistemas de tratamentos avançados, que seriam necessários para um projeto dessa natureza, levariam à inviabilidade econômica do abastecimento público, não havendo ainda, garantia de proteção adequada da saúde dos consumidores (HESPANHOL, 2002).

Segundo Cunha apud Lavrador (2010), podemos associar os riscos à saúde de acordo com as formas presentes de reuso, o Quadro 3 a seguir demonstra quais os riscos associados a cada uma das partes:

Quadro 3: Formas de reuso associada ao risco a cada uma das partes.

FORMAS DE REUSO	RISCO A SAÚDE
Agrícola	Contaminação de alimentos (substâncias químicas tóxicas); Contaminação direta de trabalhadores; Contaminação do público por aerossóis; Contaminação de consumidores de animais que se alimentam das pastagens irrigadas ou criados em lagoas contaminadas.
Industrial	Comestíveis; Contaminação direta de trabalhadores.
Reuso urbano não potável	Conexão cruzada entre sistemas de água potável e de reuso; Contato com a água recuperada utilizada para irrigação de parques e jardins ou lavagem de ruas; Contaminação direta de trabalhadores.

Fonte: Cunha *apud* Lavrador (2010)

2.7 ASPECTOS SOCIOCULTURAIS

É indubitável que a água é um recurso imprescindível a todos os ecossistemas, devido a algumas ações desrespeitosas do homem contra esse recurso natural, ou até mesmo o mau uso, provoca interferências e mudanças climáticas significativas no ciclo hidrológico que afetará futuramente a disponibilidade de água doce à população. Os programas de reuso necessitam de um processo de planejamento e aceitação por parte da sociedade. As

informações para aceitação do reuso do efluente devem ser expostas com clareza e de forma ampla e objetiva em todas as partes da sociedade (DANTAS; SALES, 2009).

Os responsáveis pelo planejamento e projetos de reuso de efluente devem ser devidamente reconhecidos, por se tratar de responsabilidades de gestão do sistema, apresentando a ambas as partes da sociedade as vantagens e benefícios do reuso do efluente que atenderá de forma direta e indireta toda a população (DANTAS; SALES, 2009).

Existem interferências socioculturais no reuso do efluente na agricultura, alguns países condenam a prática, outros aceitam a política do reuso, e acham politicamente e ambientalmente corretas. De fato, há uma enorme variabilidade na aceitação ou rejeição do reuso do efluente. Normalmente é bem aceito na maioria dos países, principalmente naqueles onde o acesso à água doce não é facilmente disponibilizado (CARVALHO et al., 2014).

2.8 ASPECTOS FINANCEIROS

A prática do reuso proporciona economias diretas em diversas aplicações, por exemplo, o reuso voltado para agricultura além de proporcionar maior produtividade, trás consigo economias bastante satisfatórias, no consumo de água como também na redução de custos com fertilizantes.

De acordo com Hespanhol (2002), os benefícios econômicos proporcionados são graças ao aumento da produtividade agrícola, pois melhorando solo através de adubações e proporcionando irrigação adequada através do efluente tratado viabiliza uma maior produção na mesma área de plantio. Algumas variáveis devem ser consideradas para avaliar e indicar viabilidade econômica para o sistema de agricultura irrigada com efluente tratado. São elas: análise dos custos de capitais envolvidos, custos de operação e manutenção, custos de implantação do sistema irrigado com esgoto tratado, analisando o sistema de transporte da ETE para a área de plantio.

Segundo Hespanhol (2002), com estudos realizados em diversos países que reusam o efluente tratado para cultivo agrícola, apresentam um grande aumento na produtividade. O Quadro 4 a seguir, mostra o aumento da produtividade em toneladas/hectare/ano possibilitada através do reuso do esgoto tratado.

Quadro 4 - Aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgoto doméstico.

Irrigação efetuada com	Trigo	Feijão	Arroz	Batata	Algodão
Esgoto Bruto	3,34	0,9	2,97	23,22	2,56
Efluente Primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,3
Efluente de Lagoa e Estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água + NPK	2,7	0,72	2,03	17,16	1,7
Número de anos para cálculo da produtividade média	8	5	7	4	3

Fonte: Hespanhol *apud* Shende (2002)

2.9 POLÍTICA E REGULAÇÃO

Segundo Cunha (2008), no Brasil, a prática de reuso é recente, e a legislação estabelece parâmetros e diretrizes que aprimoram a prática já adotada mundialmente, tornando segura a aplicação e minimizando os riscos de contaminação e transmissão de doenças veiculadas ao efluente tratado. Os parâmetros para o reuso do efluente não podem somente ser adotados, faz-se necessária que os órgãos regulamentadores estabeleçam condições para a aplicação da técnica, uma vez que se trata do risco à saúde pública.

No caso de esgoto essencialmente doméstico, ou com características similares, o esgoto doméstico deve ser utilizado para fins não potáveis, porém sanitariamente seguros. No Quadro 5 a seguir, a ABNT NBR 13.969/1997 estabelece diretrizes relacionadas às classes de reuso e os critérios de aceitação:

Quadro 5 - Parâmetros recomendados pela ANBT NBR 13.969/1997

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	Reuso nas descargas dos vasos sanitários	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual
T < 5 NTU	T < 5 NTU	T < 10 NTU	CF < 5.000 NMP/100 mL
CF < 200 mg/l	CF < 500 NMP/100 mL mg/l	CF < 500 NMP/100 mL	OD > 2,0 mg/L
6 < Ph < 8	Cl. Res. > 0,5 mg/L	–	–
0,5 < Cl. Res. < 1,5 mg/L	–	–	–
Requer tratamento aeróbio + Filtração + Cloração	Requer tratamento aeróbio + Filtração de areia + desinfecção	Normalmente água de máquina d lavar satisfaz e requer somente cloração.	–

Fonte: Adaptado ABNT NBR 13.969/1997

Além das diretrizes estabelecidas pela NBR 13.969/1997, outras entidades governamentais estabelecem condições e parâmetros para o reuso do efluente tratado na agricultura. No Quadro 6 a seguir, o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA, 2017), apresenta as quantidades máximas de cada parâmetro a ser tolerada no efluente tratado de acordo com as referências nacionais e internacionais para reuso agrícola.

Quadro 6 - Parâmetros de qualidade do reuso Agrícola restrito.

