



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Botucatu



**RAFAEL DOS SANTOS LIMA**

**AVALIAÇÃO DE MACRÓFITAS LEMNÁCEAS NO POLIMENTO DE ÁGUAS  
RESIDUÁRIAS E SEU USO NA CULTURA DO FEIJÃO**

**Botucatu**

**2018**



**RAFAEL DOS SANTOS LIMA**

**AVALIAÇÃO DE MACRÓFITAS LEMNÁCEAS NO POLIMENTO DE ÁGUAS  
RESIDUÁRIAS E SEU USO NA CULTURA DO FEIJÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Hélio Grassi Filho  
Coorientador: Eduardo Luiz de Oliveira

**Botucatu**

**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

L732a Lima, Rafael dos Santos, 1989-  
Avaliação de macrófitas lemnáceas no polimento de águas residuárias e seu uso na cultura do feijão / Rafael dos Santos Lima. - Botucatu: [s.n.], 2018  
67 p.: fots. color., grafs. color., ils. color, tabs.  
  
Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018  
Orientador: Hélio Grassi Filho  
Coorientador: Eduardo Luiz de Oliveira  
Inclui bibliografia  
  
1. Feijão - Cultura. 2. Irrigação com águas residuais. 3. Macrófitas aquáticas. 4. Lodo de esgoto. I. Grassi Filho, Hélio. II. Oliveira, Eduardo Luiz de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE MACRÓFITAS LEMNÁCEAS NO POLIMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E SEU USO NA CULTURA DE FEIJÃO"**

**AUTOR: RAFAEL DOS SANTOS LIMA**

**ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO**

**COORIENTADOR: EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO  
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA  
Depto de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Dra. CAMILA PAULA ROSSETTO PESCATORI JACON  
. / Botucatu

Botucatu, 16 de fevereiro de 2018.



A Deus,  
Aos meus pais, Luís e Marlene, aos meus irmãos, Michele,  
Alessandra e Victor Hugo pela presença e contribuição para a  
realização desse sonho. A toda minha família, em especial minhas  
avós Maria Barbosa e Maria do Carmo, por sempre acreditarem em  
mim, dedico.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por mais uma vitória em minha vida e por ter me dado forças pra nunca desistir, apesar das dificuldades encontradas ao longo do caminho.

Aos Professores Dr. Hélio Grassi e Dr. Eduardo Oliveira, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professores.

A todos da minha família pelo apoio, compreensão em todos os momentos. E por me amarem e estarem sempre comigo independentemente de qualquer circunstância.

As pessoas importantes da minha vida, que por algum motivo maior não estão mais presentes (em corpo), mas sempre estarão em meu coração, pois Deus os levou para o céu e possivelmente viraram anjos pra continuar cuidando de mim e de seus entes queridos. Em especial a minha querida e eterna avó Maria do Carmo, por nunca ter me abandonado e por ter me dado todo amor que necessitei quando criança e adolescente. A minha amiga Kelly Monteiro que sempre me deu força e palavras confortáveis quando necessitei.

A todos os funcionários da FCA – UNES, pelo suporte técnico quanto à condução do trabalho, principalmente a Fabiana, a Sílvia, a Maísa, a Adriana e ao Noel e também ao Pedro. Aos professores do curso e da FCA/UNESP pelo conhecimento e experiência transmitidos.

A professora Dra. Odete Rocha (UFSCAR), por ter me doado as *Lemnas* minor.

Aos meus amigos e estagiários Matheus Lima e Linan Tsai por me auxiliarem durante o experimento.

A todos os meus amigos que torcem pelo meu sucesso, em especial ao Ricardo, ao Alexsandro, ao Bruno, ao Eugenio, ao Gustavo, a Cris “Tina”, a Tamires, a Leila, a Valéria, a Larissa, a Luciana, a Fabiana, a Daniela, a Laryssa, a Nathália, a Jéssica, a Edhielle, a Lília, a Aline, a Jenife, a Nanci, a dona Diva, ao Hilário, ao Fernando e ao Rodrigo. Agradeço a todos pelos momentos compartilhados, em por estarem comigo em todos os momentos (bons e ruins) nessa etapa da minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de mestrado.



“O pessimista vê dificuldade em cada oportunidade; o otimista vê oportunidade em cada dificuldade.”

(WISTON CHURCHILL)



## RESUMO

A necessidade de preservação e uso racional da água é notória e pertinente. Esta reeducação também está associada ao uso de fontes alternativas, como a utilização de efluentes tratados (águas residuárias), para fins menos nobres, ou seja, aqueles nos quais não se requer água potável. É importante estudar o uso de novos insumos com potencial agrícola, onde a aplicação de águas de qualidade inferior à potável pode se tornar uma alternativa promissora para a obtenção de nutrientes e de água para as plantas de forma econômica e com menos impactos ambientais. Conhecendo a importância e necessidade do reuso da água e uso de efluentes na agricultura, este trabalho teve como objetivo geral, analisar o efeito das macrófitas lamnáceas no polimento de águas residuárias, bem como o uso dessa água na irrigação da cultura do feijão. O experimento foi realizado em casa de vegetação não climatizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA, UNESP, na cidade de Botucatu – SP. O cultivar utilizado foi o feijão IPR Andorinha e a macrófita aquática lamnácea utilizada foi a espécie *Lemnas minor*. Observou-se no presente experimento a remoção de 59% dos sólidos totais (ST) presentes na água residuária, podendo afirmar que esta redução está associada à hidrólise da matéria orgânica particulada, sedimentação e usos de macrófitas lamnáceas. No presente trabalho obteve-se uma redução de 74% na demanda química de oxigênio (DQO) em um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10 dias. A utilização de *Lemnas minor* no presente experimento foi significativa e eficaz no polimento da água residuária, pois a removeu 86% de fósforo (P). A irrigação com água residuária teve efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) no conteúdo de macro e micronutrientes no feijão, indicando que esta cultura tem capacidade de absorver e tolerar a utilização na irrigação de água residuária com e sem polimento. O índice de cor verde das folhas foi significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ), aproximadamente 17,10%, no tratamento irrigado com água residuária com polimento em relação ao irrigado com água de abastecimento (potável). Enquanto que a água residuária sem polimento se assemelhou a ambas as formas de irrigação anteriores.

**Palavras-chave:** Água residuária; Estação de tratamento de esgoto (ETE); *Lemnas minor*; IPR Andorinha.



## ABSTRACT

The need for water conservation and rational use is notorious and relevant. This reeducation is also associated with the use of alternative sources, such as the use of treated effluents (wastewater), for less noble purposes, ie those in which drinking water is not required. To study the use of new inputs with agricultural potential, where the application of water of inferior quality to drinking can become a promising alternative to obtain essential nutrients and waters to the plants in an economical way and with less environmental impacts Knowing the importance and necessity of water reuse and effluent use in agriculture, this work had as general objective to analyze the effect of the lemneous macrophytes on the wastewater polishing, as well as the use of this water in the irrigation of the bean culture. The experiment was carried out under greenhouse conditions in the Department of Soil and Environmental Resources of the Faculty of Agronomic Sciences, UNESP, in the city of Botucatu – SP. The cultivar used was the bean IPR Swallow and the aquatic macrophyte lamnacea used was the species *Lemnas minor*. It was observed in the present experiment the removal of 59% of “TS” of the present wastewater, it can be said that this reduction is associated with the hydrolysis of particulate organic matter, sedimentation and uses of lamneous macrophytes. In the present master's study, we obtained a 74% reduction in “DQO” in a 10-day TDH. The use of *Lemnas minor* at present in the present experiment was significant and effective in the polishing of the wastewater, since the removal was 86% of P. With these data it is clear that use of *Lemnas minor* at present in the present experiment was significant and effective in The irrigation with wastewater had a significant effect ( $p \leq 0.05$ ) on the macro and micronutrient contents in the bean, indicating that this culture has the capacity to absorb and tolerate the use in the irrigation of wastewater with and without polishing. The leaf green color index was significantly higher ( $p \leq 0.05$ ), approximately 17.10%, in the treatment with irrigation using waste water with polishing in relation to irrigation with water supply. While unpolished wastewater resembled both previous forms of irrigation.

**Keywords:** Wastewater; Effluent Treatment Plant (ETP); *Lemnas minor*; IPR Andorinha.





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	ÁGUAS RESIDUÁRIAS E A IMPORTÂNCIA DO SEU USO .....	19
2.2	CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS .....	22
2.2.1	<i>Características Físicas .....</i>	<i>23</i>
2.2.2	<i>Características Químicas.....</i>	<i>24</i>
2.2.3	<i>Características Biológicas .....</i>	<i>25</i>
2.3	COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS ESGOTOS .....	25
2.4	TRATAMENTO DE ESGOTO .....	26
2.4.1	NÍVEIS DE TRATAMENTOS DE ESGOTO .....	27
2.4.1.1	<i>Preliminar .....</i>	<i>27</i>
2.4.1.2	<i>Primário .....</i>	<i>29</i>
2.4.1.3	<i>Secundário .....</i>	<i>29</i>
2.5	MACRÓFITAS LAMINÁCEAS .....	32
2.6	A CULTURA DE FEIJÃO .....	33
2.6.1	<i>Aspectos Gerais: econômicos, nutricionais e sociais .....</i>	<i>33</i>
2.6.2	<i>Cultura do feijão.....</i>	<i>33</i>
2.6.3	<i>Feijão IPR Andorinha.....</i>	<i>35</i>
2.7	IRRIGAÇÃO DE CULTURAS .....	35
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
3.1	Localização Da Área.....	37
3.2	CLIMA .....	37
3.3	SOLO E ADUBAÇÃO .....	37
3.4	CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS .....	37
3.5	AVALIAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA .....	41
3.5.1	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (SST) E SÓLIDOS TOTAIS (ST).....	41
3.5.2	MATÉRIA ORGÂNICA .....	41
3.5.2.1	<i>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO).....</i>	<i>41</i>
3.5.2.2	<i>DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) .....</i>	<i>41</i>
3.5.3	NITROGÊNIO (N) .....	41
3.5.4	FÓSFORO (P) .....	41
3.5.5	COLIFORMES .....	42
3.5.6	PH .....	42
3.5.7	EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO .....	42
3.6	AVALIAÇÃO DO FEIJÃO .....	42
3.6.1	NÚMERO DE VAGENS POR PLANTA .....	42
3.6.2	Nº GRÃOS POR PLANTA .....	43
3.6.3	RENDIMENTO .....	43
3.6.4	MASSA FRESCA E SECA E CONTEÚDO DE MACRO E MICRONUTRIENTES .....	43

3.6.5	ÍNDICE DE COR VERDE (CLOROFILA).....	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>
4.1	POLIMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	45
4.1.1	<i>Sólidos Totais e Suspensos.....</i>	<i>45</i>
4.1.2	<i>DBO e DQO.....</i>	<i>47</i>
4.1.3	<i>Coliformes Totais.....</i>	<i>50</i>
4.1.4	<i>pH.....</i>	<i>50</i>
4.2	Nutrição e produção do feijão com a utilização de água residuária e de abastecimento.....	51
4.2.1	<i>Conteúdo de nutrientes e índice de cor verde no feijão.....</i>	<i>50</i>
4.2.2	<i>Número de vagens e de grãos de feijão por planta.....</i>	<i>52</i>
4.2.3	<i>Matéria fresca e seca por tratamento.....</i>	<i>54</i>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Von Sperling (1995), a água apresenta essencial importância para a vida na Terra, sendo fundamental para todos os seres vivos e organismos. Ela age diretamente na vida, como um recurso limitante para o bem estar da civilização, promovendo assim as necessidades de todos nós. Os usos da água são os mais variados possíveis, como: transporte, agricultura, pesca, abastecimento (público e industrial), irrigação a possibilidade de pesca e preservação ambiental (fauna e flora).

Nos últimos 100 anos a demanda por água doce está 6 vezes maior, entretanto a população apenas triplicou (OLIVEIRA, 2002), indicando que o consumo da água cresce bem mais rápido do que o crescimento da população em si. O advento da agricultura irrigada foi um fator determinante nesse aumento, sendo hoje responsável por 70% da demanda hídrica. Apesar de sua importância, com exceção de regiões áridas e semiáridas do globo, o valor da água é geralmente negligenciado até que alguma catástrofe natural ou induzida pelo homem, empenhe a atenção ao seu valor (KITAMURA, 2004).

Vale salientar que as atividades humanas, associadas ao rápido crescimento demográfico em conjunto aos problemas de infraestrutura urbana, como exemplo, o saneamento básico, têm gerado resíduos líquidos e sólidos nas cidades brasileiras, que elevam o nível de poluição ambiental (COSTA; CAMPOS; BARBOSA; BORTOLOTO, 2012). Portanto, é indispensável à coleta e o tratamento dos esgotos sanitários, de modo a reduzir a carga poluidora antes de sua disposição final, como também assegurar a qualidade de vida da população (PBHSF, 2004).

A preservação e o uso racional da água são de grande importância. Estes usos abrangem o domínio em relação aos desperdícios e a reeducação do consumo, ocasionando uma diminuição na produção de efluentes líquidos. A reeducação está ligada a utilização de fontes alternativas, como o reúso de efluentes tratados e águas residuárias (PETERS, 2006).

Atualmente no Brasil são utilizados tratamentos preliminares, primários, secundários e terciários (estes são raros no país), sendo utilizadas tecnologias biológicas: anaeróbios, facultativas e aeróbicas para o tratamento dos esgotos (PNS, 2010).

Segundo o Boletim Técnico: Qualidade das Águas Residuárias para Irrigação (2014), os efluentes de origem industrial e doméstica; os efluentes de processamento de vegetais e frutas; os dejetos de líquidos animais; os efluentes de drenagem e os efluentes da indústria de papel e celulose incluem-se no grupo das águas de qualidade inferior. O destino final desses efluentes podem provocar diversos impactos ambientais caso sejam manejados de maneira inadequada ou lançados no curso d'água, comprometendo tanto o equilíbrio do ecossistema quanto sua qualidade.

Para a remoção e transformação da carga poluente utilizam-se processos físicos, químicos e biológicos, pois são as principais técnicas de tratamento para esses dejetos (DIESEL et al., 2002).

De acordo com o Boletim Técnico: Qualidade das Águas Residuárias para Irrigação (2014), a contaminação de águas subterrâneas; alterações físicas, químicas e biológicas no solo e, possivelmente a contaminação do produtor rural são alguns dos efeitos da utilização de águas residuárias na fertirrigação ou irrigação de forma inadequada. Entretanto, com a utilização de tecnologias e técnicas de tratamento e manejo adequadas, pode se tornar uma alternativa economicamente e ambientalmente viável desses efluentes para produção rural.

