



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**  
**NÚCLEO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RAFAELA DANTAS DE LUCENA

Trabalho de Conclusão de Curso:

**Produtividade das plantas de alface (*Lactuca sativa*  
*Linnaeus*) cultivadas em sistema hidropônico  
alimentado com efluente tratado**

Caruaru, 2016.

RAFAELA DANTAS DE LUCENA

**Produtividade das plantas de alface (*Lactuca sativa*  
*Linnaeus*) cultivadas em sistema hidropônico  
alimentado com efluente tratado**

Trabalho de conclusão de curso a ser apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco -UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>.Kenia Kelly Barros

Caruaru, 2016.

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

L935p Lucena, Rafaela Dantas.  
Produtividade das plantas de alface (*Lactuca sativa* Linnaeus) cultivadas em sistema hidropônico alimentado com efluentes tratados. / Rafaela Dantas Lucena. – 2016.  
53f. il. ; 30 cm.

Orientadora: Kenia Kelly Barros da Silva  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2016.  
Inclui Referências.

1. Efluentes Líquidos. 2. Alface. 3. Hidroponia. 4. Nitrogênio na agricultura. 5. Água – Reutilização. I. Silva, Kenia Kelly Barros da (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2016-221)

RAFAELA DANTAS DE LUCENA

**Produtividade das plantas de alface (*Lactuca sativa*  
*Linnaeus*) cultivadas em sistema hidropônico  
alimentado com efluentes tratados**

Trabalho de conclusão a ser apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração:  
Saneamento

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera a candidata RAFAELA DANTAS DE LUCENA aprovada com nota: \_\_\_\_\_

Banca examinadora:

---

**Profa. Dra. Kenia Kelly Barros Silva**  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

---

**Profa. Dra. Elizabeth Pastich**  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Examinadora interna)

---

**Profa. Dra. Luíza Feitosa Cordeiro De Souza**  
Faculdade Associação Caruaruense de Ensino Superior – ASCES  
(Examinadora externa)

---

**Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho**  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

*Dedico este trabalho a Deus que  
me abençoou em toda minha caminhada,  
aos meus avós, aos meus pais, a minha irmã  
e ao meu noivo.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente a Deus pela graça de está sempre presente em minha vida, me proporcionando momentos bons e ruins, mas nunca me deixando desistir e perder as esperanças. A Virgem Maria por sua interseção, por ser minha luz quando as trevas se faziam presente.

Aos meus pais, Carlos Roberto de Lucena e Ivani Dantas Vieira de Lucena, que lutaram para me dar a melhor educação, que são meus exemplos de vida. Gratidão á minha mãe por sempre saber me acalmar e fortalecer a cada dificuldade e a meu pai por nunca desistir de me ensinar os verdadeiros valores.

A minha irmã, Beatriz Dantas de Lucena, pelo apoio, carinho, dedicação e por sempre acreditar que sou capaz de superar os desafios surgidos.

Ao meu noivo, Anderson da Rocha Gomes, por sempre estar ao meu lado, me impulsionando a ir sempre mais alto e me dedicando sempre atenção, mesmo quando a recíproca não era verdadeira.

A minhas avós, Ildeci Dantas e Maria do Carmo (*in memoriam*), sempre me mostrando que a maior riqueza de uma pessoa é aquela invisível aos olhos humanos.

A minha orientadora, Kenia Kelly Barros, pela confiança, apoio, paciência e compartilhamento de conhecimento, sem eles esse trabalho não obteria êxito. Pessoa que me espelhou profissionalmente, sempre demonstrou dedicação, paciência e sabedoria em sua carreira acadêmica.

A equipe do LEA pelo acolhimento e ajuda; assim como pela paciência ao me ensinar os procedimentos analíticos necessários à realização deste trabalho.

Aos amigos de caminhada, do TLC (Treinamento de Liderança Cristã), que sempre torceram e me impulsionaram a não desistir, me mostraram que os obstáculos por maior pareçam não são impossíveis para Deus.

Enfim, obrigada a todos que estiveram ao meu lado, dando incentivo nos momentos difíceis e compartilhando as alegrias e vitórias, sempre confiando no meu potencial.