		Agência de Proteção ao Meio Ambiente (USEPA) (2012)	Organização Mundial de Saúde (OMS) (2006)	Resolução Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) nº 2/2017	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) (2006)	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2006)
TRATAMENTO		Secundário + Desinfecção	Não especificado Remoção log varia entre <1 e 4	—	Combinação de Processos que alcancem critérios	—
Critérios Indicadores de Patógenos	Coliformes Termotolerantes	< 200 NMP/100 MI	10 ⁴ a 10 ⁶ NMP/100 mL	< 10 ³ NMP/100 mL	< 10 ⁴ NMP/100 mL	10 ³ a 10 ⁵ NMP/100 mL
	Ovos de helminto	—	< 1 ovo de helminto/L	< 1 ovo de helminto/L	< 1 ovo de helminto/L	< 1 ovo de helminto /L
Outros Critérios	Ph	6,0 - 9,0	—	6,0 - 8,5	—	—
	DBO	≤ 30 mg/L	—	—	—	—
	SST	≤ 30 mg/L	—	—	—	—
	RAS	—	—	(15 mmolL ⁻¹) ^{1/2}	—	(12 mmolL ⁻¹) ^{1/2}
	Cloro Residual	1 mg/L (min)	—	—	—	—
	Condutividade	—	—	—	< 3.000 µS/cm	—	< 2.9 dS/m -
Monitoramento	Coliformes Termotolerantes	Diariamente	Cada 2 semanas	—	—	—
	Ovos de helmintos	—	Mensalmente	—	—	—
	Ph	Semanalmente	—	—	—	—
	DBO	Semanalmente	—	—	—	—
	SST	Diariamente	—	—	—	—
	Cloro Residual	Continuamente	—	—	—	—

Fonte: IICA (2017).

2.10 QUALIDADE DO ESGOTO

As características observadas para definir a qualidade do esgoto são: características físicas, características químicas e características biológicas.

2.10.1 Características físicas

De acordo com Von Sperling (2006), as características físicas dos efluentes são determinadas pelos seguintes parâmetros, conforme o quadro 7 a seguir:

Quadro 7 - Descrições dos parâmetros físicos dos esgotos domésticos

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> — Influência na atividade microbiana; — Influência na solubilidade dos gases; — Influência na viscosidade do líquido.
Cor	<ul style="list-style-type: none"> — Esgoto fresco: Ligeiramente cinza; — Esgoto séptico: Cinza escuro ou preto.
Odor	<ul style="list-style-type: none"> — Esgoto fresco: Odor oleoso; — Esgoto séptico: Odor fétido; — Despejos industriais: Odores características.
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> — Grande variedade de sólidos em suspensão; — Esgotos frescos ou concentrados: maior turbidez.

Fonte: Von Sperling (2006)

2.10.2 Características Químicas

Conforme Von Sperling (2006), as características químicas a ser observadas no esgoto são praticamente os teores de matéria orgânica e a quantidade de sólidos em suspensão. Os Quadros 8 e 9 a seguir mostra os parâmetros e as descrições de cada item a ser analisado.

Quadro 8 - Descrições dos parâmetros químicos dos esgotos domésticos.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
Sólidos Totais: - suspensão - dissolvidos	Orgânicos e inorgânicos; suspensos e dissolvidos; sedimentáveis.
Matéria orgânica: * Determinação Indireta: - DBO - DQO * Determinação Direta: -COT	Principais componentes: proteínas, carboidratos e lipídios. Carbono orgânico total; Medida direta da matéria orgânica.

Fonte: Von Sperling (2006).

Quadro 9 - Descrições dos parâmetros químicos dos esgotos domésticos. (Continuação)

Nitrogênio total - nitrogênio orgânico - amônia - nítrito - nitrato	Nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico
Fósforo - Fósforo Orgânico - Fósforo Inorgânico	Nutriente indispensável para o tratamento biológico; Fósforo Orgânico: combinado à matéria orgânica.
Ph	Indicador características ácidas ou básicas.
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão no meio.
Cloretos	Água abastecimento e dejetos humanos.
Óleos e Graxas	Fração matéria orgânica solúvel em hexanos.

Fonte: Von Sperling (2006).

2.10.3 Características Biológicas

As características biológicas dos esgotos são divididas em grupos de agentes contaminantes, os principais grupos são as bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos. O Quadro 10 a seguir, mostra resumidamente algumas das características desses grupos.

Quadro 10 - Características de cada agente contaminantes do esgoto.

Bactérias	Protistas unicelulares; Estabilização matéria orgânica; Algumas são patogênicas, causando doenças.
Fungos	Aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotrófico; Decomposição matéria orgânica; Podem crescer em condições de baixo pH.
Protozoários	Unicelulares s/ parede celular; Aeróbia ou facultativa; Manutenção de equilíbrio no tratamento biológico; Alguns são patogênicos.
Vírus	Parasitas: material genético + carapaça de proteína, causam doenças e difícil remoção no tratamento de água ou de esgoto.
Helmintos	Animais superiores; Ovos de helmintos, podem causar doenças.

Fonte: Von Sperling (2006).

2.11 CULTIVO DE MANGA

A mangueira é cultivada nas diversas regiões do Brasil, porém, alguns fatores podem influenciar na produção e no desenvolvimento da planta. Segundo a Embrapa (2004) a faixa de temperatura considerada ideal para o cultivo da mangueira situa-se entre 24°C a 30°C, sendo que valores acima de 48°C limitam a produção. Valores baixos também são limitantes e quando próximos a 0°C por poucas horas, provocam danos severos ou morte das plantas. A característica climática consiste em um dos principais pontos a serem observados.

2.11.1 Irrigação e Adubação

Conforme Simão et al. (2000) essa cultura é explorada sobre vários sistemas de irrigação, por exemplo: gotejamento, micro aspersão, aspersão, sulcos e micro bacias. Os sistemas de irrigação por gotejamento, sulcos e micro bacias são mais indicados para solos argilo-arenosos e argilosos, enquanto os sistemas por aspersão e micro aspersão são mais adequados para solos arenosos e areno-argilosos. Sendo 47% dos cultivos irrigados por micro aspersão e 16% por gotejamento. Apenas 8% dos cultivos são irrigados por aspersão e o restante utiliza irrigação por superfície, sendo 24% irrigados por sulco e 5% por micro bacias.

Segundo Coelho et al. (2000), a micro aspersão tem sido o sistema de irrigação localizada mais empregado na cultura da mangueira por promover uma área molhada superior à gerada pelo sistema de irrigação por gotejamento.

Conforme Silva (2015) a necessidade de água para o cultivo de manga varia com o período de desenvolvimento da planta. Existem diversas variedades de manga a ser plantada, em especial para a variedade Tommy Atkins são estabelecidos alguns critérios para irrigação. Esses critérios estão disponíveis no Quadro 11 a seguir:

Quadro 11 - Consumo médio de água diário da mangueira Tommy Atkins.

Período	Duração (dias)	L / dia.planta
Floração	20	44,20
Queda dos frutos	39	61,4
Desenvolvimento de frutos	51	76,8
Maturação	39	88,3

Fonte: Silva (2015)

De acordo com a Embrapa (2004), são recomendadas quantidades específicas de Nitrogênio (N), Fosforo (P) e Potássio (K) de acordo com as características do solo.

Os Quadros 12 e 13 a seguir, relacionam as quantidades de cada tipo de nutriente de acordo as análises do solo:

Quadro 12 - Quantidades de N, P₂O₅ e K₂O indicadas para a adubação de plantio e formação da mangueira irrigada.

Adubação		N g/cova	P solo, mg dm ³				K solo, mmol _c dm ³			
			<10	10-20	21-40	> 40	<1,6	1,6-3,0	3,1-4,5	>4,5
			P ₂ O ₅ , g/cova				K ₂ O, g/cova			
Plantio		-	250	150	120	80	-	-	-	-
Formação	· 0-12 meses	150	-	-	-	-	80	60	40	20
	· 13-24 meses	210	160	120	80	40	120	100	80	60

Fonte: Embrapa (2004)

São estabelecidos outros critérios de adubação conforme a produtividade. O quadro a seguir, mostra a mangueira em função da produtividade e da disponibilidade de nutrientes no solo:

Quadro 13 - Quantidades de N, P₂O₅ e K₂O indicadas para a adubação produção da mangueira em função da produtividade e da disponibilidade de nutrientes.