Estudar o uso de novos insumos com potencial agrícola, onde a aplicação de águas de qualidade inferior a potável pode se tornar uma alternativa promissora para a obtenção de nutrientes e águas essenciais às plantas de forma econômica e com menos impactos ambientais (BOLETIM TÉCNICO: QUALIDADE DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA IRRIGAÇÃO, 2014).

Conhecendo a importância e necessidade do reuso da água e uso de efluentes na agricultura, este trabalho teve como objetivo geral analisar o efeito das macrófitas lemnáceas no polimento de águas residuárias, bem como o uso dessa água na irrigação da cultura do feijão, sendo os objetivos específicos foram:

- Analisar a eficiência das *Lemnas minor* no polimento de efluentes;
- Avaliar os efeitos da irrigação com águas residuárias polidas (pós-tratadas) na cultura do feijão;
- Avaliar a produtividade x rendimento da cultura do feijão diante das condições cominadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Águas residuárias e a importância do seu uso

De acordo com Hespanhol (2002), com os problemas de qualidade e escassez da água em diversas regiões do mundo, a utilização de águas residuárias na agricultura torna-se uma alternativa, ressaltando-se que a irrigação agrícola representa aproximadamente 70% do consumo hídrico no mundo.

Segundo Fonseca (2000), uma das alternativas para o controle da poluição de corpos d'água, reciclagem de nutrientes, disponibilização de fertilizantes e água para as culturas e aumento de produção agrícola é o aproveitamento adequado de águas residuárias na agricultura. O uso de água residuárias abrange técnicas relacionadas às duas áreas específicas de engenharia: a agrícola, que visa o aproveitamento de águas servidas para a fertirrigação de culturas e a sanitária, que visa a depuração de águas residuárias.

Experiências internacionais e nacionais têm demonstrado tendência à expansão e fortalecimento do reuso de águas residuárias no Brasil, especialmente para a irrigação de diferentes culturas, como o milho e o algodão. Porém, ainda são baixos os registros do reuso de águas residuárias provenientes do tratamento do esgoto (BEZERRA e FIDELIS FILHO, 2009; COSTA et al., 2009).

O efluente considerado mais adequado para a aplicação na agricultura é o esgoto doméstico (OLIVEIRA, 2002). A utilização de esgotos sanitários (tratados ou não) para a irrigação é uma prática antiga em países como Estados Unidos, Israel, México, Peru e Austrália. Já no Brasil o uso de águas servidas é baixo (HUSSAR et al., 2005 e TAL, 2006). Segundo Bastos et al. (2003), os países que mais utilizam esgoto sanitário na agricultura são: China (1.330.000 ha), México (250.000 ha), Índia (73.000 ha), Argentina (37.000 ha) e Alemanha (28.000 ha). São bombeados para Gaza 10.000 m<sup>3</sup>/ano de efluentes de lodo ativado tratados. A água servida é utilizada para irrigar, aproximadamente, 600 ha de cereais e 1.800 ha de algodão por ano (WATER RENOVATION AND REUSE, 2017).

O aproveitamento de nutrientes contidos nos efluentes que são fundamentais para o desenvolvimento sadio das plantas, como os micronutrientes (B, S e Zn) e os macronutrientes (N, P), e a economia no uso de águas mais nobres para irrigação são alguns dos vários benefícios oferecidos pela utilização de águas residuárias provenientes do tratamento de esgotos na agricultura (BLUM, 2003).

Segundo Queiroz *et al.* (2004), quando utilizadas na irrigação ou fertirrigação de culturas, as águas residuárias com altas concentrações de metais pesados causam sérios problemas de contaminação do solo. Segundo estudos, há registro de que 85% dos metais pesados se acumulam no solo (especialmente na camada superficial). De acordo com Mikkelsen *et al.* (1997) a aplicação por longos períodos de águas residuárias no solo pode causar acúmulo de nutrientes, ultrapassando as exigências nutricionais exigidas pelas plantas.

De acordo com Marciano *et al.* (2001), a contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo em áreas com reúso de água está profundamente ligada às características da água residuária, e às propriedades de transmissão e retenção de solutos e águas do solo, que podem limitar a sua utilização.

Al-Nakshabandi *et al.* (1997), relataram um aumento na concentração de metais pesados, como zinco, cobre, manganês, cádmio e chumbo no solo que recebeu aplicação de esgoto sanitário tratado. Por isso, torna-se necessário um tratamento eficiente e uma análise das águas residuárias antes de utilizá-la na agricultura.

A aplicação de águas residuárias sem um tratamento prévio adequado, pode causar a sodificação do solo, ocasionado por um aumento na concentração de sódio em relação ao magnésio e cálcio (FUENTES *et al.*, 2002). Quando as águas residuárias apresentam altas concentrações de metais pesados, como chumbo, cádmio, cobre e zinco, podem causar sérios problemas de contaminação do solo, quando as mesmas são utilizadas na fertirrigação de culturas (AL-NAKSHABANDI *et al.*, 1997).

Shende (1985) demonstra o rendimento anual de algumas culturas, como, trigo, arroz, algodão e batata, verificando-se que os cultivos fertirrigados com água fluvial e fertilizada com adubos químicos apresentaram menor rendimento do que os cultivos irrigados com águas residuárias, apresentados na Tabela 1.

Em estudos Al-Jaloud *et al.* (1995) observou-se que as concentrações de fósforo, magnésio, nitrogênio, cobre, potássio, zinco, manganês, sódio e molibdênio nas folhas de milho sofreram um aumento mediante a aplicação da fertirrigação com esgoto sanitário tratado.

**Tabela 1** – Produtividade de algumas culturas irrigadas com água limpa (fluvial) e fertirrigadas com distintas águas residuárias.

Tipo de água	Culturas			
	Arroz	Algodão	Batata	Trigo
	t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>			
Água fluvial + adubação com NPK	2,03	1,70	17,16	2,70
Água residuária sem tratamento	2,97	2,56	23,11	3,34
Efluente de lagoa de estabilização	2,94	2,56	20,78	3,34

Fonte: Shende (1985).

As concentrações de N, P e K das folhas do cafeeiro, que sofreu aplicação de esgoto sanitário tratado, foi aumentada, em relação às folhas de cafeeiros irrigados com água limpa - pluvial (SANTOS, 2004).

Em estudos Al-Jaloud *et al.* (1995) observou-se que as concentrações de fósforo, magnésio, nitrogênio, cobre, potássio, zinco, manganês, sódio e molibdênio nas folhas de milho sofreram um aumento mediante a aplicação da fertirrigação com esgoto sanitário tratado.

A possibilidade de contaminação microbiológica do produto agrícola é um dos problemas da utilização de águas residuárias na agricultura. Porém, se as técnicas de tratamento e aplicação dessas águas forem adequadas, os riscos de contaminação dos vegetais são pequenos. É válido ainda salientar que a análise química do efluente a ser utilizado no cultivo de uma determinada cultura é indispensável, para obter um melhor manejo da sua adubação, bem como para a escolha do sistema de irrigação mais adequado para a aplicação do efluente via fertirrigação (BOLETIM TÉCNICO: QUALIDADE DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS PARA IRRIGAÇÃO, 2014).

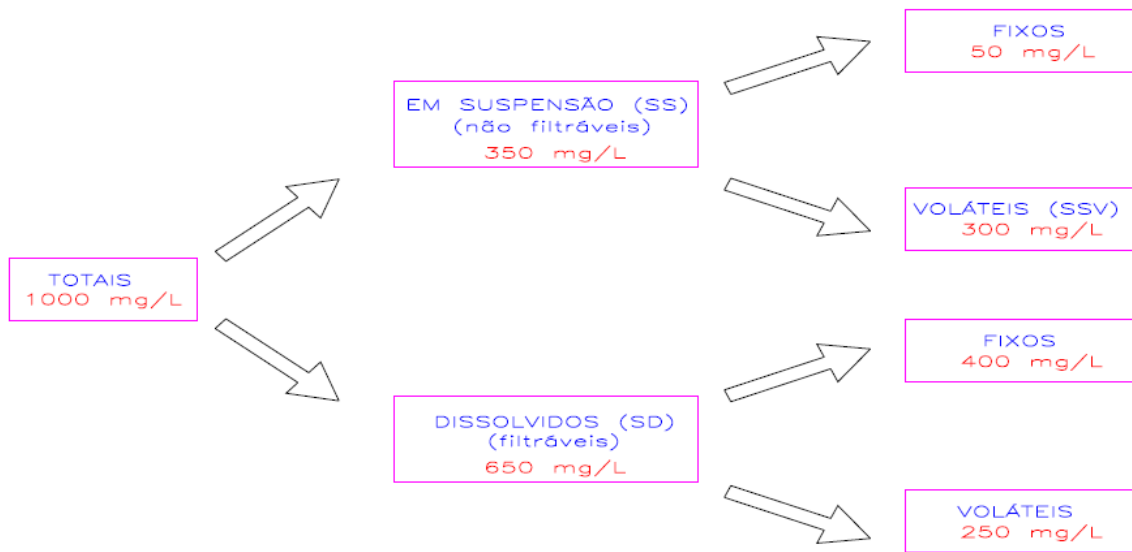
De acordo com Bastos (2003) foi por volta do século XIX, devido os processos de disposição de esgotos no solo objetivando o seu tratamento ou disposição final, que se tornou usual a aplicação de esgotos sanitários na irrigação de culturas agrícolas.

Devido ao expressivo volume de água utilizado para a irrigação no Brasil (aproximadamente 63% do volume total), têm aumentado o interesse pelo uso de efluentes e esgotos sanitários em substituição às fontes com uma qualidade melhor, que podem servir para uma finalidade mais nobre, como o abastecimento humano (ANA, 2002).

## 2.2 Características Dos Esgotos Domésticos

Apresentando aproximadamente 99,9% de líquido (água) e 0,1% de sólidos inorgânicos, orgânicos e microrganismos, o esgoto sanitário bruto apresenta na figura 1 uma determinada característica (VON SPERLING, 2005). Os esgotos podem ser classificados em dois fundamentais grupos: os esgotos industriais e os sanitários.

**Figura 1** – Distribuição dos resíduos sólidos do esgoto bruto (sem tratamento)



Fonte: Von Sperling (1996)

Os esgotos industriais, segundo Jordão e Pessoa (1995), são aqueles que provem de qualquer utilização da água para fins industriais, são diversos e adquirem características próprias em função do processo industrial empregado e sua composição varia desde orgânicos a minerais.

Os esgotos sanitários são constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, de águas de infiltração e, eventualmente uma parcela não significativa de despejos industriais, tendo características bem definidas, segundo CHAGAS (2000).

Von Sperling (2005) diz que o esgoto de cada localidade origina-se por meio de formas distintas: as águas de infiltração na rede coletora de esgotos sanitários através de tubos defeituosos; os despejos industriais; e finalmente pela contribuição doméstica, abrangendo as residências, instituições públicas e comércio.



Segundo Aisse (2000), a contribuição pluvial tem como característica predominante à sazonalidade, que se altera de acordo com a precipitação pluviométrica de cada região. Sua composição é semelhante aos domésticos na primeira lavagem, devido ao processo de lavagem do ambiente (telhas, pisos, tubulações, calçadas, entre outros).

Chernicharo (1997) afirma que os esgotos domésticos têm características perenes, embora estes sofram variações de fluxo em decorrências das atividades humanas, tendo uma composição elevada de matéria orgânica.

As águas de infiltração também compõem o esgoto sanitário, segundo Von Sperling (1996), são aquelas águas que adentram na rede coletora de esgoto por meio de tubulações, paredes de poços de visita, entre outros.

Como prescrito na NBR 9648/86 da ABNT, existe ainda a contribuição pluvial parasitária, que é a parcela do esgotamento superficial fatalmente absorvida pela rede coletora de esgoto.

### 2.2.1 Características Físicas

Segundo Jordão e Pessôa (1995) é de grande importância o teor de matéria sólida, entre as outras características físicas dos esgotos, em termos de dimensionamento e controle de operação das unidades de tratamento. Mesmo representando cerca de 0,08% dos esgotos (água compõe o restante de 99,92%), a remoção da matéria sólida requer uma série de operações unitárias de tratamento.

Os itens seguintes apresentam um resumo das principais características físicas do esgoto:

- a) Matéria sólida: definida como a matéria que permanece como resíduo após evaporação a 103° C. As substâncias orgânicas se volatilizam e os minerais permanecem em forma de cinza, quando este resíduo é calcinado a 600° C, compondo-se em matéria sólida volátil (sólidos voláteis) e a matéria fixa (sólidos fixos). Para efeito de controle da operação de sedimentação, a matéria em suspensão, geralmente é classificada em: sedimentáveis e não sedimentáveis (JORDÃO e PESSÔA, 1995).
- b) Temperatura: é um parâmetro de grande importância para um bom funcionamento do processo de tratamento de efluente. A temperatura interage com a radiação solar e afeta a velocidade do metabolismo

das bactérias responsáveis pela depuração dos esgotos. A temperatura também influencia a presença de algumas espécies de algas, com isso influencia também o oxigênio fotossintético produzido (KLÜSENER, 2006).

- c) Cor e turbidez: são Parâmetros que indicam de imediato o estado de decomposição do esgoto. A turbidez está relacionada com a concentração dos sólidos em suspensão. Já a cor são sólidos dissolvidos. A tonalidade acinzentada acompanhada alguma turbidez é típica do esgoto fresco, mais concentrado e com a cor preta (maior turbidez) é típica do esgoto velho (FUNASA, 2004 e SPERLING, 1996).
- d) Odor: originado no processo de decomposição pela formação dos gases. A presença de despejos industriais causam odores diferentes e específicos. Na estação de tratamento de esgoto (ETE) o mau cheiro pode ser encontrado principalmente em depósitos de material gradeado, na caixa de areia, nas operações de transferência e manuseio do lodo. Podem apresentar odores nos seguintes compartimentos: nos adensadores de lodo, nas caixas de areia e nas grades na entrada da ETA e também no esgoto em si (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

### 2.2.2 Características Químicas

Segundo Jordão e Pessôa (1995), os esgotos podem ser de dois grupos, com a presença de matéria orgânica e inorgânica.

- a) Matéria Orgânica: este grupo é constituído por proteínas, carboidratos, gordura e óleos, e uma pequena parcela de ureia, surfactantes, fenóis e pesticidas. Aproximadamente 70% dos sólidos no efluente são de procedência orgânica (JORDÃO e PESSÔA, 1995).
- b) Matéria Inorgânica: de acordo com Silva et al. (1994) a matéria inorgânica nos efluentes é composta, por várias substâncias minerais e areia, derivadas de águas de lavagens.

### 2.2.3 Características Biológicas

Sobressaem-se como características biológicas dos esgotos (efluentes) os microrganismos e os indicadores de poluição chamados de patogênicos. Os microrganismos avaliados como indicadores de contaminação nas águas são: coliformes totais e coliformes fecais de termotolerantes, *Escherichia coli* e clostrídios (SANT'ANA *et. al.*, 2003).