*“ Comece fazendo o que é necessário,  
depois o que é possível, e de repente  
você estará fazendo o impossível.”  
São Francisco de Assis*

## RESUMO

A alface é uma hortaliça mundialmente conhecida e consumida. No Brasil, a alface é a hortaliça folhosa é bastante apreciada pelos brasileiros e seu cultivo se estende por todo o território nacional. Por sua importância comercial, o cultivo da alface vem despertando o interesse de pesquisadores em aprimorar seu cultivo, principalmente em sistemas hidropônicos, nos quais as plantas são cultivadas em uma solução nutritiva, na ausência de solo. Nos últimos anos, muitas pesquisas vêm desenvolvendo trabalhos de reúso em sistemas hidropônicos alimentados com diferentes tipos de soluções nutrientes (água de abastecimento ou efluentes tratados, por exemplo).

O objetivo deste experimento foi estudar a produtividade das plantas de alface (*Lactuca sativa* Linneaus) cultivadas em sistemas hidropônicos alimentados, com o uso de efluentes tratados diluídos ou não em água de abastecimento. O experimento foi desenvolvido em uma área experimental de reúso localizada no município de São João-PE. O sistema hidropônico utilizado foi o Mini Floating, abastecido com água de abastecimento, efluente doméstico tratado (diluído ou não em água de abastecimento) e solução nutritiva comercial. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e três repetições. Os resultados revelaram que a solução nutritiva que mais favoreceu ao desenvolvimento da planta foi a solução nutritiva comercial ( $0,88\text{g (NO}_2^- + \text{NO}_3^-)\cdot\text{kg}^{-1}$  e  $0,36\text{g NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}$ ) seguida pelo efluente tratado sem diluição (100%) ( $0,41\text{ g (NO}_2^- + \text{NO}_3^-)\cdot\text{kg}^{-1}$  e  $0,26\text{ g NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Com relação ao íon amônio, teores acima de  $0,48\text{g NH}_4^+\cdot\text{kg}^{-1}$  foram tóxicos às plantas submetidas aos tratamentos T1, T3 e T4, prejudicando seus desenvolvimentos. Esses resultados mostraram que o efluente tratado sem diluição pode ser uma boa fonte de nitrogênio no cultivo de alface hidropônica.

**Palavras chave:** efluente tratado, reúso, alface, hidroponia, nitrogênio, toxicidade.

## ABSTRACT

Lettuce is a vegetable known and consumed worldwide. In Brazil, the lettuce is the vegetable most appreciated by Brazilians and its cultivation extends throughout the country. For its commercial importance, researchers have aroused the interest in improve the lettuce cultivation, especially the hydroponic cultivation, in which plants are grown in a nutrient solution in the absence of soil. In the last years, many researches have been developing reuse work in hydroponic systems using different kind residues as nutrient solutions (supply water or treated effluents, for example).

The objective of this experiment was to study the nitrogen concentrations contained in the leaves of lettuce (*Lactuca sativa Linneaus*) grown in hydroponic systems, using treated effluents diluted or not in supply water as nutrient solution. The experiment was carried out in an experimental area of agricultural reuse located in São João city, state of Pernambuco. The hydroponic system used was the Mini Floating. The experimental design was completely randomized, with five treatments and three replications. The results showed that the nitrogen source that most favoured the development of the plant was the commercial nutrient solution ( $0,88\text{g} (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-).\text{kg}^{-1}$  e  $0,36\text{g} \text{NH}_4^+.\text{kg}^{-1}$ ), followed by the treated effluent without dilution (100%) ( $0,41\text{g} (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-).\text{kg}^{-1}$  and  $0,26\text{g} \text{NH}_4^+.\text{kg}^{-1}$ ). Concerning the ammonium ion, values above  $0,48\text{g} \text{NH}_4^+.\text{kg}^{-1}$  were toxic to plants submitted to the treatments T1, T3 and T4, hindering the plant developments. These results show that the treated effluent without dilution can be a good nitrogen source in lettuce hydroponic cultivation.