Produtividade esperada	N nas folhas, g kg ⁻¹				P solo, mg dm ³				K solo, mmol _c dm ³			
	< 12	12 – 14	14-16	>16	<10	10-20	21-40	> 40	<1,6	1,6-3,0	3,1-4,5	>4,5
t/ha	N, kg/ha				P ₂ O ₅ , kg/ha				K ₂ O, kg/ha			
< 10	30	20	10	0	20	15	8	0	30	20	10	0
10-15	45	30	15	0	30	20	10	0	50	30	15	0
15 – 20	60	40	20	0	45	30	15	0	80	40	20	0
20 – 30	75	50	25	0	65	45	20	0	120	60	30	0
30 – 40	90	60	30	0	85	60	30	0	160	80	45	0
40 – 50	105	70	35	0	110	75	40	0	200	120	60	0
> 50	120	80	40	0	150	100	50	0	250	150	75	0

Fonte: Embrapa (2004)

2.12 VIABILIDADE ECONÔMICA

De acordo com a Embrapa (2004), a produtividade máxima da mangueira é alcançada a partir do sexto ano de plantio, em torno de 25 toneladas por hectare. Porém, a partir do quarto e quinto anos já se registram produtividades de 15 e 20 toneladas por hectare, respectivamente.

A produtividade média, já estabilizada, é de 25 toneladas por hectare e o preço médio anual de comercialização da manga, é de R\$ 0,50/kg. O Quadro 14 a seguir, mostra a avaliação econômica do cultivo de manga (EMBRAPA, 2004).

Quadro 14 - Avaliação econômica do cultivo de manga.

Especificação	Produtividade kg/ha/ano (A)	Valor da produção R\$/ha (B)	Custo total R\$/ha (C)	Taxa de retorno(B/C)	Ponto de nivelamento (C/P)	Margem de segurança % (C-B/B)
1,0 há	25.000 kg	12.500,00	7.418,13	1,68	14.836 kg	-0,41

Fonte: Embrapa (2004)

- (A) Produtividade média anual de um hectare de manga em plena produção
- (B) Valor bruto da produção: Preço x Quantidade comercial produzida
- (C) Custos totais efetuados para a obtenção da produção
- (P) Preço médio anual da manga de mesa no mercado interno R\$/kg (R\$/kg 0,50)

3 METODOLOGIA

As características metodológicas para este estudo, quanto aos objetivos, é uma pesquisa descritiva e quanto à ao procedimento técnico se baseia em métodos qualitativos e quantitativos.

O estudo será realizado nas seguintes etapas: caracterização do efluente, análise de viabilidade técnica, levantamento de volume de água e nutrientes produzidos e demandados, as exigências legais para reuso na agricultura, análise de viabilidade econômica e análise de risco associado a cada uma das partes envolvidas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Os dados de qualidade do efluente foi fornecido pela empresa BRK Ambiental por meio de análises dos testes de monitoramento mensal realizados nos efluentes da ETE no ano de 2017.

Para a caracterização do efluente foi necessária uma análise estatística dos dados, estabelecendo a média aritmética e desvio padrão, que permitiram o cálculo de um erro da variação dos dados durante o ano de 2017, e por fim estabelecida uma média com 95 % de confiança dos parâmetros quantitativos físicos, químicos e biológicos com objetivo de se ter números médios representativos do efluente gerado na ETE.

3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

A viabilidade técnica se baseou em dois pilares: análise de vazões e nutrientes. A análise de vazões foi feita com base nos dados de vazões afluentes, comparando-as com o volume de irrigação que a cultura de manga necessita em seu consumo máximo representado pela fase de desenvolvimento do fruto. As análises de nutrientes foi feita com base nas demandas de adubação conforme os quadros 12 e 13 comparando-as com as características do efluente. Com essas análises foi possível concluir sobre a viabilidade técnica em termos de quantidade e qualidade desse efluente para o cultivo de manga.

3.2.1 Levantamento de volumes produzidos e demandados e quantitativos de nutrientes necessários para o cultivo de manga

O levantamento de volumes de irrigação e adubação para este estudo foi realizado considerando-se as características reais do solo de acordo com as análises de fertilidade do solo fornecidas pela BRK Ambiental, especialmente para os nutrientes nitrogênio e fósforo.

Com os resultados da análise do solo, foi possível fazer as recomendações com base nos quadros 12 e 13 do item 2.11.1, onde são recomendadas as quantidades de gramas por cova de acordo com as características apresentadas no solo. Através dos resultados das análises quantitativas de nutrientes presentes no efluente tratado da ETE de Santa Fé, foi possível a verificação se essas concentrações são necessárias para o cultivo de manga.

A irrigação para o cultivo de manga parte de dois vieses: determinar o consumo máximo de água por planta dia, e determinar o número de plantas. Para determinar o consumo máximo, foi utilizado o Quadro 11 do item 2.11.1, no qual foi utilizada para cálculo de demanda máxima no período de desenvolvimento do fruto, a quantidade de 56,8 litros de água por planta por dia em um período de 51 dias. Já o número de plantas, foi determinado a partir da área disponível para plantação de 38,9 hectares, o plantio espaçado a 8x5m comportam 250 plantas em 1 hectare. Assim, tendo o volume máximo de água por planta e o número de planta disponível na área, encontramos um volume total de irrigação para esta situação, sabendo das vazões máximas de consumo, e da capacidade da ETE de 20 L/s, foi possível concluir se as vazões de esgoto são suficientes para irrigar o plantio de manga.

3.3 EXIGÊNCIAS LEGAIS PARA REUSO NA AGRICULTURA

A metodologia adotada para este item foi um estudo comparativo das análises que foram fornecidas pela BRK Ambiental, com os parâmetros adotados pelos principais órgãos regulamentadores, estabelecidos no item 2.9. Foi feita uma comparação de todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, e avaliada a necessidade de instalações complementares para atender esses parâmetros, por exemplo: instalação de um tanque de desinfecção.

3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise de viabilidade econômica, foi estimado um preço médio segundo a Embrapa (2004), para implantação e manutenção incluindo insumos e serviços para um hectare de manga a partir do sexto ano, quando é alcançada sua produtividade plena de 25 toneladas/hectare. Esse valor, foi multiplicado pela área disponível para plantio, assim foi

possível estimar o custo total da plantação. Além disso, foi adicionado o custo com instalações complementares, gerado pela instalação do tanque de contato para desinfecção do efluente.

Este estudo avaliou também a economia com a compra de fertilizantes e água, pois o efluente tratado além de fornecer a irrigação possui concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo. A partir das quantidades ideais de irrigação, foi calculado o quantitativo de nutrientes necessário para plantação, dessa forma foi possível elaborar um estudo de viabilidade econômica com relação aos nutrientes e quantidade de água e calcular a economia gerada ao utilizar o efluente tratado da ETE para este fim.