Avelino (2001) cita que os coliformes são empregados desde o século XIX como indicadores de contaminação fecal, como um básico parâmetro bacteriológico na definição de padrões para a avaliação e caracterização da qualidade das águas em geral.

De origem gastrointestinal os coliformes termotolerantes tem a mesma definição que os totais, porém se diferenciam pela capacidade de fermentar a lactose com produção de gás. Existem ao menos 4 gêneros nesse grupo; *Escherichia*, *Citrobacter*, *Entorobacter* (se multiplica em ambientes livres) e *Klebsiella*, dos quais os 3 últimos não são de origem fecal (MACÊDO, 2001). Em relação ao grupo dos coliformes termotolerantes, a bactéria *Escherichia Coli* é a mais diferenciada e conhecida dos membros, sendo um dos melhores indicadores de contaminação fecal (SILVA, 1997).

### 2.3 Composição Média dos Esgotos

De acordo com as figuras 2 e 3 a composição média dos esgotos são as seguintes:

**Figura 2** - Composição típica do esgoto sanitário

DQO total (mg/l)	250	430	800
DBO (mg/l)	110	190	350
ST (mg/l)	390	720	1230
STD (mg/l)	270	500	860
SDF (mg/l)	160	300	520
SDV (mg/l)	110	200	340
SST (mg/l)	120	210	400
SSF (mg/l)	25	50	85
SSV (mg/l)	95	160	315

Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy (2003).

**Figura 3** - Composição do esgoto sanitário

CONSTITUINTES	Concentração (em mg/L, onde não indicados)		
	Forte	Médio	Fraco
1 Sólidos Totais	1200	720	350
1.1 Dissolvidos totais	850	500	250
1.1.1 Fixos	525	300	145
1.1.2 Voláteis	325	200	105
1.2 Suspensos totais	350	220	100
1.2.1 Fixos	75	55	20
1.2.2 Voláteis	275	165	80
2 Sólidos sedimentáveis (ml/l)	20	10	5
3 DBO <sub>5</sub> , 20°C	400	220	110
4 Carbono Total (TOC)	260	160	80
5 DQO	1000	500	250
6 Nitrogênio Total (como N)	85	40	20
6.1 Orgânico	35	15	8
6.2 Amônia livre	50	25	12
6.3 Nitritos	0	0	0
6.4 Nitratos	0	0	0
7 Fósforo total	15	8	7
7.1 Orgânico	5	3	1
7.2 Inorgânicos	10	5	3
8 Cloretos	100	50	30
9 Alcalinidade (como CaCO <sub>3</sub> )	150	100	50
10 Graxa	150	100	50

Fonte: Gonçalves e Souza (1997).

As figuras 2 e 3 mostram a composição típica dos esgotos sanitários, onde se tem uma grande importância a verificação dos sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Analisando as figuras, verifica-se que alguns parâmetros têm valores diferentes, pois, isso acontece devido à composição do esgoto, pois é variável e depende de cada região/local que o constitui.

## 2.4 Tratamento De Esgoto

O esgoto, efluente ou águas residuárias consiste em resíduos líquidos derivados de indústrias, agroindústrias, residências, edifícios, etc, que carecem de tratamento apropriado para remover as impurezas, e desse modo, serem restabelecidos à natureza sem causar danos ambientais e à saúde humana (FARIA et al 2004).

A natureza tem a habilidade de decompor a matéria orgânica presente nos rios, processo conhecido como autodepuração. Contudo, para os efluentes exige-se um tratamento mais eficaz, pois apresentam um alto teor de matéria orgânica, por isso, utiliza-se uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que, essencialmente, reproduz a ação da natureza de modo mais acelerado (ANDRADE, 2010 e SABESP, 2014).

O tratamento de efluentes está sujeito a grandes variações, pois depende do tipo de efluente a ser tratado e da classificação do corpo d'água que receberá esse efluente, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Segundo Von Sperling (1996), o tratamento de esgoto pode ser classificado nos mencionados estágios:

- a) Tratamento preliminar: remove os sólidos grosseiros;
- b) Tratamento primário: remove os sólidos sedimentáveis e uma porcentagem da matéria orgânica, essencialmente por processos físicos;
- c) Tratamento secundário: por meio de processos biológicos, removem a matéria orgânica e parte dos nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P);
- d) Tratamento terciário: tem como objetivo a remoção de determinados poluentes e contaminantes (geralmente os tóxicos e ou compostos não biodegradáveis), removem também contaminantes e poluentes não removidos no tratamento anterior (secundário).

Von Sperling (1996) menciona que os aspectos relevantes na escolha de tecnologias de tratamento de esgotos são: eficiência, confiabilidade, acondicionamento do lodo, condições de área, impactos ambientais, gastos de operação, despesas de implantação, sustentabilidade e simplicidade de operação.

## 2.4.1 Níveis de Tratamentos de Esgoto

### 2.4.1.1 Preliminar

O Tratamento preliminar do efluente tem como objetivo a remoção dos sólidos com uma granulometria maior, ou seja, os mais grosseiros, por meio de vários processos e etapas de separação, como a passagem do esgoto em peneiras e grades para realizar tal separação (AISSE, 2000).

a) Gradeamento

Segundo Júnior (2001), o sistema de gradeamento são dispositivos formados por barras paralelas e com a mesma medida de espaçamentos, conforme a figura 4, que tem como função reter sólidos grosseiros em suspensão.

**Figura 4 –** Gradeamento do esgoto



Fonte: Montez (2007).

b) Caixa de areia

Tem como objetivo remover a areia presente no esgoto, também pode ser chamado de desarenador (figura 5). A sedimentação é responsável por tal remoção (VON SPERLING, 1996).

**Figura 5 -** Desarenador ou caixa de areia



Fonte: Aguiar (2011).

#### 2.4.1.2 Primário

Após o pré-tratamento é necessário separar a fase líquida da fase sólida, por meio do processo de sedimentação e decantação (SILVA, 2004).

A decantação é um procedimento que realiza a separação do sólido (lodo) e do líquido (esgoto bruto) utilizando a sedimentação dos fragmentos sólidos. O efluente corre lentamente por meio dos decantadores (figura 6), fazendo com que os sólidos em suspensão (que apresentam densidade maior do que a do líquido) sedimentam gradativamente na parte inferior da lagoa (OLIVEIRA, 2010).

**Figura 6-** Decantador primário



Fonte: FEAM, 2006.

#### 2.4.1.3 Secundário

Nesta fase, acontece a degradação da matéria orgânica, através de reações bioquímicas. Os métodos podem ser aeróbicos (refletem a ação natural da decomposição) ou anaeróbicos (OLIVEIRA, 2010).

Abaixo serão discutidas as principais tecnologias utilizadas no tratamento secundário:

##### a) Lagoas de estabilização ou de oxidação

São lagoas (figura 7) arquitetadas de maneira simples, no qual os esgotos ingressam em uma extremidade e saem na oposta. A matéria orgânica forma um lodo que será estabilizado em determinado tempo (CORSSATTO, 2006).

**Figura 7-** Lagoa de estabilização



Fonte: FEAM (2006).

#### b) Reatores Anaeróbicos de Fluxo Ascendente

O reator foi desenvolvido na Holanda por Gatzke Lettinga (da Universidade de Wageningen), no final da década de 70, para o tratamento de efluentes industriais. A biomassa cresce dispersa no meio formando pequenos grânulos dentro do reator. O efluente ingressa pela parte inferior do reator possuindo um fluxo ascendente. Na parte superior do reator existe uma estrutura cônica que tem como objetivo separar os gases do processo anaeróbio, a biomassa sedimentada e o efluente. A concentração de bactérias é bastante elevada formando uma manta de lodo, sendo a produção de lodo baixa e este já sai estabilizado. Devido à alta concentração das bactérias a área deste sistema é bastante reduzida e os maus odores podem ser evitados com um projeto adequado (VON SPERLING, 1995).

Para Castro e Cortez (1998), a digestão anaeróbica é um processo microbiológico de diversos estágios, que na ausência de oxigênio, a maioria dos resíduos orgânicos pode ser biologicamente convertida em metano e outros produtos.

Os reatores anaeróbios promovem a decomposição do material orgânico dos esgotos sanitários pela atuação de bactérias anaeróbicas existentes no manto de lodo desenvolvido no fundo do reator. O lodo, rico em material biodegradável é lançado em um reator fechado, onde se desenvolve uma população de bactérias anaeróbicas que transformam o material biodegradável do lodo em biogás (FEAM, 2006). Segundo Bonifácio (2001), as capacidades desses reatores variam entre 120, 250 e 400 m<sup>3</sup>, podendo ser obtidos em módulos.

Chernicharo (1997) afirma que só após a alimentação em baixa taxa no modo ascendente do lodo, que inicia-se o princípio do processo deste reator, sendo esta

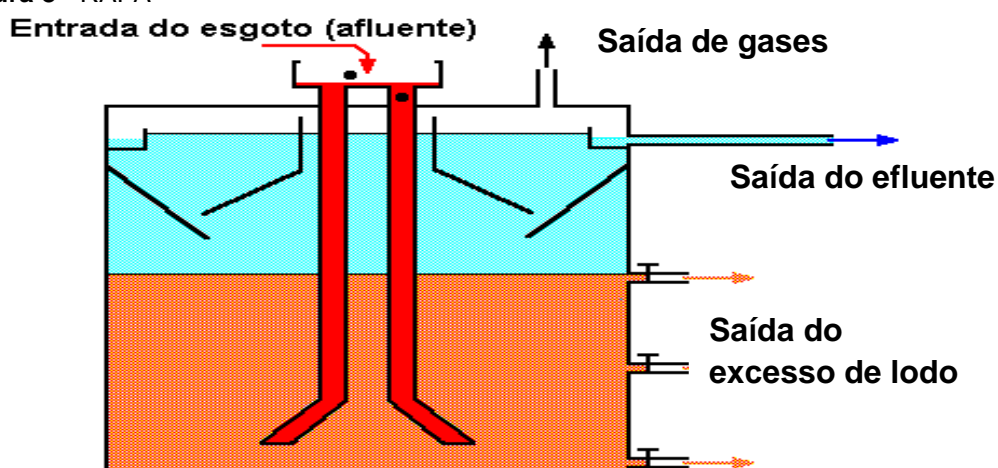


partida do sistema a fase mais importante do reator. E que logo após, com o aumento da eficiência do processo, após alguns meses de operação, esta taxa de alimentação deve ser aumentada.

Segundo van Haandel (2006), a digestão anaeróbica não somente diminui a massa do lodo, como também melhora sua qualidade, evitando putrefação com geração de maus odores e ainda, contribui para a remoção parcial de patogênicos. Apesar desta remoção, a qualidade higiênica do lodo é inadequada para o aproveitamento na agricultura, caso não tenha um pós-tratamento desse lodo.

O custo de implantação do Reator Anaeróbico de Manta de Lodo está entre US\$ 20 a US\$ 40 por habitante, e gera um montante de lodo a ser tratado entre 0,07 a 0,1 m<sup>3</sup>/habitante/ano. E frequentemente são chamados de reatores Anaeróbicos de Fluxo Ascendente (RAFA ou UASB), ver figura 8 (VON SPERLING, 1996).

**Figura 8 - RAFA**



Fonte: Adaptado de Guillén (2009).

Chernicharo (1997), Von Sperling (1996; 2007) e Nuvolari (2003) afirmam que os reatores tem como princípio dividir o esgoto bruto em três fases, por meio do separador trifásico:

- a) Fase Sólida: tem geralmente idade não superior a 30 dias, sendo o lodo mais pesado gerado no compartimento de digestão.
- b) Fase Líquida: é o efluente líquido com eficiência de remoção do DBO de aproximadamente de 60 a 80%, e esse efluente sai após o tratamento.
- c) Fase Gasosa: é a geração do biogás gerado no processo anaeróbico, que ainda é comumente queimado para evitar o mau cheiro, devido à presença do gás metano.

## 2.5 Macrófitas Lamináceas

A família Lemnaceae constitui-se de cinco gêneros: *Landoltia*, *Wolffiella*, *Lemna*, *Spirodela* e *Wolffia*. As “lemnas”, lentilhas d’águas ou “duckweeds” (erva de pato) são consideradas as menores plantas vasculares do mundo. São classificadas como macrófitas ou plantas superiores (grupo das monocotiledôneas). Suportam salinidade de até 4 g/L e podem ser confundidas com algas (LANDOLT e KANDELER, 1987).

A classificação taxonômica da espécie utilizada é:

Reino: Plantae; Divisão: Angiospermae; Classe: Monocotyledoneae; Ordem: Alismatales; Família: Araceae (Lemnaceae); Gênero: *Lemna* e da Espécie: *Lemna minor*.

A utilização de macrófitas aquáticas pode ser uma solução econômica e tecnicamente viável, pois elas removem os nutrientes (N, P e sólidos suspensos) de esgotos e os transformam em proteínas para seu próprio crescimento, ou seja, a biomassa produzida contém elevado valor proteico (COLEMAN 2001, FRANKEMBACH e MEYER, 1999, MOHEDANO, 2004, ORON et al., 1984 e SOTO, 1999).

Atualmente a tecnologia consolidada para o tratamento de efluentes (agrícolas, domésticos e industriais) são as lagoas de estabilização. Quando utilizadas para tratar os efluentes necessita-se de pré-tratamento (retirar materiais grosseiros) e pós-tratamento (remoção de nutrientes como N, P e sólidos suspensos) (BAVARESCO, 1998 e SEZERINO, 2002).

As lemnas são plantas que nos últimos anos têm atraído grande atenção, pois são capazes de reduzir a quantidade de sólidos em suspensão e de retirar nutrientes da água com grande eficiência, podendo ser utilizadas no pós-tratamento de efluentes, em especial da tecnologia lagoa de estabilização (VAN DER STEEN et al., 1999; ZHAO et al., 2012; CAICEDO et al., 2000).

Devido à sua capacidade de se adaptar a uma faixa temperatura, concentração de nutrientes, pH, dentre outros fatores, as lemnáceas há mais de 30 anos vêm sendo eficientemente utilizadas na remediação de águas contaminadas (LANDOLT; KENDELER, 1987).

De acordo com Brix e Shierup (1989), as Lemnaceae possuem enormes condições adequadas para a decomposição biológica da matéria orgânica e também

uma grande habilidade na assimilação de nutrientes. A remoção do nitrogênio em sistemas de tratamento com lamnáceas ocorre pela ação de microrganismos fixados nas raízes, pela absorção direta da planta, em torno de 50% e pela volatilização da amônia, pois, as lemnaáceas têm preferência pela absorção de amônia (KORNER, VERMAAT, 1998; PORATH e POLLOCK, 1982). Já o P (fósforo) é removido pela absorção de partículas de matéria orgânica/argila, por meio da assimilação das plantas e bactérias, e também por meio da precipitação química com  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  (IQBAL, 1999).