**Keywords:** treated effluent, reuse, lettuce, hydroponics, nitrogen, toxicity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 3.1</b> - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO	27
<b>FIGURA 3.2</b> - ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE REÚSO HIDROPÔNICO	28
<b>FIGURA 3.3</b> - ESTRUTURA DOS VASOS HIDROPÔNICOS. (a) ESQUEMA DE ALOCAÇÃO DAS MUDAS; (b) VASO PREPARADO PARA RECEBER AS MUDAS	29
<b>FIGURA 3.4</b> - REATOR TIPO UASB, EM ESCALA DE LABORATÓRIO	31
<b>FIGURA 3.5</b> - PREPARAÇÃO DO ARMAZÉNAMENTO DAS FOLHAS PARA SECAGEM EM ESTUFA	34
<b>FIGURA 3.6</b> - DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL	34
<b>FIGURA 4.1</b> - EXEMPLARES DAS PLANTAS SUBMETIDAS AOS TRATAMENTOS, AOS 26 DIAS DE EXPERIMENTO. (a) TRATAMENTO T1, (b) TRATAMENTO T2, (c) TRATAMENTO T3, (d) TRATAMENTO T4, (e) TRATAMENTO T5.	41
<b>FIGURA 4.2</b> - PLANTAS AOS 48 DIAS DE EXPERIMENTO. (a) TRATAMENTO T1, (b) TRATAMENTO T2, (c) TRATAMENTO T3, (d) TRATAMENTO T4, (e) TRATAMENTO T5.	43

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 3.1</b> - TRATAMENTOS APLICADOS AO EXPERIMENTO	30
<b>TABELA 3.2</b> - COMPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA COMERCIAL	30
<b>TABELA 3.3</b> - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ESGOTO SINTÉTICO	31
<b>TABELA 4.1</b> - CARACTERIZAÇÃO INICIAL DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS DE ABASTECIMENTO (0 DIA DE EXPERIMENTO).	35
<b>TABELA 4.2</b> - CARACTERIZAÇÃO FINAL DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS DE ABASTECIMENTO (48 DIAS DE EXPERIMENTO)	36
<b>TABELA 4.3</b> - ABSORÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E DE NITROGÊNIO PELAS PLANTAS AO FINAL DO EXPERIMENTO (48 DIAS DE EXPERIMENTO)	38
<b>TABELA 4.4</b> - PARÂMETROS ANALISADOS NAS PLANTAS AO FINAL DO EXPERIMENTO (48 DIAS DE EXPERIMENTO)( $p>0,05$ )	44

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 ESCASSEZ DE RECURSOS HÍDRICOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 DESTINO DO EFLUENTE TRATADO NO BRASIL E EM PERNAMBUCO.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 CULTIVO HIDROPÔNICO.....</b>	<b>24</b>
2.5.1 HIDROPONIA DE HORTALIÇAS.....	25
<b>2.6 NITROGÊNIO NO CULTIVO HIDROPÔNICO .....</b>	<b>26</b>
<b>3. METODOLOGIA DO TRABALHO.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 LOCAL DE ESTUDO E ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE REÚSO HIDROPÔNICO .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 TRATAMENTOS ESTUDADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 MONITORAMENTO DAS SOLUÇÕES HIDROPÔNICAS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 ANÁLISE DA PLANTA .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>35</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE ABASTECIMENTO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 CARACTERIZAÇÃO FINAL DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE ABASTECIMENTO.....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 CARACTERIZAÇÃO DA PLANTA.....</b>	<b>44</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa Linnaeus*) é reconhecida por ser a hortaliça mais produzida e comercializada no Brasil. Segundo o CNPH – Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliça da EMBRAPA (2015), no item ‘Hortaliças em Números’ está descrito que existem 66.301 propriedades rurais produzindo alface comercialmente, com uma produção no Brasil de 525.602 toneladas por ano, sendo que 10,6% desse total correspondem à produção na região Nordeste, com o estado de Pernambuco ocupando o 2º lugar no ranking da região, apresentando uma produção anual de 12.531 toneladas de alface. Devido a este cenário, vários estudos vêm sendo realizados para melhorar o cultivo dessa hortaliça, destacando-se o uso de sistemas hidropônicos de cultivo.

Hidroponia é uma técnica de cultivo protegido, em que o solo é substituído por uma solução nutritiva ou um substrato inerte que recebe os elementos essenciais, de forma balanceada, ao desenvolvimento das plantas. Esse tipo de cultivo surgiu como medida de escape às doenças causadas por patógenos presentes nos solos, devido à intensa utilização do terreno por atividades antrópicas, em especial, os solos dos cinturões verdes das grandes cidades. Atualmente, em estudos científicos, essas soluções nutritivas vêm sendo substituídas por efluentes tratados e águas de abastecimento.