3.5 AVALIAÇÃO DOS RISCOS ASSOCIADOS AS PARTES ENVOLVIDAS

Para este estudo, em especial, o risco foi avaliado na possibilidade de contaminação do fruto através da irrigação e contaminação dos trabalhadores envolvidos no processo. Essa avaliação foi feita baseando-se nas características do efluente tratado dispostos no decantador.

Depois de avaliada a qualidade do efluente da ETE e comparada com as recomendações do COEMA foi possível estabelecer a concentração de cloro suficiente para neutralizar a quantidade de coliformes termotolerantes e, por conseguinte permitir o reuso sem risco aos envolvidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção tem como objetivo apresentar as características físicas, químicas e biológicas do efluente tratado da ETE de Santa Fé no município de Palmas - TO.

Por conseguinte, analisar a viabilidade técnica quanto às quantidades necessárias para irrigação e fertilização, como também os aspectos econômicos da sua aplicabilidade para o cultivo de Manga, associando ao risco a cada uma das partes envolvidas.

4.1 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE TRATADO DA ETE DE SANTA FÉ

De acordo com as análises de monitoramento mensal realizadas no ano de 2017 cedidas pela empresa BRK Ambiental, foi possível a caracterização dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente tratado da ETE de Santa Fé.

O cálculo da média de cada componente foi realizado considerando os 12 meses do ano de 2017 como amostra. A média amostral é a média aritmética dos valores da amostra e, representada pela fórmula a seguir:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (1)$$

E o desvio-padrão amostral é a estatística representada pela fórmula a seguir:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (2)$$

A ETE de Santa Fé dispõe de uma área para disposição no solo do efluente tratado, porém para este estudo foram coletadas amostras dispostas no decantador da ETE. Dessa forma, o fluxo de efluente tratado será lançado para um tanque de desinfecção se necessário, e logo após o uso diretamente na irrigação da cultura de manga. As características do efluente quanto aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos estão apresentadas no Quadro 15 a seguir:

Quadro 15 - Característica do efluente tratado da ETE de Santa Fé.

PARÂMETRO	UNIDADE	MESES DE MONITORAMENTO (2017)												DESVIO PADRÃO	MÉDIA
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
Temperatura	°C	28,000	28,700	31,900	29,200	28,700	31,600	30,400	29,400	29,200	21,900	31,900	29,800	2,653	29,225
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	35,000	59,000	77,000	92,000	44,000	191,000	105,000	94,000	84,000	260,000	39,000	112,000	65,846	99,333
pH	....	7,400	6,990	7,010	6,980	7,060	6,940	6,920	7,070	7,060	6,900	6,890	6,980	0,135	7,017
Nitrogênio	mg/L	76,791	26,180	52,778	43,333	60,485	61,020	64,896	66,010	69,886	64,985	76,123	58,837	14,145	60,110
Fósforo	mg/L	6,110	2,194	1,811	8,014	5,903	6,880	8,767	6,551	6,818	11,258	7,183	6,209	2,557	6,475
DBO	mg/L	14,000	30,000	28,000	24,000	55,000	130,000	60,000	70,000	80,000	125,000	20,000	16,000	40,605	54,333
DQO	mg/L	87,000	142,000	153,000	137,000	165,000	403,000	199,000	205,000	203,000	350,000	118,000	126,000	94,597	190,667
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,40E+06	1,30E+05	1,60E+07	9,20E+06	2,30E+05	2,20E+06	5,40E+06	1,60E+07	2,30E+05	1,60E+07	1,60E+07	1,30E+06	6,36E+06	7,01E+06

Fonte: BRK Ambiental (2017)

4.1.1 Análise Estatística dos Dados

Após a coleta dos dados, levando em consideração que o tamanho da amostra é menor que 30 ($n < 30$) para definição do intervalo de confiança de 95% foi utilizado a distribuição t (t de student). Para trabalharmos com a tabela, encontramos o número de graus de liberdade (gl), que é: $(n-1)$, dessa forma, temos 12 meses como a amostra n, então: $(12-1) = 11$.

gl	Área na cauda superior								
	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	1,000	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,894	6,869
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,768
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,689
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,660
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	2,996	3,340	3,591
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690	2,952	3,281	3,520
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
z	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291

Nota: A coluna em destaque é a mais usada.

Figura 1- Valores selecionados para a distribuição t (Icmc – USP. 2010 online).

Assim, 95% dos valores de uma distribuição situam-se entre $-t_{0,025}$ e $t_{0,025}$. Assim, levando consideração que as análises são divididas em 12 partes, o valor do grau de liberdade igual a 11 com um nível de confiabilidade de 95%, tem o valor t equivalente a 2,201. Através da fórmula a seguir, denotada por média mais ou menos a

distribuição de Student podemos encontrar um valor médio dentro do intervalo de confiabilidade da amostra.

$$\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Substituindo os valores na fórmula acima, referente a cada parâmetro, é possível representar os dados por uma média com 95 % de confiança. O Quadro 16 a seguir mostra os resultados encontrados:

Quadro 16 - Características do Efluente da ETE de Santa Fé após o tratamento dos dados.

PARÂMETRO	UNIDADE	MÉDIA
Temperatura	°C	29,720
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	80,000
pH	....	7,011
Nitrogênio	mg/L	61,287
Fósforo	mg/L	6,709
DBO	mg/L	59,000
DQO	mg/L	172,000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	7,30x10 ⁶

Fonte: BRK Ambiental (2017)

A partir do quantitativo acima, a próxima etapa do estudo, será o cálculo da viabilidade técnica quanto aos volumes produzidos e demandados e a análise microbiológica de acordo com as normas regulamentadoras.

4.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

4.2.1 Levantamento de Volumes Produzidos e Demandados

Para a irrigação, os volumes de efluente foram calculados a partir da área disponível para a plantação. Através da ferramenta Google Earth Pro, foi possível mapear a área disponível e saber quantos hectares de área plantada o efluente vai atender. A figura 02 mostra a área em hectares disponível para o plantio.