Segundo Skillicorn et al. (1993) e Smith e Moelyowati (2001), os fatores que influenciam a produção de lemnaáceas são o manejo, pH, OD (Oxigênio dissolvido), efeito dos ventos, os nutrientes, a densidade das plantas, e a salinidade.

Por disponibilizar condições favoráveis para a decomposição da matéria orgânica as lemnaáceas apresentam grande habilidade na assimilação de nutrientes (BRIX; SHIERUP, 1989).

## **2.6 A Cultura De Feijão**

### 2.6.1 Aspectos Gerais: econômicos, nutricionais e sociais

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de grande importância econômica, pois o Brasil é um dos maiores produtores do grão. No entanto, possui uma produtividade média relativamente baixa. É importante nutricionalmente, devido ao alto teor de ferro, carboidratos e de proteína (20-25%), principalmente, por lisina, um aminoácido essencial, contudo é deficiente em aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína), os quais são encontrados em grande quantidade nos cereais, cujo teor de lisina é baixo. Sendo assim, a combinação nas refeições dos brasileiros de arroz com feijão é uma forma de contemplar as duas modalidades de aminoácidos essenciais em suas dietas. É uma cultura bastante abrangente, o cultivo da mesma ocorre em propriedades de tamanhos diversos, desde grandes propriedades às pequenas, sendo muitas vezes de agricultura familiar (BORÉM; CARNEIRO, 2015).

### 2.6.2 Cultura do feijão

Existem disponíveis na literatura várias classificações de feijão, em uma delas, segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), o feijão pode

ser classificado como comum ou anão (*Phaseolus vulgaris* L.), amplamente distribuído no território brasileiro, ou pode ser caupi (*Vigna unguiculata* L.), denominada também por feijão-de-corda, fradinho ou massacar, possuindo uma distribuição mais restrita à região Norte e Nordeste, devido às condições climáticas mais favoráveis ao seu cultivo. Tratando-se da época de semeadura, o feijão possui anualmente três safras, a primeira designada “safra das águas” (ou também “safra do Sul e Sudeste”), a segunda, “safra da seca” (ou “safrinha ou safra do Nordeste e Sudeste”) e a última, “safra de outono/inverno” (ou “safra do Sudeste ou irrigada”) (MOURA e BRITO, 2015). Sendo assim, cada safra possui uma temperatura limitante específica conforme a época de semeadura e colheita (PORTUGAL; PERES; RODRIGUES, 2015).

A origem do gênero *Phaseolus* deu-se nas Américas havendo cerca de 55 espécies, das quais cinco são cultivadas, sendo *Phaseolus vulgaris* L. (feijão comum) o mais importante dentre as espécies cultivadas, em decorrência de ser a mais utilizada em todos os continentes, e também por ser a espécie cultivada mais antiga (SANTOS et al., 2015).

A cultivar Carioca, em específico, foi introduzida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 1967, caracterizada por grãos ornamentados com listras escuras e ondulada sobre um fundo de coloração creme. Essa cultivar foi a que mais se destacou em termos de produtividade nos ensaios nacionais de competitividade de cultivares (LEMOS; MINGOTTE; FARINELLI, 2015).

Além disso, dentre os tipos de grãos produzidos: preto, vermelho, mulatinho, manteigão e carioca, este último é o primeiro colocado no ranking referente ao consumo, correspondendo a cerca de 70% do total (CARNEIRO et al., 2012). E, assim, devido a maior preferência dos consumidores brasileiros, o foco nos programas de melhoramento é mais direcionado ao desenvolvimento de cultivares do tipo carioca (BARILI, 2015).

Embora o feijão pertencente ao grupo comercial Carioca seja o favorito dos brasileiros, no exterior esse tipo de feijão não possui grande aceitação pelo público, devido às particularidades de hábitos alimentares de cada país e até mesmo entre as regiões. Essa é uma razão do feijão não possuir grande participação no comércio internacional em conjunto a outros fatores como: ampla diversidade de tipos de feijão disponíveis e, como a maioria dos países produtores também são grandes

consumidores do grão, tornam-se autossuficientes para atender a demanda interna, apresentando então, reduzido excedente destinado à exportação (CONAB, 2015).

### 2.6.3 Feijão IPR Andorinha

Segundo o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) a cultivar IPR Andorinha, originou-se, pelo cruzamento natural entre a linhagem SEL 37-20, irmã da cultivar IPR 139, de ciclo normal, e a cultivar IPR Colibri, de ciclo precoce. A mesma é recomendada para cultivo em todo o Estado do Paraná para as safras das águas e da seca (IAPAR, 2013).

O feijão IPR Andorinha, desenvolvido pelo Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) apresenta resistência a doenças como: ferrugem, mosaico comum (condição avaliada apenas em casa de vegetação) e oídio. Em relação às características culinárias e nutricionais, apresenta um tempo reduzido de cocção, em torno de 18 minutos e teor médio de proteína de 24%. Nos ensaios realizados, a maior média de produtividade correspondeu a 3990 kg ha<sup>-1</sup> (IAPAR, 2013).

Em experimento realizado em Jaboticabal – SP, essa cultivar destacou-se em relação ao tamanho dos grãos. Em uma série de peneiras, a média geral das cultivares se concentrou na peneira 14, sendo IPR Andorinha a que obteve maior rendimento na mesma (46,5%), como também uma das que apresentou maior rendimento em relação a RP $\geq$ 12 (CARBONELL et al., 2010).

Essa cultivar apresenta como pontos positivos a produtividade, peso do grão adequado e menor tempo de cocção, ciclo precoce; e como deficiências tem o porte semiereto e é suscetível às doenças antracnose, mancha angular e murcha-de-curtobacterium. Em virtude disso, é recomendado o uso de sementes sadias, e evitar o plantio em áreas com incidência desse patógeno (IAPAR, 2013).

## 2.7 Irrigação De Culturas

Devido á pouca disponibilidade de água em algumas regiões, a irrigação com águas residuárias vem sendo cada vez mais utilizadas. Existem justificativas ecológicas e econômico-sociais para o uso de águas residuárias, a primeira é que com a aplicação dessas águas, pode-se recuperar parte da matéria orgânica, reduzindo aspectos negativos que esses resíduos causam nas áreas e o segundo é

que representa uma alternativa viável tanto de tratamento como de alternativa de reciclagem de minerais (BERNARDES, 1996 e SAMPAIO, 2001).

Segundo o Boletim Técnico: Qualidade das Águas Residuárias para Irrigação (2014), os sistemas de irrigação por sulcos, aspersão, microaspersão, inundação e gotejamento, são os meios de aplicação das águas de qualidades inferior nas plantas. Entretanto, por apresentarem maiores possibilidades de contaminação das plantas, os sistemas de irrigação por inundação, aspersão e microaspersão são os menos indicados.

Em um estudo sobre infecções causadas por parasitas intestinais nos trabalhadores rurais de Guadalajara, México, foram comparados 50 trabalhadores de áreas fertirrigadas com água limpa e 50 trabalhadores de áreas irrigadas com águas residuárias. Verificaram-se altos níveis populacionais de *Giardia* e *Ascaris* nos trabalhadores rurais expostos às águas residuárias (STRAUSS e BLUMENTHAL, 1989). Contudo, outros estudos realizados nos Estados Unidos, em Michigan, em relação à utilização de águas residuárias na agricultura, mostraram um pequeno risco de contaminação dos trabalhadores rurais, com agentes patogênicos, em relação à utilização de águas residuárias tratadas (LINNEMANN et al., 1984).

Devido à elevada eficiência de aplicação de água e de baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo, o sistema de irrigação por gotejamento tem sido utilizado com sucesso para aplicação de águas residuárias. Entretanto, esse sistema de irrigação apresenta alta suscetibilidade ao entupimento, variando de acordo com as características do emissor e também com a qualidade da água quanto aos aspectos químicos, biológicos e físicos (NAKAYAMA e BUCKS, 1991; TROOIEN et al., 2000).

Dehghanisani et al. (2003) mostram uma redução de até 9% no coeficiente estatístico de uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento operando 187 horas, com a aplicação de esgoto sanitário tratado.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização Da Área

O experimento foi conduzido no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA (Faculdade de Ciências Agrônomicas), UNESP, Campus Botucatu – SP, localizado a 786 m de altitude e situado 22°52'55" S e 48°26'22" W.

#### 3.2 Clima

Segundo Cunha e Martins (2009), o clima do município de Botucatu-SP é mesotérmico (temperado quente) com verão seco e chuvas no verão (Cfa – Köppen), com temperatura média mais quente superior a 22°C.

#### 3.3 Solo e adubação

O solo utilizado para o plantio foi um Argissolo. O laboratório da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), departamento de solos e recursos ambientais, campus de Botucatu, realizou a análise química do solo, resultando nos seguintes dados:

Figura 9 - Análise química do solo

Amostra	pH		M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Laboratório	CaCl	H <sub>2</sub> O	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mmol./dm <sup>3</sup>								mg/dm <sup>3</sup>							
GZ	181	4,1	-	13	2	11	43	-	0	4	1	5	47	10	24	0,22	1	39	0	0,3

Fonte: Autor (2017).

Com base na análise do solo e exigências da cultura definimos a questão da adubação do solo, que consistiu na aplicação de Supersimples, amônia e KCl para tal adubação.

#### 3.4 Caracterização dos Tratamentos

O presente trabalho foi implantado em casa de vegetação não climatizada, modelo arco, cobertura de PEBD 150 mm (comum), com laterais de clarete 50%, pé direito de 4 m e dimensão de 20 por 7 m.

O cultivar de feijão utilizado foi o IPR Andorinha com o ciclo precoce, que foi cultivado em 90 vasos de fibrocimento com capacidade de 40 litros, sendo cultivadas 4 plantas por vaso.

O delineamento foi em 90 parcelas subdivididas, com 1 repetição (safra) por tratamento. O experimento foi composto por 3 tratamentos contendo 30 parcelas cada (ver figura 10), originando os seguintes tratamentos:

- T1 = irrigado com água de abastecimento (Abast);
- T2 = irrigado com água residuária com polimento (RP) de macrófitas lemnáceas (*Lemnas minor*);
- T3 = irrigado com água residuária sem polimento (Res)
  - Todos os tratamentos receberam adubação mineral (NPK) recomendada pelo boletim técnico nº 100, IAC, SP (RAIJ et al., 2001 e 1996);
  - A água residuária foi procedente da ETE de Botucatu – SP, após o sistema de tratamento.

**Figura 10** – Tratamentos do experimento.



O sistema foi implantado na área do experimento e era composto por:



- 1 tanque de armazenamento - em fibrocimento, com capacidade de 1000 litros (com a finalidade de armazenar a água residuária tratada transportada da ETE);
- 2 bombas utilizadas no sistema de irrigação com a Res e RP;
- 1 lagoa de polimento composta por reservatório (Caixa d'água) em fibrocimento de 1000 litros, contendo *Lemnas minor* e, por fim, um outro tanque de 1000 litros em fibrocimento, para armazenar a água residuária polida para posteriormente uso na irrigação (figura 11).

**Figura 11** - Sistema de polimento de água residuária da ETE



A lâmina d'água foi adotada de acordo com as necessidades de irrigação e o tempo de detenção hidráulica (TDH) na lagoa de polimento foi de 10 dias.

A água residuária foi procedente da ETE da cidade de Botucatu/SP, situada na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à FCA/UNESP. Vale salientar que todos os tipos de águas utilizadas no sistema de irrigação passaram por um filtro de disco com o objetivo de reter partículas sólidas presentes na mesma.

Utilizou-se o sistema de irrigação localizada (figura 12), sendo esta realizada de acordo com a necessidade da cultura, calculada por meio da evapotranspiração do dia e necessidades hídricas da planta em cada estágio vegetativo, conforme modelo matemático 1.

$$ET = Kc (ETo) \quad (1)$$

Onde:

- ET= corresponde ao potencial de evapotranspiração da cultura;
- Kc= representa o coeficiente da cultura (de acordo com as fases);
- ETo= corresponde a evapotranspiração de referência, por meio da evaporação do tanque classe A.

**Figura 12** – Sistema de irrigação.



Ressaltamos que as águas residuárias após a ETE e o Polimento foram monitoradas quanto a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), aos sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), coliformes totais, nitrogênio, fósforo e ao pH, por meio de coletas no início (primeiro tanque de armazenamento) e na saída da segunda caixa (tanque de polimento, após o polimento das *Lemnas minor*) do sistema de polimento.

Na entrada do sistema de polimento eram realizadas análises todas as vezes que o caminhão pipa da SABESP trazia águas residuárias da ETE Botucatu, geralmente 1 vez a cada 10 dias. Já na saída da segunda caixa essas análises eram feitas após o TDH do tratamento, que também eram a cada 10 dias.

### 3.5 Avaliação Da Água Residuária

As águas residuárias após a ETE e o polimento, foram monitoradas quanto a DBO, DQO, aos ST, SST, coliformes totais, n, p e ao pH, por meio de coletas no início (primeiro tanque de armazenamento) e na saída da segunda caixa do sistema de polimento das *Lemnas minor*. Na entrada do sistema de polimento eram realizadas análises todas as vezes que o caminhão pipa da SABESP trazia águas residuárias da ETE Botucatu, geralmente, 1 vez a cada 10 dias. Já na saída da segunda caixa essas análises eram feitas após o TDH do tratamento, que também era de 10 dias.

#### 3.5.1 Sólidos suspensos totais (SST) e Sólidos totais (ST)

Os SST e ST foram analisados de acordo com STANDARD METHODS, method 2540 B e E (APHA, 1998) e Método Gravimétrico – exposto por ABNT/NBR 10664 de 04/1989.

#### 3.5.2 Matéria orgânica

##### 3.5.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A determinação de DBO foi realizada conforme a metodologia 5210 B. 5-Day BOD test (Método respirométrico) (APHA, 1998).

##### 3.5.2.2 Demanda química de oxigênio (DQO)

Para a determinação deste parâmetro, foi utilizado o Método 5220 B. Open Reflux Method (APHA, 1998).

#### 3.5.3 Nitrogênio (N)

A determinação de N foi feita conforme os Conjuntos de reagentes TNT Test N Tube, para análise de Nitrogênio Total da HACH.

#### 3.5.4 Fósforo (P)

O P foi determinado de acordo com o Conjunto de reagentes para análise de Fósforo Total por digestão com persulfato da HACH

### 3.5.5 Coliformes

Utilizou-se o método Oficial AOAC 991.14. Placa para contagem de E. coli e Coliformes 3M TM Petrifilm™.

### 3.5.6 pH

Para avaliação do pH foi utilizado o pHmetro de bancada digital – Digimed (modelo DM 22).