Efluentes tratados, principalmente aqueles de origem doméstica, são ricos em nutrientes, como por exemplo nitrogênio (N) e fósforo (P), além de serem fontes de matéria orgânica e água. O nitrogênio é considerado um dos nutrientes mais importantes ao desenvolvimento das plantas. Esse nutriente é essencial na formação de proteínas, de novas células e de tecidos, além de promover a formação da clorofila. De uma forma individual, o N pode ser considerado um dos mais importantes elementos que influenciam o desenvolvimento das plantas.

Em cultivos hidropônicos, diversos sistemas vêm sendo utilizados, dentre os quais, destacam-se: NutrientFilmTechnique (NFT) e Deepfilmtechnique (DFT). O sistema hidropônico do tipo Mini Floating é indicado quando se deseja cultivar hortaliças que são consumidas *in natura* e a solução nutritiva a ser utilizada será uma água de baixa qualidade e deve-se ter cuidado quanto à

sanidade dos frutos; pois a parte aérea das plantas fica protegida por uma estrutura e apenas as raízes entram em contato com essa solução nutritiva, reduzindo assim a contaminação da parte aérea, pois as raízes selecionam os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas.

A respeito da qualidade nutricional dos alimentos consumidos *in natura*, como é o caso das hortaliças, o acúmulo de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nesses alimentos é um problema que vem chamando atenção de muitos pesquisadores há algum tempo, pois esse composto quando ingerido em grandes quantidades pelo homem pode causar graves consequências à saúde, como formação de nitrossaminas, substância potencialmente carcinogênica, além da metahemoglobinemia ou “sangue azul” que reduz o transporte de oxigênio no sangue (BOINK; SPEIJERS, 2001; ADDISCOTT; BENJAMIN, 2004; PÔRTO *et al.*, 2008).

As hortaliças, juntamente com a água potável, representam as principais fontes de  $\text{NO}_3^-$  para o organismo humano. Algumas estimativas apontam que as hortaliças correspondem ao grupo de alimentos que mais contribui para a ingestão de  $\text{NO}_3^-$  pelo homem, sendo responsáveis por cerca de 72% e 94% da ingestão diária (TURAZI *et al.*, 2006; TAKAHASHI *et al.*, 2007).

O acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  nas plantas depende de diversos fatores, como aqueles inerentes à cultura (caráter genético, espécies, cultivares e órgãos analisado), fatores ambientais (intensidade luminosa, temperatura, época de cultivo ou estação do ano, por exemplo), horário de colheita (manhã, tarde e noite); sistema de cultivo (convencional, orgânico e hidropônico) e adubação (manejo, quantidade e tipo de fertilizantes nitrogenados). Juntamente com a intensidade luminosa, a disponibilidade de N é o fator que mais exerce influência no acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  pelas plantas. Assim, níveis excessivos de N, através da utilização de fertilizantes minerais, orgânicos ou na composição de soluções nutritivas, irão ocasionar problemas de acúmulo de nitrato nas plantas.

Muitos questionamentos vêm sendo levantados com relação ao risco do acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  nas hortaliças oriundas de cultivo hidropônico. Em geral, sabe-se que a alface hidropônica apresenta teores de  $\text{NO}_3^-$  superiores aos da alface produzida em sistema orgânico e convencional (BENINNI *et al.*, 2002; COMETTI *et al.*, 2004), o que pode ser justificado pelo fato das soluções

nutritivas usadas em hidroponia apresentarem alta disponibilidade de  $\text{NO}_3^-$ , levando conseqüentemente ao seu maior acúmulo em plantas cultivadas nessas condições (FAQUIN *et al.*, 1996; FAQUIN; ANDRADE, 2004).

Os efluentes de reatores UASB vêm ganhando espaço em atividades de reuso agrícola por apresentarem características nutricionais e físico-químicas adequadas a essa prática. Atualmente, muitos estudos vêm sendo direcionados ao reuso hidropônico de águas residuárias tratadas, como o desenvolvido por Bastos (2005) e por Cavalcante (2007), nos quais estes autores avaliam a eficiência do tratamento de esgotos por meio de filtros anaeróbicos, para que sejam usados no cultivo hidropônico.