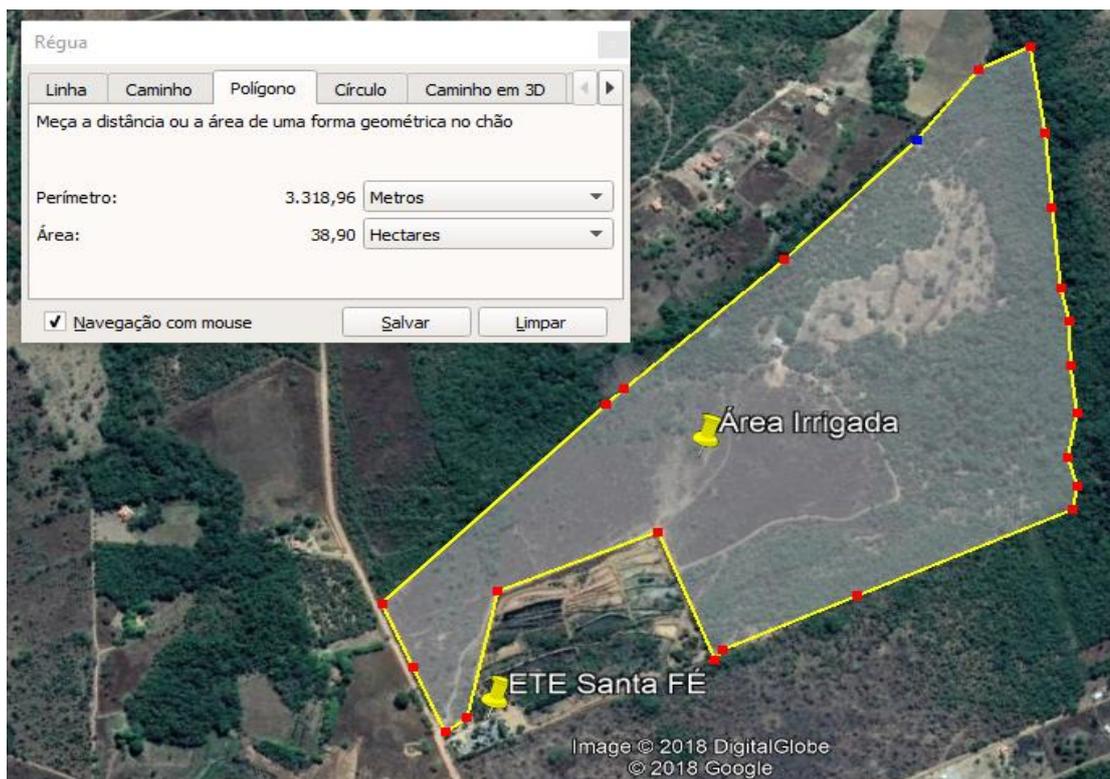


Figura 2- Área disponível para irrigação.

Conforme a Figura 2 acima, a área disponível para plantação é de 38,9 hectares. O espaçamento estabelecido será de 8x5m onde comportam 250 árvores/hectare, portanto, $250 \times 38,9 = 9.725$ plantas.

O maior consumo de água demandado por planta conforme Silva (2015), necessário para o desenvolvimento do fruto, é de 76,80 Litros/Planta.Dia em um período de 51 dias. Assim, o volume necessário diário para irrigação é de 746.880 Litros de água.

A ETE de Santa Fé tem vazão de efluente tratado de 20 L/s, então: $746.880 \text{ L} / 20 \text{ L/s} = 37.344$ segundos. Transformando para horas, temos: $37.344 \text{ segundos} / 3.600 \text{ segundos/hora} = 10,37$ horas, dessa forma, podemos concluir que o volume de efluente produzido é suficiente para atender a demanda diária da plantação em termos de quantidade de água para irrigação.

4.2.2 Levantamento dos Nutrientes para o Cultivo de Manga

O objetivo desta etapa é a quantificação dos nutrientes encontradas no efluente tratado e a sua disposição para atender uma plantação de manga. Serão considerados os

principais macronutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P). Pelo fato da concentração de potássio ter um teor insignificante no efluente tratado será desconsiderada. A priori, de acordo com as análises de fertilidade do solo na região da ETE de Santa Fé, realizadas pela ZOOFÉRTIL (2014), o solo apresenta as seguintes características:

- Para Fósforo (P) = 3 mg/dm³
- Para Potássio (K) = 28 mg/dm³

Conforme a Primavesi (2000) 1 mmolc de K = 39,102 mg, dessa forma, podemos encontrar a quantidade de mmolc para a determinada característica do solo encontrado na análise de fertilidade e associar com o quadro 15, onde tem as recomendações nutricionais de potássio de acordo com esse parâmetro, conforme as informações acima, foi calculada a quantidade de 0,72 mmolc/dm³.

Com o resultado obtido e correlacionando os mesmos com o quadro 15, concluímos que a quantidade de Fósforo presente no solo é < 10 mg/dm³ e para a quantidade de Potássio < 1,6 mmolc/dm³, Portanto, recomenda-se as seguintes quantidades de nutrientes representadas no Quadro 17 a seguir:

Quadro 17 - Quantidades de nutrientes necessários de acordo às características do solo.

Adubação		N	P Solo em mg dm ³ < 10	K no Solo em mmolc dm ³ < 1,6
		g/cova	g/cova	g/cova
Plantio		—	250	—
Formação	0 - 12 meses	150	—	80
	13 - 24 meses	210	160	120

Fonte: Embrapa (2004)

De acordo com as análises do efluente da ETE, as quantidades obtidas N e P apresentadas na média final do quadro 17 são, respectivamente: 61,287 mg/L e 6,709 mg/L, sabendo que o consumo de água por planta é de 76,8 L/planta.dia, encontramos a quantidade de minerais de acordo com a quantidade de água recomendado por Silva (2015) como mostra a seguir:

- Para a quantidade de Fósforo = 0,515 g de Fósforo/planta.dia
- Para a quantidade de Nitrogênio = 4,707 g de Nitrogênio/planta.dia

A quantidade de nutrientes presentes no efluente, conforme o volume ideal de litros de água multiplicado pelo período irrigado nessas condições segundo Silva (2015) tem duração de 51 dias. Assim, temos os seguintes resultados:

- Nitrogênio: $4,707 \times 51 \cong 240$ gramas/planta.
- Fósforo: $0,515 \times 51 \cong 26$ gramas/planta.

De acordo com o item 4.2.1 a área comporta 9.725 plantas, então a quantidade de nutrientes fornecidas pelo efluente tratado da ETE de Santa Fé serão obtidas através da multiplicação do quantitativo por planta e o número de plantas. Então temos:

- Para Nitrogênio: $9.725 \text{ plantas} \times 0,240 \text{ kg/planta} \cong 2.334 \text{ kg de N}$.
- Para Fósforo: $9.725 \text{ plantas} \times 0,026 \text{ kg/planta} \cong 253 \text{ kg de P}$.

Considerando a pior situação em demanda de nutrientes recomendadas pela Embrapa (2004) temos, conforme o quadro 18 os seguintes valores:

- Para Nitrogênio: $0,210 \text{ kg/planta} \times 9.725 \text{ plantas} \cong 2.043 \text{ kg de N}$.
- Para Fósforo: $0,250 \text{ kg/planta} \times 9.725 \text{ plantas} \cong 2.432 \text{ kg de P}$.

A quantidade de nitrogênio presente no efluente tratado, de acordo com as condições citadas acima é de 2.334 kg, o recomendado pela Embrapa (2004) é de 2.043 kg, portanto, a oferta de nitrogênio presente no efluente é capaz de atender a demanda para este projeto em 100%.

A quantidade de fósforo presente no efluente tratado, de acordo as condições citadas acima é de 253 kg, o recomendado pela Embrapa (2004) é de 2.432 kg, portanto, a oferta de Fósforo presente no efluente é baixa em relação à demanda da cultura de manga. Faz se necessário o complemento de 2.179 kg de fósforo para atender a demanda, entretanto, a quantidade de fósforo presente no efluente representa pouco mais de 10% do necessário, esse valor será abatido do custo de investimento da plantação.