### 3.5.7 Eficiência de tratamento

A eficiência de tratamento de ST, SST, DQO, DBO, N e P foram conferidas pela diferença da concentração destes parâmetros, na entrada e na saída do sistema de polimento com *Lemnas minor*.

A determinação da eficiência de tratamento (redução) dos parâmetros utilizou-se a equação (2):

$$E = \frac{(C_e - C_s)}{C_e} \times 100\% \quad (2)$$

Onde, E= representa a eficiência de remoção (%), Ce= corresponde a concentração na entrada (mg/L) e Cs= representa a concentração na saída (mg/L).

## 3.6 Avaliação Do Feijão

### 3.6.1 Número de vagens por planta

Foram sorteados 9 vasos por tratamento para realizar tal análise, de forma manual;

### 3.6.2 N° grãos por planta

Dos 9 vasos sorteados de cada tratamento foram analisados quanto a este parâmetro, por meio de contagem manualmente;

### 3.6.3 Rendimento

Ao atingirem o ponto de colheita foram colhidas manualmente todas as vagens dos 9 vasos sorteados dos 3 tratamentos. As mesmas foram debulhadas manualmente e realizou-se a contagem e pesagem dos grãos, sendo os dados apresentados em g/planta.

### 3.6.4 Massa fresca e seca e Conteúdo de macro e micronutrientes

Foram utilizadas as mesmas plantas dos 9 vasos por tratamentos das análises anteriores, a parte aérea (folhas e caules) das plantas foi pesada para determinar a massa fresca e levadas a estufa à 65 °C por 3 dias, com circulação forçada de ar até a massa constante (Figura 13).

Em seguida, foram pesadas para obtenção da massa seca, então, foram moídas (figura 13) e analisadas quanto ao teor de N, P, K, Zn, Mg, Cu e Ca, de acordo com MALAVOLTA et al. (1997).

**Figura 13** – Estufa e moinho.



LIMA, R. S (2017)

### 3.6.5 Índice de cor verde (clorofila)

Realizou-se um sorteio de determinadas plantas de todos os tratamentos para a quantificação de clorofila, por meio do clorofilômetro SPAD – 502 Plus. O resultado final da medição consistiu na média de 50 leituras/planta sorteada/tratamento de todas as plantas analisadas.

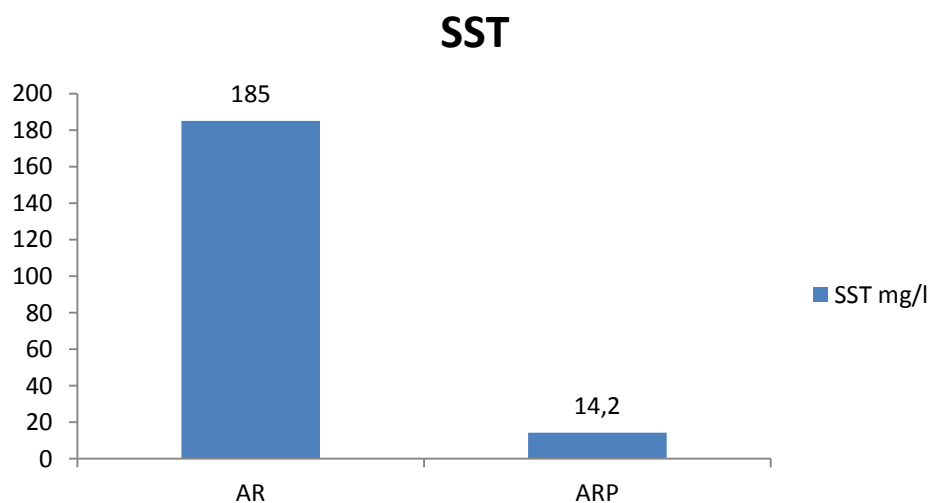
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Polimento Da Água Residuária

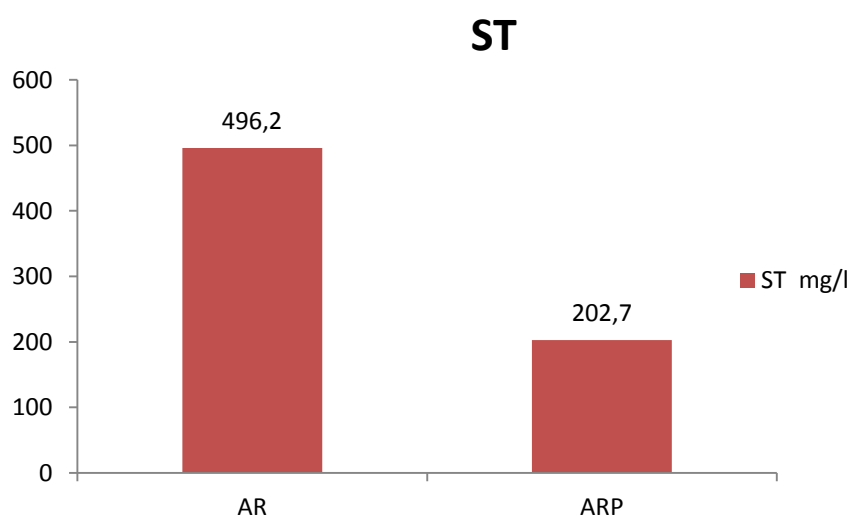
#### 4.1.1 Sólidos Totais e Suspensos

As figuras (14 e 15) demonstram a eficiência do polimento da água residuária com macrófitas lamnáceas (*Lemnas minor*) de 92% e 59% para SST e ST, respectivamente.

**Figura 14** – Sólidos suspensos totais (SST), em função do polimento da água residuária com *Lemnas minor*.



**Figura 15** – Sólidos totais (ST), em função do polimento da água residuária com *Lemnas minor*.



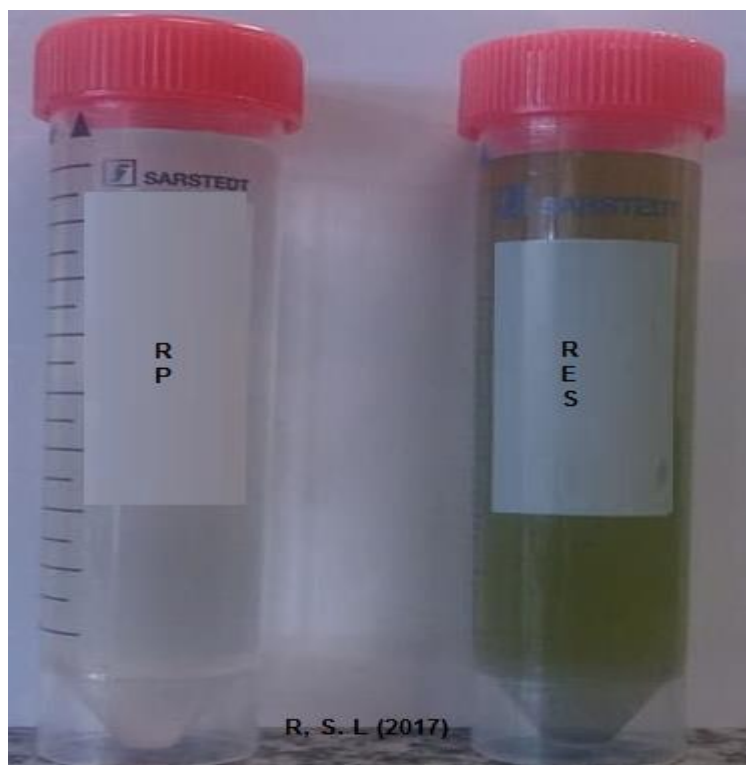
Obteve-se a diminuição desses valores pelo fato das lemnas não contribuírem para a formação ou elevação de sólidos suspensos nos efluentes, diferentemente

das algas (produção primária) presentes nas lagoas de estabilização (METCALF e EDDY, 1991).

Dessa forma, as lemnas formam uma lâmina sobre a água, no qual impede a passagem da radiação solar, inibindo assim a formação de algas (SKILLCORN et al., 1993; ZIMMO et al., 2004) e também causam redução de sólidos suspensos e o polimento da carga de nutrientes (VAN DER STEEN et al., 1998). Observou-se no presente experimento a remoção de 59% dos ST (figura 16) da presente água residuária, podendo-se afirmar que esta redução está associada à hidrólise da matéria orgânica particulada, sedimentação e usos de macrófitas lamnáceas (MOHEDANO, 2004).

El-Shafai (2006) cita uma redução de SST em 91% na utilização de lagoas de lemnas no pós-tratamento com esgoto doméstico. Este resultado foi alcançado no presente experimento, obtendo eficiência de 92% na redução de SST, em um TDH de 10 dias (figura 16). Porém, Mohedano (2004) obteve 99,7% de eficiência para o mesmo parâmetro, em um TDH de 13 dias, no tratamento de efluentes de piscicultura. A remoção de sólidos por meio do sistema de polimento com *Lemnas minor* pode ser visualizada na figura 16.

**Figura 16** – Remoção de sólidos no sistema de polimento com *Lemnas minor*.

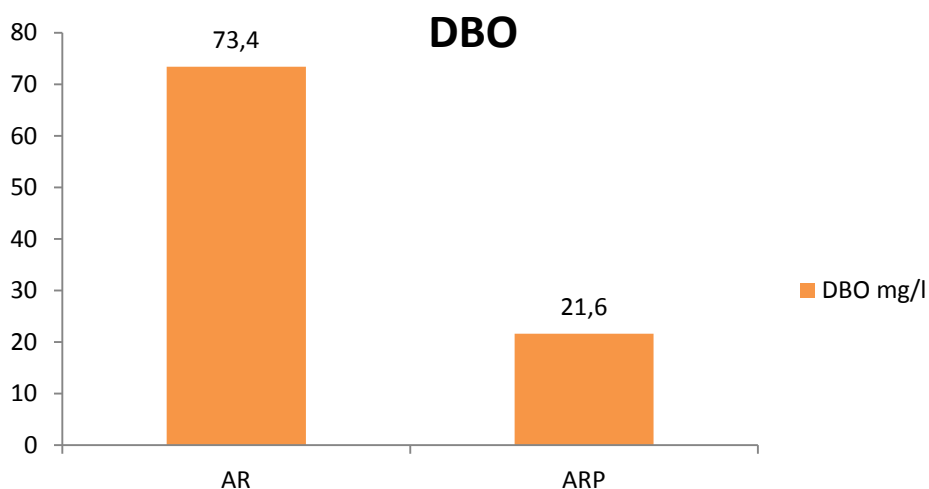




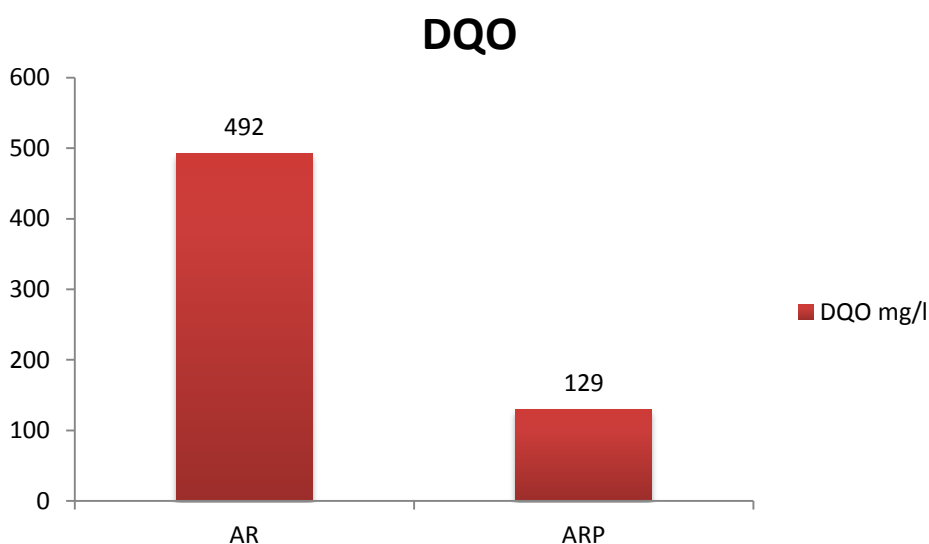
#### 4.1.2 DBO e DQO

Na remoção de matéria orgânica, obteve-se uma eficiência de 71% e 74 % de DBO e DQO, conforme figuras 17 e 18.

**Figura 17** – Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), em função do polimento da água residuária com *Lemnas minor*.



**Figura 18** – Demanda química de oxigênio (DQO) em função do polimento da água residuária com *Lemnas minor*.



Referente à DBO, a água residuária após o tratamento da ETE obteve um valor de 73,4 mg.L<sup>-1</sup>, já a água resíduária com o polimento apresentou um valor de 21 mg.L<sup>-1</sup>, isto resultou numa eficiência de 71% de remoção. Nas lagoas de lemnas há um aumento na concentração de Oxigênio Dissolvido (OD), apresentando taxas de incorporação entre 3 a 4 mg/m<sup>2</sup>/dia (SRINANTHAKUMAR et al., 1983). Esta

remoção ocorre devido à zona aeróbica próxima à superfície da lagoa de lemnas, pela atividade fotossintética, uma vez que a remoção da DBO por processos aeróbicos é mais eficaz e rápida (CROSS, 2006).

Mohedano (2004), em experimento utilizando a macrófita aquática lamnáceas da espécie *Landoltia punctata* para o polimento de efluente de piscicultura, obteve uma redução de 91% de DQO em 26 dias de TDH.

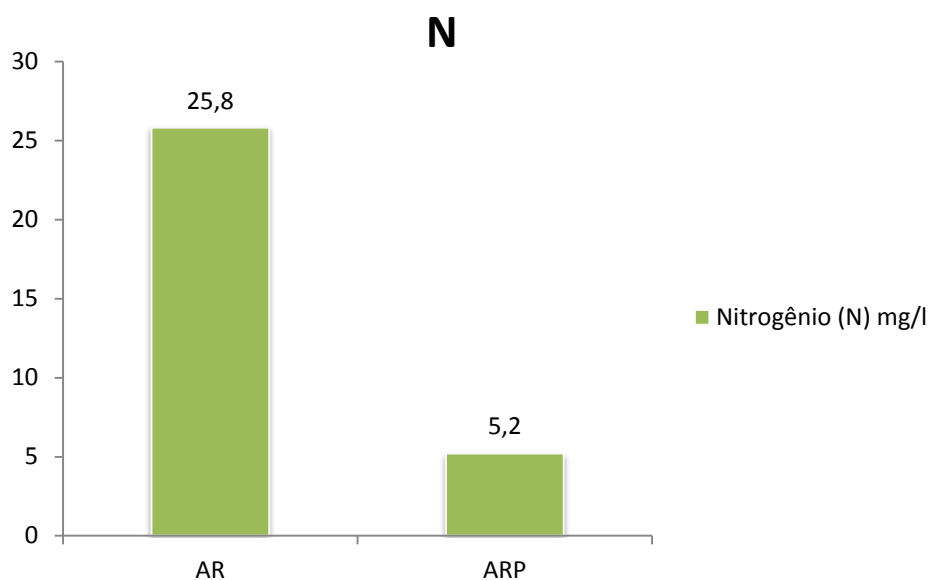
Já no presente trabalho obtivemos uma redução de 74% em um TDH de 10 dias, porém utilizando a espécie *Lemna minor*, um resultado satisfatório, já que o TDH foi de 16 dias.