Dentro do exposto, ao realizar a pesquisa sobre a ação do efluente de um reator tipo UASB como solução nutritiva hidropônica, o presente trabalho dispõe-se a cooperar cientificamente com uma nova alternativa de água, bem como de nutrientes para o cultivo de alface, e suas conseqüências no desenvolvimento da cultura de alface hidropônica submetidas ao sistema mini floating.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Produtividade das plantas de alface (*Lactuca sativa Linnaeus*) cultivadas em sistemas hidropônicos, com o uso de efluentes tratados por reatores UASB como soluções nutritivas.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- estudar os efeitos do uso de efluente doméstico tratado como solução nutritiva hidropônica sobre o desenvolvimento e produtividade das plantas de alface;
- quantificar as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e N inorgânico nas plantas de alface cultivadas com efluentes tratados;
- estudar quais as concentrações de N- $\text{NH}_4^+$  presente em tecido foliar foram tóxicas às plantas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 *Escassez de recursos hídricos*

Reservas hídricas são um dos recursos ambientais mais importantes no Planeta e, por isso, uma gestão adequada dessas reservas é uma componente fundamental da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997), uma vez que, dois dos objetivos da PNRH é assegurar a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos dessa água, e garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos.

Em 1996, a demanda hídrica mundial estava estimada em  $5.692 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , contra uma oferta de  $3.745 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ; ou seja, a oferta hídrica só atendia a cerca de 66 % dos usos múltiplos da água. Mantendo-se as taxas de consumo e se considerando um crescimento populacional à razão geométrica de 1,6 % a.a., o esgotamento da potencialidade de recursos hídricos pode ser referenciado por volta do ano 2053. Assim, as disponibilidades hídricas precisam ser ampliadas e, para tanto, são necessários investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para exploração viável e racional da água (MAIA NETO, 1997; SOARES, 2007).

A água pura apenas fornece dois nutrientes (ou elementos essenciais): hidrogênio e oxigênio. A água é o solvente que permite que gases, minerais e outras substâncias possam penetrar nas células e fluir entre as mesmas e entre os vários órgãos do vegetal. Também é o reagente em muitos processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese e a hidrólise do amido em açúcar. A água não substitui todos os nutrientes, mas ela dá sentido a sua essencialidade. (SOARES, 2007)

O Brasil passou a viver, a partir de 2011, os primeiros grandes focos daquilo que pode ser a maior crise hídrica de sua história. Com um problema grave de seca e também de gestão dos recursos naturais, o país vem apresentando níveis baixos em seus reservatórios em épocas do ano que eles costumam estar cheios. Essa ocorrência, de certa forma, representa uma grande contradição, pois o Brasil é considerado a maior potência hídrica do planeta.

A gestão de recursos hídricos no Brasil não é um problema pontual, mesmo o Brasil sendo um dos países que concentra grandes reservas de água do planeta. No entanto, a distribuição desse recurso no território nacional é desigual, concentrando os maiores volumes de água na região Norte, a qual concentra a menor densidade populacional brasileira, e no outro extremo encontra-se a região Nordeste, com a menor disponibilidade hídrica do país, com chuvas mais escassas, principalmente, no semiárido. Desta forma, o cenário nacional se resume a algumas regiões com um grande potencial hídrico, enquanto outras sofrem com a falta de água.

A respeito da região Nordeste, as condições físico-climáticas que predominam nessa região exigem maior empenho e maior racionalidade na gestão dos recursos naturais, em especial, a água.

Assim, diante da crise em que o Nordeste brasileiro está inserido, é necessário, além de garantir os usos mais nobres da água (consumo humano e animal), manter a produção agrícola, com um reduzido consumo de água, ou até mesmo substituir os mananciais de abastecimento agrícolas por fontes de água de menor qualidade, desde que estas não comprometam a saúde humana. Desta forma, uma das soluções mais viáveis seria o reúso controlado de esgotos tratados como água de irrigação.