Os resultados obtidos com estas análises mostram a viabilidade técnica do efluente quanto à fertilização para nitrogênio. Os nutrientes fósforo e potássio tem necessidade da realização da compra do adubo para atender a demanda da plantação.

4.3 EXIGÊNCIAS LEGAIS PARA REUSO NA AGRICULTURA

Após análise dos dados fornecidos pela BRK Ambiental, foi possível comparar o efluente proveniente da ETE de Santa Fé com os parâmetros legais exigidos pelos principais órgãos regulamentadores. Para este estudo, em especial, foi considerada as recomendações para aceitação do reuso do COEMA (2017). O Quadro a 18 seguir, mostra os resultados comparados, de coliformes termotolerantes, DBO, SST e pH.

Quadro 18 - Comparação dos resultados da ETE Santa Fé com os órgãos regulamentadores.

REFERÊNCIA	PARÂMETRO REGULAMENTADO				MÉDIA DO PARÂMETRO ENCONTRADO ETE SANTA FÉ			
	Cter	pH	DBO	SST	Cter	pH	DBO	SST
USEPA	< 200 NMP/100 MI	6,0 a 9,0	≤ 30 mg/L	≤ 30 mg/L	7,30E+06	7,011	59,00 mg/L	80,00 mg/L
OMS	10 ⁴ a 10 ⁶ NMP/100 mL	—	—	—	7,30E+06	7,011	59,00 mg/L	80,00 mg/L
COEMA	< 10 ³ NMP/100 mL	6,0 a 8,5	—	—	7,30E+06	7,011	59,00 mg/L	80,00 mg/L
PROSAB	< 10 ⁴ NMP/100 mL	—	—	—	7,30E+06	7,011	59,00 mg/L	80,00 mg/L
CETESB	10 ³ a 10 ⁵ NMP/100 mL	—	—	—	7,30E+06	7,011	59,00 mg/L	80,00 mg/L

Fonte: IICA (2017) modificado.

Analisando os padrões de classificação do COEMA para reuso na agricultura com os dados obtidos das análises de monitoramento mensal da BRK Ambiental, pode-se observar:

- Para coliformes termotolerantes: O limite estabelecido pelo COEMA é < 10³ NMP/100 mL, e a média encontrada no efluente foi de 7,30E+06 NMP/100 mL, portanto, o número de coliformes termotolerantes está acima do recomendado.

- Para pH: O limite estabelecido pelo COEMA é entre 6,0 a 8,5. A média encontrada no efluente foi de 7,011, portanto, os padrões de potencial de hidrogênio estão dentro do que é recomendado para reuso agrícola.

Os parâmetros encontrados para coliformes termotolerantes estão acima do que é permitido para reuso agrícola, logo, será necessária a instalação de um tanque de desinfecção para reduzir o número de coliformes termotolerantes no efluente da ETE, para a liberação para irrigação.

Conforme Pianowski e Janissek (2003) para a desinfecção do efluente usa-se o cloro adicionado na forma de hipoclorito. Pianowski e Janissek (2003) adicionaram as

concentrações de 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 e 30 mg/L. Após os 30 minutos de contato, obtiveram os resultados disponíveis na Figura 3 a seguir:

TABELA 2 - RESULTADOS OBTIDOS APÓS 30 MINUTOS DE CONTATO								
ETE COLOMBO - Tempo de contato 30 minutos - coleta 26/08/2002								
Parâmetros	Unidade	Cloro adicionado						
		0 mg/L	4 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	16 mg/L	20 mg/L	30 mg/L
Clorofórmio	µg/L	< 2,0	16,80	48,80	97,10	388,30	375,40	936,40
Bromofórmio	µg/L	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Diclorobromometano	µg/L	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Dibromoclorometano	µg/L	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
DQO	mgO ₂ /L	138,05						
DBO	mgO ₂ /L	65,41						
Sólidos Totais	mg/L	486,00						
Sólidos Totais Fixos	mg/L	358,00						
Sólidos Tot. Voláteis	mg/L	128,00						
Nitrogênio Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	59,92						
pH	....	7,34	7,30	7,30	7,30	7,30	7,20	7,10
Temperatura	°C	21,00	22,00	22,50	22,00	22,50	23,00	24,00
Cloro Residual Livre	mg/L	< 0,10	0,60	2,00	4,00	4,00	3,00	8,00
Cloro Residual Total	mg/L	< 0,10	1,00	6,00	9,00	10,00	10,00	20,00
Coliformes Totais	NMP/100 mL	3,0 x10 ⁶	< 2,0	80	270	4	< 2,0	4
Coliformes Fecais	NMP/100 mL	1,7 x10 ⁶	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0

Figura 3- Redução dos níveis de Coliformes Fecais de acordo as concentrações de cloro adicionado. (Fonte: Pianowski e Janissek (2003)).

De acordo com os resultados obtidos por Pianowski e Janissek (2003), após 30 minutos de contato, observa-se que a dosagem de 4mg/L já foi suficiente para alcançar os parâmetros regulamentados.

Para este estudo, de forma a atender os parâmetros, será adicionado no tanque de desinfecção a quantidade de cloro de 4 mg/L. Com essa adição, conforme a figura 3 os resultados para coliformes fecais são < 2,0 NMP/100 mL. Dessa forma, atende o parâmetro recomendado pelo COEMA para reuso agrícola de < 10³ NMP/100 mL.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Esta seção tem como objetivo a avaliação do custo e retorno para implantação de uma cultura de manga, irrigada pelo efluente gerado na ETE de Santa Fé.

Conforme Embrapa (2004) a mangueira chega a uma produtividade máxima a partir do sexto ano. O custo total para uma plantação espaçada a 8x5m incluindo

implantação e manutenção com insumos e serviços, conforme a Embrapa (2004) é de 6.785,00 reais por ano.

Esse valor tem um acréscimo de 9,33% com gastos administrativos, depreciação dos equipamentos utilizados, impostos e outras taxas. Sendo assim, o custo total para 1 hectare de manga espaçada a 8x5m é de R\$ 7.418,00 por ano.

Levando em consideração a área disponível para plantio em Santa Fé de 38,90 hectares, multiplicando o preço médio de 7.418,00 reais por hectare/ano segundo a Embrapa, obtemos o seguinte custo de implantação e manutenção:

- Custo total = 38,9 ha x 7.418,00 Reais/ha \cong 289.000,00 Reais por ano.

Considerando a produtividade a partir do sexto ano de 25 ton/ha e o preço de venda no mercado de 50 centavos/Kg. Obtemos o rendimento médio anual através da seguinte multiplicação:

- Rendimento = 25.000 kg/ha x 38,9 ha x 0,50 Reais/kg = 486.250,00 Reais por ano.

Assim, o plantio da cultura de manga se justifica por obter rendimentos de até R\$ 197.250,00 por ano.

Para esse projeto, especialmente faz se necessária à construção de um tanque de contato para desinfecção, além dos gastos com o consumo de cloro. Em contrapartida, é gerada economia com ganho de nutrientes que teriam necessidade de compra, por se tratar de um efluente com boas concentrações dos mesmos. Dessa forma, se torna economicamente viável, como mostra nos itens a seguir.