Em um experimento com esgoto doméstico, Mandi (1994) obteve uma remoção de 72,1% com um TDH de 7 dias utilizando lemnas. Já Oron et al., (1987) em um experimento utilizando *Lemna gibba* no tratamento de esgoto bruto, obteve uma remoção de 66,6% em um TDH de 5 dias e de 73,4 % em um TDH de 10 dias.

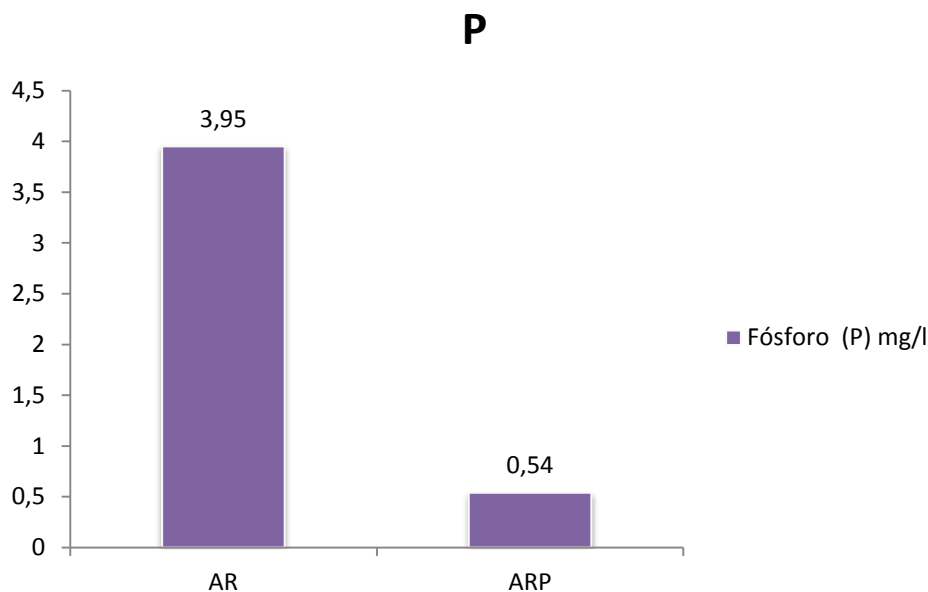
#### 4.1.3 N e P

A seguir são apresentadas as quantidades de nitrogênio (N) e fósforo (P) removidas em função dos tratamentos (figura 19 e 20). O polimento da água residuária com *Lemnas minor* apresentou eficiência de 80 e 86% na remoção de N e P, respectivamente.

**Figura 19** – Quantidade de N e P removidos em função do polimento da água residuária com *Lemnas minor*



**Figura 20** – Quantidade de N e P removidos em função do polimento da água residuária com *Lemnas minor*.



Devido ao rápido crescimento, as lamnáceas consomem muito o elemento nitrogênio e pelo mesmo motivo elas possuem alto teor de proteínas em sua biomassa (LANDOLT e KANDELER, 1987 apud MOHEDANO, 2004).

A remoção de N em lagoas de lemnas está ligada diretamente ao fato delas absorverem exclusivamente a amônia ( $\text{NH}_3+\text{NH}_4$ ) em relação ao nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e que absorção direta de nitrogênio pelas lemnas é maior em dias mais quentes, acrescido também dos processos de nitrificação e desnitrificação, por microrganismos existentes na rizosfera dessas plantas (IQBAL, 1999; ZIMMO, 2004; CULLEY, et al., 1981; CAICEDO et al., 2002; PORATH e POLLOCK, 1982). Vermat (1998) obteve uma remoção de 73% de N, em 3 dias de TDH em um experimento com esgoto doméstico e lagoas de macrófitas lamnáceas. Zhao et al. (2015) em um experimento na China com uma mistura de efluente doméstico e de criação de animais utilizando *Lemna japonica* 0223, obtiveram uma eficiência de 56,2% de remoção de N.

Segundo Farrell (2012), as lemnas possuem mais fósforo em seu tecido que quaisquer outras plantas aquáticas flutuantes, por isso, elas removem com facilidade o P disponível ao meio onde se encontram. É possível remover o P do sistema por meio da dragagem do solo ou coleta das plantas da superfície, pois a lemna remove do efluente o fósforo, porém, se ela morrer e ficar no sistema, todo P absorvido por ela retorna para o sistema (IQBAL, 1999).

Em um experimento a partir de efluentes de dejetos suínos a *Spirodela oligorrhiza* removeu até 89,4% de P (XU e SHEN, 2011). Já Brugnago (2014)

utilizando lemnas *Landoltia punctata* conseguiu uma remoção de 80% de P em um efluente de esgoto doméstico.

Com estes dados, fica claro que a utilização de *Lemnas minor* no presente experimento foi significativa e eficaz no polimento da água residuária, pois a remoção foi de 86% de P.

#### 4.1.4 Coliformes Totais

Em relação aos coliformes totais (Titulação  $10^3$ ) obtive-se um valor de  $> 1000$  (NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$ ) tanto para água residuária após a ETE, quanto para água residuária após ETE com o polimento de *Lemnas minor*.

As lagoas de lemnáceas não apresentam um potencial tão elevado para a remoção desses patógenos, quanto às lagoas com algas, uma vez que os fatores essenciais para tal remoção não estão presentes nas lagoas de lemnas, como a elevação do pH, substâncias bactericidas originadas pelas algas e insolação (VAN DER STEEN et al., 1999).

#### 4.1.5 pH

Observou-se na presente pesquisa uma redução de 10,3 para 8,1. Isso acontece pelo fato das lemnas proporcionarem tal efeito, deixar o sistema com o pH próximo da neutralidade (CHAIPRAPAT et al., 2005).

## 4.2 Nutrição E Produção Do Feijão Com A Utilização De Água Residuária E De Abastecimento

### 4.2.1 Conteúdo de nutrientes e índice de cor verde no feijão

A irrigação com água residuária teve efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) no conteúdo de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de feijão (Tabelas 2 e 3), indicando que esta cultura tem capacidade de absorver e tolerar a utilização, na irrigação, de água residuária com e sem polimento.

O conteúdo dos macronutrientes e boro na parte aérea das plantas de feijão foram menores nos tratamentos onde foi utilizada água de abastecimento em relação às aquelas com o uso de água residuária com ou sem polimento.

O conteúdo dos micronutrientes: Zn, Cu, Fe, e Mn na parte aérea das plantas de feijão diferiram significativamente apenas entre os tratamentos irrigados com água de abastecimento (Abast) e água residuária sem o polimento (Res), conforme tabela 6.

**Tabela 2** - Conteúdo de macronutrientes no feijão irrigado com água de abastecimento (Abast), água residuária polida com macrófitas lemnáceas (RP) e água residuária (Res). Médias  $\pm$  Erro Padrão. n= 9.

Água	N	P	K	Ca	Mg	S
-----g/planta-----						
Abast	0,24 $\pm$ 0,04b	0,02 $\pm$ 0,01b	0,89 $\pm$ 0,11b	0,46 $\pm$ 0,06b	0,08 $\pm$ 0,01b	0,02 $\pm$ 0,00b
RP	0,48 $\pm$ 0,05a	0,04 $\pm$ 0,02a	1,48 $\pm$ 0,12a	0,68 $\pm$ 0,08ab	0,15 $\pm$ 0,01a	0,04 $\pm$ 0,00a
Res	0,57 $\pm$ 0,04a	0,04 $\pm$ 0,04a	1,80 $\pm$ 0,09a	0,77 $\pm$ 0,04a	0,18 $\pm$ 0,00a	0,05 $\pm$ 0,00a

<sup>1</sup> As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey no nível de probabilidade de 5%.

**Tabela 3** - Conteúdo de micronutrientes na parte aérea de plantas de feijão irrigadas com água de abastecimento (Abast), água residuária polida com macrófitas lemnáceas (RP) e água residuária (Res). Médias  $\pm$  Erro Padrão. n= 9.

Água	B	Zn	Cu	Fe	Mn
-----mg/planta-----					
Abast	1,55 $\pm$ 0,23b	0,32 $\pm$ 0,04b	0,13 $\pm$ 0,01b	5,65 $\pm$ 1,04b	1,20 $\pm$ 0,16b
RP	3,16 $\pm$ 0,36a	0,52 $\pm$ 0,05ab	0,19 $\pm$ 0,02ab	9,36 $\pm$ 0,91ab	1,93 $\pm$ 0,29ab
Res	3,91 $\pm$ 0,34a	0,63 $\pm$ 0,04a	0,24 $\pm$ 0,01a	13,11 $\pm$ 0,96a	2,31 $\pm$ 0,17a

<sup>1</sup> As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey no nível de probabilidade de 5%.

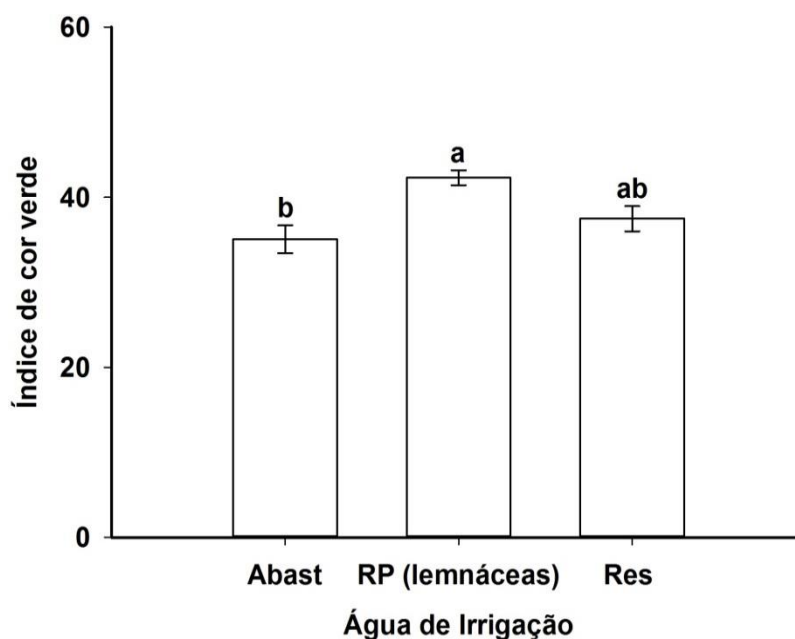
As plantas de feijão submetidas à irrigação com água residuária com ou sem polimento apresentaram conteúdo dos macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K > Ca > N > Mg > S > P (Tabela 2). O conteúdo dos micronutrientes seguiu a seguinte ordem: Fe > B > Mn > Zn > Cu (Tabela 3).

A maior quantidade de nutrientes nas plantas de feijão com a utilização de água residuária também foi observada por Saffari e Saffari (2013), inclusive em solos com diferentes texturas, reforçando o potencial destas plantas em absorver nutrientes sob estas condições.

O índice de cor verde das folhas foi significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ), aproximadamente 17,10%, no tratamento com irrigação utilizando água residuária

com polimento em relação à irrigação com água de abastecimento (Figura 21). Enquanto que a água residuária sem polimento se assemelhou a ambas as formas de irrigação utilizadas. Este resultado para o índice de cor verde foi reflexo do conteúdo de N na planta (Tabela 2), como também relatado por Valdez-Pérez et al. (2011).

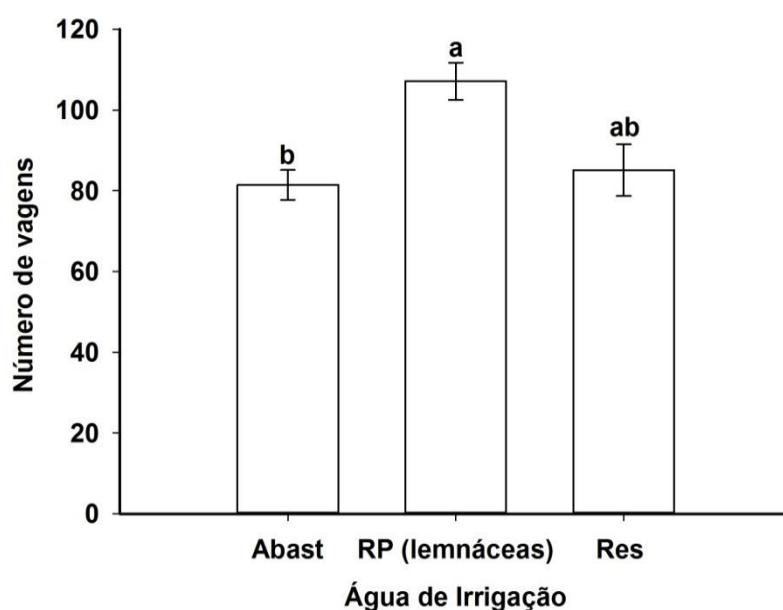
**Figura 21** - Índice de cor verde das folhas do feijão irrigado com água de abastecimento-potável (Abast), água residuária polida com macrófitas lemnáceas (RP) e água residuária (Res). As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey no nível de probabilidade de 5%. Médias  $\pm$  Erro Padrão. n= 9.



#### 4.2.2 Número de vagens e de grãos de feijão por planta

A forma de tratamento da água utilizada na irrigação do feijão apresentou significativo efeito ( $p < 0,05$ ) no número de vagens e produção de grãos (Figuras 22 e 23). A irrigação com água residuária com polimento por meio de macrófitas lemnáceas (*Lemnas minor*) proporcionou número de vagens 24% maior que a água de abastecimento (Figura 22). Enquanto que a irrigação com água residuária sem polimento foi semelhante a ambas.

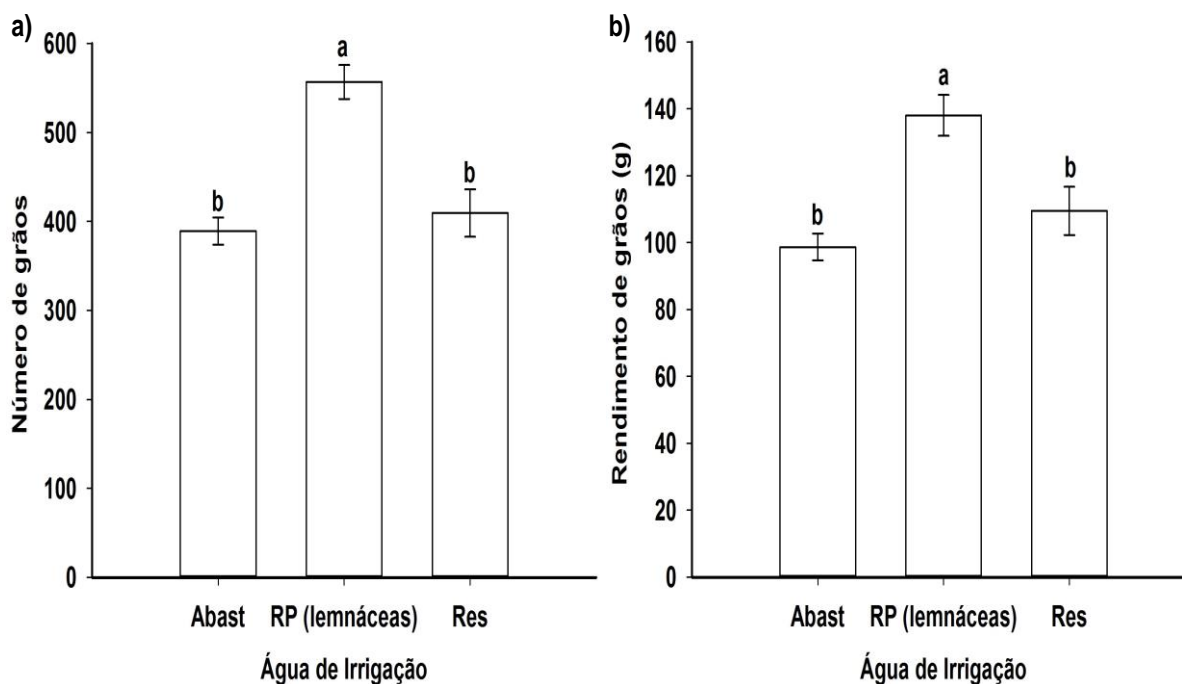
**Figura 22** - Número de vagens do feijão irrigado com água de abastecimento (Abast), água residuária polida com macrófitas lemnáceas (RP) e água residuária (Res). As médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey no nível de probabilidade de 5%. Médias  $\pm$  Erro Padrão. n= 9.



O número e o rendimento dos grãos de feijão foram maiores aproximadamente 28% e 25% maiores, respectivamente, com a utilização na irrigação da água residuária com polimento por macrófitas lemnáceas em relação à aplicação da água de abastecimento e da água residuária sem o polimento (Figura 23a e 23b). Resultado semelhante foi constatado por Singh et al. (2012) que observaram maior produção de grãos com a utilização de água residuária, ressaltando que esta proporciona melhores resultados quando tratada de maneira adequada.

Neste contexto, o tratamento da água residuária após a ETE com o polimento por meio de macrófitas lamnéceas (*Lemnas minor*) proporciona água de melhor qualidade para o cultivo de feijão, devido a este procedimento resultar na degradação de compostos orgânicos, redução no número de patógenos, sorção de cátions e ânions, absorção de excesso de nutrientes e metais pesados (Jones et al., 2017). O que pode ser verificado no presente trabalho, com a menor quantidade de coliformes fecais e teor de N e P na água residuária com polimento por meio de macrófitas lemnáceas, contribuindo para a nutrição adequada das plantas em relação à água residuária tratada apenas com a ETE (Tabelas 2 e 3).

**Figura 23** - Número de grãos (a) e rendimento de grãos (b) do feijão irrigado com água de abastecimento (Abast), água residuária polida com macrófitas lemnáceas (RP) e água residuária (Res). As médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey no nível de probabilidade de 5%. Médias  $\pm$  Erro Padrão. n= 9.



Além disso, a quantidade de N aplicada com a irrigação utilizando-se tanto a água residuária polida com Lemnáceas quanto a não polida, foi maior que a quantidade de P, refletindo na melhor nutrição do feijão nestas condições que em relação ao cultivo do mesmo sob irrigação com água de abastecimento.

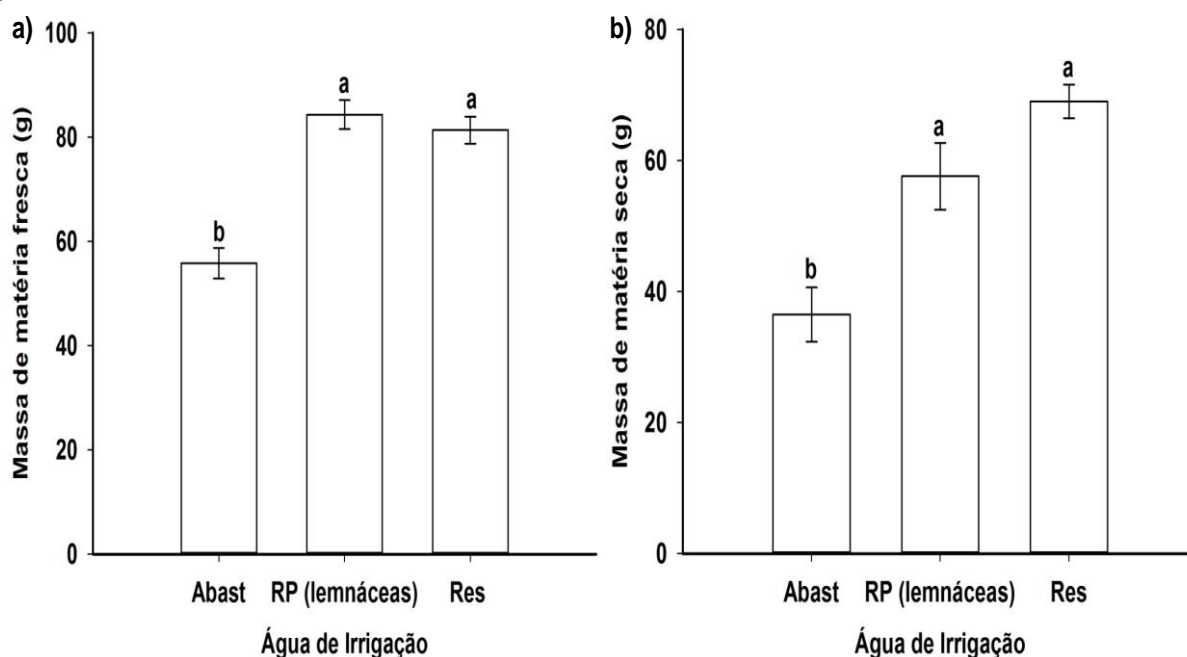
Assim, a água residuária contribui para o aumento da fertilidade do solo e rendimento da cultura, tendo em vista que o teor de N e P no solo aumenta quando é aplicada água residuária com elevado teores dos nutrientes (AHMED et al., 2010).

#### 4.2.3 Matéria fresca e seca por tratamento

A massa de matéria fresca e seca do feijão apresentou aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) de aproximadamente 33% e 42% nos tratamentos com água residuária com e sem polimento em relação ao tratamento com a água de abastecimento (Figura 24), não havendo diferença entre a água residuária com e sem polimento. Refletindo o conteúdo dos macro e micronutrientes (Tabelas 2 e 3).



**Figura 24** - Massa de matéria fresca (a) e seca (b) da parte aérea do feijão irrigado com água de abastecimento (Abast), água residuária polida com macrófitas lemnáceas (RP) e água residuária (Res). As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey no nível de probabilidade de 5%. Médias  $\pm$  Erro Padrão. n= 9.



A utilização de água residuária na irrigação do feijão-caupi aumentou a produção de massa de matéria seca devido ao aumento de nutrientes presentes nos efluentes da mesma, resultando assim num crescimento proporcional das plantas (REBOUÇAS et al., 2010). Da mesma forma, Saffari e Saffari (2013) também verificaram aumento da massa de matéria fresca e seca do feijão (*Phaseolus vulgaris* e *Phaseolus lunatus*), utilizando-se na irrigação água residuária de esgoto em comparação a água potável, atribuindo este resultado as maiores concentrações de N e P na água residuária.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização de água residuária com e sem polimento pode ser usada na irrigação do feijão proporcionando adequada nutrição e produção de massa de matéria seca

As propriedades da água residuária com polimento, utilizada na irrigação do feijão implicaram nas condições adequadas para o maior número e rendimento de grão.

As macrófitas aquáticas lamnáceas *Lemnas minor* auxiliaram de modo efetivo nos resultados da presente pesquisa, pois a atividade fotossintética das macrófitas aumentou o teor de oxigênio na água residuária.

A ação das *Lemnas minor* tem a capacidade de reduzir de maneira satisfatória os nutrientes (N, P) e outros parâmetros existentes nas águas residuárias e esgotos, como, matéria orgânica (DQO e DBO), ST e SST, de forma positiva e efetiva.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. Blog: **Saneamento Básico**. Tratamento preliminar. Disponível em: <http://jorcyaguiar.blogspot.com.br/2011/05/tratamento-primario.html>. Acesso em Novembro de 2017.
- AHMED, H. K. H.; FAWY, H. A.; ABDEL-HADY, E. S. Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agric. Biol. J. N. Am.*, 2010, 1(5): 1044-1049.
- AISSE, M.M. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 192p., 2000.
- AL-JALOUD, A. A.; HUSSANIN, G.; AL-SAATI, A. J.; KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. **Journal of Plant Nutrition**. Monticello. V. 18, n. 8, p. 1677-1692, 1995.
- AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of the wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management Amsterdam**. v. 34, n. 1, p. 81-94, 1997.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998. 1220 p.
- ANA. Regiões Hidrográficas do Brasil - **Caracterização Geral e Aspectos Prioritários**. Agência Nacional de Águas, 2002.
- ANDRADE, Larice Nogueira. **Autodepuração dos corpos d'água**. Vitória, ES, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR10664 de 04/1989. Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1989.
- AVELINO, D. B. **Avaliação das condições higiênico-sanitárias durante a ordenha em rebanhos caprinos do município de Afonso Bezerra – RN**. 57p. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária), Escola Superior de Agricultura de Mossoró / ESAM, Mossoró, 2001.
- BARILI, L.D. Evolução dos cultivares de feijão carioca recomendados no Brasil. 2015. 38p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, 2015.
- BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier (Coordenador) et al. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

- BAVARESCO A. S. L. 1998. **Lagoas de aguapés no tratamento terciário de dejetos suínos**. Florianópolis, 78 p. Dissertação de mestrado – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BERNARDES, R. S. Esterilização de poluentes por disposição no solo. **Revista DAE**, São Paulo, v. 46, n. 145, p. 129-150, 1996.
- BEZERRA, B. G.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, CE, v. 40, n. 3, p. 339-345, 2009.
- BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S & SANTOS, F. S. **Reúso de água**. Barueri: Editora Mnole, 2003. P. 125-174.
- Boletim Técnico: **Qualidade das Águas Residuárias para Irrigação**. N.º 99 - p. 1-31. Ano 2014. Universidade Federal de Lavras - Departamento de Engenharia. Lavras/MG.
- BONIFÁCIO, S. N. (2001). Estação de tratamento de Esgoto – ETE em Ferrocimento Composta de Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente, Filtro Anaeróbico e Leito de Secagem. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2001. CD-ROM.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. A Cultura. In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T.J. de.; BORÉM, A. (Ed.). Feijão: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2015. cap.1, p. 10-12.
- BRIX, H. & SHIERUP, H. **The use of macrophytes in water-pollution control**. *Ambio*, v 18, n.2. 1989.
- BRUGNAGO, N. **Avaliação de Lagoas de Lemnas (*Landoltia punctata*) para o polimento de esgoto sanitário e fixação de gás carbônico**. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.
- CAICEDO, J. R. VAN DER STEEN, N. P.; ARCE, O.; GIJZEN, H. J. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodelapollyrhiza*). **WaterResearch**, Londres. V. 34, n. 15, p. 3829 – 3835, 2000.
- CAICEDO, J. R.; ESPINOSA, C.; ANDRADE, M.; GIJZEN, H. J. Effect of anaerobic pretreatment on environmental and physicochemical characteristics of duckweed based stabilization pond. **Water Science and Technology**, Londres, v. 45, n. 1, p. 83-89, 2002.
- CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2067-2073, 2010. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000159>>. Acesso: 22 de novembro de 2017.

CARNEIRO, J.E.S.; ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P., et al. (2012) BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, **12**: 281-284.

CASTRO, L. R; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.97-101. 1998.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, dasb estações de tratamento de esgoto da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. (Mestrado). Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, 2000. 89 p.

CHAIPRAPAT, S.; CHENG, J.J.; CLASSEN, J.J.; LIEHR, S.K. **Role of internal nutrient storage in duckweed growth for swine wastewater treatment**. Transactions of the ASAE, 48(1), 2247-2258, 2005.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DASA - UFMG, 1997. 278 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuais ; v. 5).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 71, set. 1995. Encarte.

COELHO, A. M; et al. Cultivo do milho: Nutrição e adubação. **Comunicado Técnico**. Sete Lagoas, n. 44. Encarte. 2002.

COLEMAN, j. Treatment of domestical wastewater by tree plant species in constructed wetlands. *Water Air and Soil Poluition*. 128: (3-4) 283 – 295. 2001.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Conjuntura Agropecuária do Feijão, Junho de 2015.

Disponívelem:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_07\\_09\\_16\\_20\\_14\\_conjuntura\\_agropecuaria\\_do\\_feijao\\_-\\_junho\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_07_09_16_20_14_conjuntura_agropecuaria_do_feijao_-_junho_2015.pdf)> Acesso em: 16 outubro. 2017.

CORSSATTO, D. et al. **Esgotos**. Trabalhos de tecnologia da edificação. UFSC, 2006. Disponível em < [http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2006\\_2/esgotos/grupo.html](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2006_2/esgotos/grupo.html)> Acesso em: Novembro de 2017.

COSTA, F. X. et al. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 13, n. 6, p. 687-693, 2009.

COSTA, R. H. R.; CAMPOS, R. H.; BARBOSA, S. R.; BORTOLOTO, A. F. **Reatores de leito fluidizado**: Potencialidades para o tratamento de efluentes. Revista DAE. São Paulo, 2012. p. 42. Disponível em:

<<http://www.riodoce.cbh.gov.br/prhbsf/arquivos/Estudos/ET%2007%20Barragens.pdf>>. Acesso em: 15 de novembro, 2017.

CROSS, J.W. 2006. **The charms of duckweed**. Disponível em:

<<http://www.mobot.org/jwcross/duckweed/duckweed.htm>> Acesso em: Novembro. 2017.

CULLEY, D. E.; REJMANKOVA, J.; KVET ;J. B. FREY. Production, chemical quality and use of duckweeds (Lemnaceae) in aquaculture, waste management, and animal feeds. J. World Maric. Soc. 12: 27- 49,1981.