4.4.1 Dimensionamento do Tanque de Contato

Para o dimensionamento do tanque de contato foi considerado as seguintes características a seguir:

- Tempo de Contato = 30 min
- Volume necessário para irrigação: \cong 747 m³/dia
- Vazão da ETE = 0,020 m³/s

Conforme as informações acima, o tanque de contato foi calculado para irrigar toda a plantação em um intervalo de aproximadamente 10,4 horas. Assim, temos as seguintes dimensões:

- $L = 5,60 \text{ m}$
- $B = 1,60 \text{ m}$
- $H = 4 \text{ m}$

4.4.2 Custo Financeiro do Tanque de Contato

Para estimar o custo financeiro da estrutura necessária para armazenar o volume suficiente de água para irrigação, foi considerado demasiadamente o custo com o volume de concreto armado necessário.

Para Saneago (2018) o custo para o m^3 de concreto armado estrutural incluindo as formas é de 1.709,15 Reais.

Conforme as dimensões encontradas para o tanque de contato no item 4.4.1, considerou-se a espessura da parede de concreto armado de 0,15 m, dessa forma, obtemos o seguinte volume de concreto:

- $\text{Largura} = (1,60 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \times 2 = 1,92 \text{ m}^3$
- $\text{Comprimento} = (5,60 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \times 2 = 6,72 \text{ m}^3$
- $\text{Laje de fundo e Tampa} = (5,60 \text{ m} \times 1,60 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \times 2 = 2,68 \text{ m}^3$
- $\text{Total do Volume de Concreto} = 1,92 + 6,72 + 2,68 = 11,32 \text{ m}^3$

Obtendo o volume de concreto total e tendo o preço médio por metro cúbico, podemos estimar o custo da estrutura para desinfecção do efluente. O valor total terá acréscimo de 30 % para execução do mesmo e das fundações da estrutura. Portanto, temos:

- $\text{Custo para o tanque de contato} = 11,32 \text{ m}^3 \times 1.709,15 \text{ Reais/m}^3 \times 1,30$
- $\text{Custo para o tanque de contato} = \text{R\$ } 25.151,85 \text{ Reais}$

4.4.3 Custo Financeiro do quantitativo de Cloro

Para a determinação da quantidade de cloro foi utilizado a Figura 03, como citado acima com uma concentração de Cloro de 4 mg/L, dessa forma, temos:

- $\text{Volume de Cloro} = 747 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0,004 \text{ kg/m}^3$

- Volume de Cloro \cong 3,0 kg/Dia de Cloro

O estudo avalia o período de 51 dias de irrigação necessária para o desenvolvimento do fruto, portanto, através da multiplicação do volume de cloro diário vezes a quantidade de dias teremos o volume de cloro total, então:

- Volume de Cloro Total = 3,0 kg/Dia x 51 Dias = 153,0 kg de Cloro.

O preço do cloro em média para a desinfecção do efluente custa R\$ 6,50 o kg, então multiplicando o preço por kg e a quantidade total de cloro a ser utilizada nesse período encontrará um custo total de R\$ 994,50 Reais.

4.4.4 Economia gerada com Fósforo e Nitrogênio

Através de uma cotação realizada na cidade de Palmas-TO, para aferição dos preços desses nutrientes para adubação agrícola, chegamos aos seguintes valores:

- Para nitrogênio utilizou-se a ureia, que possui 46,66% de N e custa: R\$ 3,25 Reais o kg.
- Para fósforo utilizou-se o superfosfato simples, que possui 43,66% de P e custa: R\$ 2,00 Reais o kg.

Conforme o item 4.2.2 tem a seguinte situação em necessidade de nutrientes para a cultura de manga de acordo com Embrapa (2004), de 2.043 kg para nitrogênio e 2.432 kg para fósforo.

Com as características presentes no efluente, concluímos que os quantitativos de Nitrogênio presentes são suficientes para atender a demanda, portanto foi gerado economia de 100% do valor de Nitrogênio. Para economia gerada nos quantitativos de fósforo foi aproximadamente 10% do valor, pois as concentrações de Fósforo presentes no efluente são menores que as concentrações de Nitrogênio. A seguir temos a economia gerada em reais para cada nutriente:

- Para Nitrogênio: $R\$ 3,25/\text{kg} \times 2.043 \text{ kg} = R\$ 6.639,75 \text{ Reais}/0,4666 = 14.230,09 \text{ Reais.}$
- Para Fósforo: $R\$ 2,00/\text{kg} \times 253 \text{ kg} = R\$ 506,00/0,4366 = 1.158,96 \text{ Reais.}$

Concluindo, a economia total gerada pelos quantitativos de nutrientes presentes no efluente tratado na ETE de Santa Fé é de aproximadamente R\$ 15.400,00 Reais.

4.4.5 Economia gerada com água

Embrapa (2004) estipula um preço a cada mil m³ de R\$ 27,88 Reais, a quantidade total necessária de água para o período de desenvolvimento do fruto durante 51 dias na área de 38,9 hectares é de 38,097 mil m³.

Portanto, a economia gerada com o consumo de água é de R\$ 1.062,14 Reais.

4.5 ANÁLISE DE RISCO À SAÚDE

Conforme a qualidade do efluente após o processo de desinfecção, o risco de contaminação foi avaliado de acordo com as referências nacionais que estabelecem parâmetros que tornem seguras as aplicações de reuso de esgotos sanitários para agricultura.

Existem duas categorias de irrigação a serem consideradas, restrita e irrestrita. Para este estudo, em especial, a cultura a ser irrigada pelo efluente tratado é a cultura da manga. Portanto se encaixando na cultura irrestrita, que segundo a (PROSAB, 1999) pode ser qualquer cultura irrigada de forma superficial ou por aspersão inclusive culturas alimentícias consumidas cruas.

Conforme COEMA (2017) referência brasileira, para reuso agrícola sem risco de contaminação para cultura irrestrita a quantidade de coliformes termotolerantes é $< 10^3$ NMP/100 mL.

Em ultimo caso, a NBR 13.969 (1997) estabelece que o reuso destinado aos pomares através do sistema de irrigação pontual ou superficial deve conter as seguintes características para coliformes termotolerantes de < 5.000 NMP/100mL.

A NBR 13.969 (1997) recomenda ainda, que a irrigação deve ser suspensa pelo menos 10 dias antes do processo de colheita, dessa forma mitigando e intensificando a eliminação do risco a saúde dos envolvidos no processo de reuso para irrigação agrícola.

De fato, com processo de desinfecção, aplicando 4 mg/L conforme realizado por Pianowski e Janissek (2003), é possível chegar nos parâmetros nacional e internacional para reuso agrícola.

Dessa forma, controlando a qualidade do efluente adequadamente, os riscos sanitários e ambientais decorrentes de irrigação por esgotos sanitários seriam praticamente inexistentes.

Os microrganismos patogênicos podem provocar doenças graves aos seres humanos e animais se forem usados de forma incorreta, portanto, cabe ao produtor a responsabilidade de monitorar o efluente utilizado e manter um padrão de qualidade do mesmo, sabendo que prática irregular de reuso pode ser prejudicial à saúde pública e ambiental, já que a qualidade dessa água deve ser controlada adequadamente conforme os padrões de referência.