CUNHA, AR; MARTINS, D. 2009. **Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel**, SP. Irriga 14: 1-11.

DEHGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; RASIAH, V.; INOUE, M.; KESHAVARZ, A. **Controle f clogging in microirrigation using wastewater in tohaku, Japan**. Michigan: ASAE, 2003.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C.C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves e Extensão, 2002. 31p. (Boletim informativo de pesquisa, 14).

EI-SHAFI, S.A.; EL-GOHARY, F.A.; NASR, F.A.; VAN DER STEEN, N.P.; GIJZEN, H.J. Nutrient Recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system. **Bioresource Technology**, 98: 798-807, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de milho**. Brasília, DF, 2006. Disponível em:

<<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/iviabili.htm>>. Acesso em: 05 novembro. 2017.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíra: Agropecuária, 2000. 360 p.

FANCELLI, A. L.; LIMA. U. A. **Milho**: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: SICCI; PROMOCET; FEALQ, 1982. 112 p. (Série extensão agroindustrial, 5).

FAOSTAT, On-line database, FAO, Rome. Disponível em:

<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acesso em: 20 de novembro, 2017.

FARIA, E. A.; RODRIGUES, I. C.; BROGUES, R. V. **Estudo do impacto ambiental gerado nos corpos d'água pelo efluente da indústria de laticínio em Minas Gerais**. Belo Horizonte, UFMG, 2004. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente).

FARRELL, J. B. **Duckweed Uptake of Phosphorus and Five Pharmaceuticals: Microcosm and Wastewater Lagoon Studies**. All Graduate Theses and Dissertations, Utah State University Merrill-Cazier Library, Logan, Utah. 2012.

FEAM: Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações básicas para drenagem urbana** / Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, 2006.

FONSECA, S. P. P. **Tratamento de esgoto doméstico bruto pelo método do escoamento superficial utilizando o capim-coastcross (*Cynodondactylo* (L) *Pers.*)**. 2000. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2000.

FRANKENBACH, R.I. & MEYER.J.S. Nitrogen removal in surface-flow wastewater treatment wetland. **Wetlands**. 19. P. 403-412 jun. 1999.

FUENTES, R. E.; CONSTATINO, L. C.; SILVA, E. E.; DENDOOVEN, L. Characteristic, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with waster for different lengths of time. **Bioresource Technology**. v. 85, p. 179-187, 2002.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2004.

GONÇALVES, F. B., SOUZA, A. P. **Disposição oceânica de esgotos sanitários: história e prática**. Rio de Janeiro: ABES, .1 ed. 1997.

GONÇALVES, Fernando Botafogo; SOUZA, Amarilio Pereira. **Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários**. São Paulo, 1997.

GUILLÉN, G. Blog: Engenharia Urbana. **REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE**. Disponível em: <http://www.oocities.org/guillermoguillen/saneam.htm>. Acesso Outubro de 2017.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil – Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porte Alegre RS, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HUSSAR, G. J.; PARADELA A. L.; BASTOS M. C.; REIS T. K. B.; JONAS T. C.; SERRA W.; GOMES J. P. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertirrigação de beterraba. **Espirito Santo do Pinhal**, v. 2, n. 1, p. 35 – 45, jan/dez 2005, 11 p.

IAPAR. Cultivar de feijão IPR Andorinha: Grupo carioca, ciclo precoce, alto potencial de rendimento. Londrina, PR, 2013. Folder.

IQBAL, S. **Duckweed aquaculture.POtencials, possibilities and limitations, for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries**. Switzerland. SANDEC report n.6. 91p. mar. 1999.

JONES, D. L.; C Freeman, and AR Sánchez-Rodríguez. Waste Water Treatment. Encyclopedia of Applied Plant Sciences, 2nd edition, Volume 3, p.352-362, 2017.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1995.

JÚNIOR, E. M. **Iniciação ao tratamento de esgoto**. Campinas: Curso de Treinamento de esgoto, 2001.

KITAMURA, Mariana Cristina. Aproveitamento de Águas Pluviais para Uso Não Potável na PUCPR. 2004. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

Klusener, J. J. **A influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas**. (Mestrado). Santa Maria: Centro de Tecnologia. 2006. 133 p.

KORNER, S. & VERMAAT, J.E. The relative importance of Lemnagibba, bactéria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed – covered domestic wastewater. **Water Research**. 32: (12) 3651 – 366. 1998.

LANDOLT, E. & KANDELER. The family of lemnaceae – a monographic study: Phytochemistry, physiology, application and bibliography. In Biosystematic Investigations in the Family of Duckweeds (lemnaceae). Veroffentlichungendêsgeobotanischen. Institutes der ETH. Zurich. StiftungRuebel, Vol 4, n.95: 638p. 1987.

LEMOS, L.B.; MINGOTTE, F.L.C.; FARINELLI, R. Cultivares. In. ARF, O. et al (Ed). Aspectos gerais da cultura do feijão Phaseolus vulgaris L. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2015. cap. 10, p. 183-187.

LINNEMANN, C. C.; JAFFE, R.; GARTSIDE, P. S.; P.S.; SCARPINO, P. V.; CLARK, C. S. Risk of infection associated wastewater spray irrigation system. **Journal Occupational Medicine**. Oxford, v. 26, p. 41-44, 1984.

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas & águas**. São Paulo: Varela, 2001. 263p.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa e da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MANDI, L. Marrakesh wastewater purification experiment using vascular aquatic plants Eichhornia crassipes and Lemna gibba. Water Science Technology, v.29, n.4, p.283-287. 1994



MARCIANO, C. R. et al. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V. 25, n. 1, p. 1-9, 2001.

MAY, S.; HESPANHOL, I. Caracterização e tratamento de águas cinzas para consumo não potável em edificações. Anais do XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Asociación Interamericana de Ingeniería Ambiental- AIDIS, Punta Del Este, Uruguay, 2006.

METCALF & EDDY. —**Wastewater Engineering - Treatment, Disposal e Reuse**". 3ª Edição. Editora McGraw-Hill Inc, 1334p.1991.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. New York: McGraw -Hill, 2003.

MIKKELSEN, R. L.; RECHCIGL, J. E.; MACKINNON, H. C. Agricultural and environmental issue in the management of swine waste. IN:\_. Agriculture uses of products an waste. Oxford University, 1997. 1997. P. 110-119.

MOHEDANO, R.A. 2004. Tratamento de efluente e produção de alimentos, em cultivos de tilápias (*Oreochromis niloticus*), através da macrófita aquática *Lemna valvidiana* (Lemnaceae) – Uma contribuição para a sustentabilidade da aquicultura. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Aquicultura.

MONTEZ, M. Blog: **Engenharia e Ciências do Ambiente**. Gradeamento da ETE da Quinta do Conde. Março, 2007. Disponível em: <http://ambienteeng.blogspot.com.br/2009/01/etar-passo-passo-tratamento-preliminar.html>. Acesso em Novembro de 2017.

MOURA, A.D. de; BRITO, L. M. de. Aspectos Socioeconômicos. In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T. J; BORÉM, A. (Ed.). Feijão: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2015. cap. 2, p. 20.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**. New York, v. 12, p. 187-192, 1991.

OLIVEIRA, D. C. **Aplicação da análise de perigos e pontos críticos de controle no tratamento de água para consumo humano**. Viçosa, UFV, 2010. Dissertação (Engenharia Civil).

OLIVEIRA, Rossana. **Aproveitamento de Águas Pluviais para Uso não Potável**. Monografia do curso de MBA Sistema de Gestão Ambiental – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2002.

ORON, G., PORATH D. & JANSEN, H. Performance of duckweed species *Lemna gibba* on municipal waste'water for effluent renovation and protein production. **Biotechnology & Bioengineering** 29 (2), 258-268. 1987.

ORON, G., WILDSCHUT, L.R. A.; PORATH D. 1984. Waste water recycling by duckweed for protein production and effluent renovation. **Water Science and Technology**. v. 17. p. 803 – 817.

ORON, G.; DEMALACH, Y.; HOFFMAN, Z.; KEREN, Y.; HARTMANT, H.; PLAZNER, N. Wastewater disposal by sub-surface trickle irrigation. **Water Science Technology**, London. V. 23, p. 2149-2158, 1991.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 218 p. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)> Acesso em: 16 de agosto, 2017.

PETERS, Madelon Ribeiro. **Potencialidade de Uso de Fontes Alternativas de Água para Fins Não Potáveis em uma Unidade Residencial**. 2006. 109 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PINTO, C. C. Atributos produtivos e qualitativos de grãos e fisiológicos e sanitários das sementes de cultivares de feijão. 2015. 73p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

PORATH, D. & POLLOCK, J. Ammonia stripping by duckweed and its feseability circulating aquaculture. *Aquatic Botany*. v. 13: 125 – 131 p. 1982.

PORTUGAL, J.R.; PERES, A.R.; RODRIGUES, R.A.F. Aspectos Climáticos no Feijoeiro. In: ARF, O. et al (Ed). Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2015. cap. 4, p. 68.

Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco: subprojeto 4.5 C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013). Brasília: ANA, 2004. 34 p.

QUEIROZ, F. M. de; MATOS, A. T. de; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. de; LEMOS, F. A. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, V. 12, n. 2, p. 77-90, 2004.

RAIJ B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A. - Análise Química para fertilidade de solos tropicais 1ª Edição, INSTITUTO AGRONOMICO - FUNDAÇÃO IAC, 2001. 285p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas Instituto Agrônômico, 1996. 300p.

REBOUÇAS, J.R.L.; DIAS, N.S.; GONZAGA, M.I.S.; GHEYI, H.R.; SOUSA NETO, O.N. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga*, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.

SABESP. **Manual de instrução para implantação, gestão e mudanças de hábitos no programa de redução em consumo de água**: manual do multiplicador/ Sonia Maria Nogueira e Francisca Adalgisa da Silva [et al.]. São Paulo: Cobrape : BBL, Vitalux, Gerentec, ETEP, RESTOR, 2014. 124 p.

SAFFARI, V. R.; SAFFARI, M. Effect of treated municipal wastewater on bean growth, soil chemical properties, and chemical fractions of zinc and copper. *Arab J Geosci*. 2013, Volume 6, Issue 11, pp 4475–4485.

SAMPAIO, S. C. Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo água residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 391-396, 2001.

SANT'ANA, A. S.; SILVA, S. C. F. L.; FARANI, J. I. O.; AMARAL, C. H. R.; MACEDO, V. F. Qualidade microbiológica de águas minerais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, supl., p. 190-194, 2003.

SANTOS, J.B. dos. et al. Botânica. In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T. J. de.; BORÉM, A. (Ed.). *Feijão: do plantio à colheita*. Viçosa: UFV, 2015. cap. 3, p. 38.

SANTOS, S. S. dos. **Influência da aplicação, via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na agricultura do cafeeiro e no solo**. 2004. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SEZERINO, P.H. **Utilização de biofiltros com macrófitas (Vertical ConstructedWetlands) como pós-tratamento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos de suínos**. 2012. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina.

SHENDE, G. B. Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience and research and development needs. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *FAO regional seminar on the treatment and use of sewage irrigation*. Rome, 1985. P. 157-182.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrado do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

Singh, P.B. Deshbhratar, D.S. Ramteke. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management* 103 (2012) 100– 104.

SKILLICORN, P.; SPIRA, W.; JOURNEY, W. K. **Duckweed Aquaculture. A new aquatic farming system for developing countries.** Washing: World Bank Puplication, 1993.67 p.

SMITH, M. D.; MOELYOWATI, I. Duckeed based wastewater treatment (DWWT): design guidelines for hot climates. **Water Science and Technology**, Londres, v. 43. N. 11, p. 291-299, 2001.

SOTO, F. Role of Scirpusllacustrisl in the bacterial and nutrient remove from wastewater. **Water Science and Technology**, 40: (3) p. 241 – 247. 1999.

SRINANTHAKUMAR, S. ARMORTHARAJ, M. Organic carbon decay in stream with biofilm kinetics. **Environmental Engineering**.(19): 102-119. 1983.

STRAUSS, M.; BLUMENTHAL, U. J. **Human waste use in agriculture and aquaculture:** utilization practices and health perspectives. Geneva: InternationalReference Centre for WasteDisposalSwitzerland, 1989. (Report, 08/89).

TAKITANE, I. C.; Produção de dejetos e caracterização de possibilidades de aproveitamento em sistemas de produção de suínos com alta tecnologia no estado de São Paulo. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

TAL, A. Seeking sustainability: Israel's encolving water management strategy. **Science**, Washington, v. 313, p. 1081-1084, 2006.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva.** São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TROOIEN, T. P.; LAMM, F. R.; STONE, L. R.; ALAM, M.; ROGERS, D.H.; CLARK, G. A.; SCHLEGEL, A.J. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: drip-line flow rates. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 16, n. 5. P. 505-508, 2000.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Environmental Pollution Control Alternatives:** Dinking Water Treatment for Small Communities. USEPA, Cincinnati, 1990

Valdez-Pérez a, F. Fernández-Luqueno~ a, O. Franco-Hernandez b, L.B. Flores Coteraa, L. Dendoovena. Cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in limed or unlimed wastewater sludge, vermicompost or inorganic amended soil. *Scientia Horticulturae* 128 (2011) 380–387.

VAN DER STEEN, P.; BRENNER, A.; VAN BUUREN, J.; ORON, G. Post-treatment of UASB reactor effluent in an integrated duckweed and stabilization pond system. *Water Research*, Londres, v. 33. n. 3, p. 615-620, 1999.

van HAANDEL, A.; KATO, M. T.; CAVALCANTI, P. F. F.; FLORENCIO, L. (2006). **Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater.** *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5:21-38.

VIEIRA, C. et al. Variedades, melhoramento e genética do feijoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, I., 1971, Campinas. Anais... Viçosa: UFV / Imprensa Universitária, 1972. p. 155-300.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Belo Horizonte. Editora da UFMG, 2005. 452 P.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, v 1, 1ª Edição, Belo Horizonte DESAUFMG, 240 p, 1995.

Water Renovation and Reuse.

<http://www.technowater.hpg.ig.com.br/menu7//ind.html>. Acesso: 30 de agosto. 2017.

XU, J.; SHEN, G. **Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production.** *Bioresource Technology* 102 848–853, 2011.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Cultura do milho: a importância da tecnologia. *Informações Agronômicas*, n.91, setembro/2000. p.5.

ZHAO, H.; APPENROTH, K.; LANDERMAN, L.; SALMEÁN, A. A.; LAM, E. Duckweed rising at Chengdu. *Plant Mol. Biol.*, Zurich, v. 78, n. 6, p. 627-632, 2012.

ZIMMO, O. R.; ALSAED R. M.; STEEN N. P. GIJZEN H. Nitrogen mass balance across pilot scale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds. **Water Research.** 38, 913-920. 2004.