5. CONCLUSÃO

O estudo partiu da caracterização do efluente para destinação a fertirrigação de manga. Após essa etapa, identificou-se a necessidade da adição de 4 mg/L de concentração de cloro para atingir os critérios da USEPA e COEMA com relação aos quantitativos de coliformes termotolerantes. Após esse processo de desinfecção do efluente, para baixar a concentração de coliformes foi possível destinar o efluente à cultura de manga sem riscos aos envolvidos.

Com o cálculo dos volumes produzidos e demandados, mostrou que as vazões de esgoto produzidas pela ETE de Santa Fé são suficientes para atender a necessidade da cultura de manga em seu consumo máximo de água. Verificou se ainda, por meio da caracterização do efluente as concentrações de nutrientes necessários para o desenvolvimento da planta. Os quantitativos de Nitrogênio são suficientes para atender a demanda da plantação em 100%, já os quantitativos de Fósforo representam cerca de 10% da demanda da mesma. Gerando economia em nutrientes de aproximadamente 15.400,00 reais.

O estudo permite através de a viabilidade econômica mostrar ganhos significativos produzindo manga irrigada com efluente da ETE, mesmo tendo custos adicionais com tanque de desinfecção e cloro os resultados são satisfatórios economicamente. Ademais, os custos gerados pelo processo de desinfecção são essenciais, pois com a adição do cloro foi possível baixar a concentração de coliformes para um processo sem risco a saúde das pessoas envolvidas direta e indiretamente no processo de irrigação.

Contudo, vimos que o reuso na agricultura irrigada é uma alternativa viável tecnicamente e economicamente, e que trás consigo vários benefícios tanto para a cultura agrícola, como para o meio ambiente. Porém, se trata de uma atividade que envolve a saúde pública, os microrganismos patogênicos presentes em efluentes podem causar doenças graves aos seres humanos. Portanto, deve ser executada com planejamento e controle, principalmente nos processos de aferição da qualidade do efluente, e as verificações se estão dentro da referencia normativa.

O estudo possibilita diversas formas de continuação, dentre elas podemos citar os seguintes temas:

- Reuso do efluente tratado para a indústria, reduzindo os impactos no consumo de água gerando economia para empresa.

- Estudo de meios alternativos para aprimorar o sistema de tratamento de esgoto, melhorando a qualidade do efluente dispensando o custo financeiro para desinfecção.

6. REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Água. **Atlas de Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada**. 2017. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

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

BEM FILHO, Paulo Magno do. **Reuso de água e potenciais riscos à saúde humana**. Disponível em: <http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/154>. Acesso em: 02 mar. 2018.

BERNARDI, Cristina Costa. **REUSO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO**. 2003. 52 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, Isea-fgv/ Ecobusiness School, Brasília Df, 2003.

BIFF, Sergiane. **REÚSO DE ÁGUAS PROVINDAS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**. 2009. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2009.

CARVALHO, Nathália Leal; HENTZ, Paulo; SILVA, Josemar Marques. Afonso Lopes Barcellos. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria Rs, v. 14, n. 2, p.3164-3171, mar. 2014.

COELHO, Eugênio Ferreira et al. **DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA MANGUEIRA SOB IRRIGAÇÃO LOCALIZADA EM SOLO ARENOSO DE TABULEIROS COSTEIROS**. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v23n2/7959>><<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v23n2/7959>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

COMUSA, Serviço de água e Esgoto de Novo Hamburgo -. **O PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DENOMINADO LODOS ATIVADOS**. Disponível em: <<http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoesgoto>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

COSTA, Aureliano Nogueira da et al. **RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS PARA A PRODUÇÃO DE MANGA**. 2008. Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/105/1/MINICURSO-CD-6-RECOMENDACOES-TECNICAS-PARA-MANGA.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

CUNHA, Ananda Helena Nunes. **REUSO DE ÁGUA NA AGRICULTURA**. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ea000918.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

DANTAS, Danielly Luz; SALES, Alessander Wilckson Cabral. **ASPECTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E JURÍDICOS DO REUSO DA ÁGUA**. *Rgsa – Revista de Gestão Social e Ambiental*, Fortaleza-ce, v. 3, n. 3, p.4-19, set. 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -. **CULTIVO DA MANGUEIRA**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111770/1/Cultivo-da-Mangueira-Sistema-de-producao.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

HESPAHOL, Ivanildo. Potencial de Reuso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, São Paulo - Sp, v. 7, n. 4, p.75-95, out. 2002.

IICA, Instituto Interamericano de Cooperação Para A Agricultura –. **Elaboração de Proposta do Plano de Ação para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil**. Disponível em: <http://www.iicabr.iica.org.br/produtos_tecnicos/elaboracao-de-proposta-do-plano-de-

acoes-para-instituir-uma-politica-de-reuso-de-efluente-sanitario-tratado-no-brasil-produto-ii-experiencias-de-reuso/>. Acesso em: 10 abr. 2018.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hílton Felício dos. **Reuso de Água**. São Paulo: Manole, 2003.

MENDONÇA, Pedro de A. Ornelas. **REUSO DE ÁGUA EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS O CASO DA ESCOLA POLITÉCNICA**. 2004. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador - Ba, 2004.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 3. ed. Singapore, McGraw Hill, 1991.

MIELI, João Carlos de Almeida. **REUSO DE ÁGUA EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS O CASO DA ESCOLA POLITÉCNICA**. 2001. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Fluminense, Niteroi-RJ, 2001.

PERIN, Kamila. **Reúso de Efluente de Lagoa de Polimento no Cultivo de Alface Hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de Plantas de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2006. 172 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - Es, 2006.

PIANOWSKI, Eloisa Helena; JANISSEK, Paulo Roberto. Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v. 20, n. 1, p.6-17, jul. 2003.

PRIMAVESI, Ana Candida; PRIMAVESI, Odo. **Transformação de unidades de representação de resultados de análise de solo**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37310/1/28.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2018.

PROSAB, Programa de Pesquisas em Saneamento Básico -. **REÚSO DAS ÁGUAS DE ESGOTO SANITÁRIO, INCLUSIVE DESENVOLVIMENTO DE**

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA ESSE FIM. 2006. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab_-_final.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2018.

SANEAGO. **Tabela de preços base construção civil Saneago.** Disponível em: <<http://www.saneago.com.br/supre/tabeladef.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

SANTOS, Ana Silvia. **CURSO: REUSO DE EFLUENTES TRATADOS.** Rio de Janeiro: Apresentação, 2017. Color.

SILVA, Carlos Ramirez de Rezende e. **A CULTURA DA MANGUEIRA.** 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/MATHEUS/Downloads/bol_24.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2018.

SILVA, Livia P. da et al. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 16, n. 5, p.480-486, maio 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012000500003>.

SIMÃO, Antônio Humberto et al. **IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA MANGUEIRA.** 2000. Disponível em: <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livromanga_pdf/08_irrigacao.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2018.

VON SPERLING, Marcos. **Principio do tratamento biológico de águas residuárias.** Belo Horizonte - Mg: Segrac, 1996.

WHO. **Reuse of effluents:** methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva, 2006b. v. 2.: Wastewater use in agriculture.