## **2.2 Semiárido brasileiro**

Os municípios brasileiros localizados na Região Semiárida do país possuem uma extensão total de 982.563,3 km<sup>2</sup>. A Região Nordeste concentra em torno de 89,5% do Semiárido brasileiro, a qual abrange a maioria dos estados nordestinos. A região Semiárida foi delimitada com base na isoietas de 800 mm, no Índice de Aridez de Thornthwaite de 1941 (municípios com índice de até 0,50) e no Risco de Seca (superior a 60%). Como reflexo das condições climáticas dominantes de semiaridez, a hidrografia é pobre em seus amplos aspectos. As condições hídricas são insuficientes para sustentar rios caudalosos, a se mantenham perenes nos longos períodos de ausência de precipitação. Constitui-se exceção o rio São Francisco, devido as suas características hidrológicas que permitem a manutenção do seu volume de

água durante o ano todo; assim, o rio São Francisco adquire uma significação especial para as populações ribeirinhas e da zona do Sertão (IBGE, 2010).

O semiárido nordestino tem como traço principal as frequentes secas, que podem ser caracterizadas pela ausência, escassez, altas variabilidade espacial e temporal das chuvas. Não é rara a sucessão de vários anos seguidos de seca. As características do meio ambiente, no semiárido, condicionam fortemente a sociedade regional a sobreviver principalmente de atividades econômicas ligadas à agricultura e a pecuária. Estas atividades se realizam sempre buscando o melhor aproveitamento possível das condições naturais desfavoráveis, ainda que apoiadas em base técnica frágil, utilizando na maior parte dos casos, tecnologias tradicionais. (SUDENE, 2010)

O polígono que compreende as áreas sujeitas repetidamente aos efeitos das secas abrange oito estados nordestinos - o Maranhão é a única exceção -, além de parte de Minas Gerais, cerca de 121.490,9 Km<sup>2</sup>, na Região Sudeste. Este polígono possui um traço marcante, o clima, principalmente pela existência de um regime pluvial que delimita duas estações bem distintas: uma curta estação chuvosa, de 3 a 5 meses (inverno), que ocorre no primeiro semestre do ano, e uma longa estação seca (verão), que tem duração de 7 a 9 meses, podendo se alongar nos anos de seca por 18 meses ou mais. Embora essa região apresente uma pluviosidade não muito baixa, em termos absolutos (500 mm anuais, em média), o balanço hídrico é altamente deficitário, principalmente em virtude da elevada evaporação. Além disso, é considerada uma das regiões semiáridas mais quentes do Planeta. A temperatura média é relativamente constante ao longo do ano e uniforme em toda a região. As médias térmicas anuais oscilam entre 23 e 27 °C, com amplitude diária próxima a 10° C, mantendo-se inalterada, tanto ao longo das latitudes, como em relação ao mar. Em virtude de sua proximidade do Equador e da pouca quantidade de nuvens na maior parte do ano, a luminosidade média anual é muito elevada, situando-se em torno de 2.800 horas de luz solar por ano. E por apresentar poucas nuvens e baixa latitude, a região recebe a incidência quase vertical dos raios solares, o que favorece às elevadas temperaturas que, aliadas à baixa umidade atmosférica, provocam uma excessiva evaporação (em média 2.000

mm por ano). A umidade relativa do ar atinge média anual próxima de 50 % (MENDES, 1986).

As regiões áridas e semiáridas do planeta geralmente são pobres e de agricultura subdesenvolvida. Nessas regiões, além da limitação de água, ocorrem também, com frequência, solos com sérias limitações. Com relação ao rendimento agrícola, as regiões semiáridas normalmente não podem competir com as úmidas, de modo que são consideradas terras marginais. As tentativas para produção de alimentos nestas áreas geralmente fracassam por ocasião das secas, o que provoca a desorganização da economia da região e agrava os sérios problemas sociais já existentes. A produção de alimentos deve ficar restrita às áreas passíveis de irrigação, diminuindo assim os riscos de fracasso e proporcionando uma produção constante e de maior produtividade (MENDES, 1986).

### **2.3 Tratamento biológico de efluentes**

O grande volume de esgoto produzido e seu descarte sem tratamento em corpos receptores causam a poluição do ambiente. A contaminação dos corpos receptores deve-se à presença de macro e de micronutrientes, agentes patogênicos, matéria orgânica, metais pesados e de elevadas DQO (demanda bioquímica de oxigênio) e DBO (demanda biológica de oxigênio). Desta forma, o tratamento dos esgotos é prática indispensável para a preservação dos recursos hídricos (VON SPERLING, 1996).

As estações de tratamento de esgoto, em geral, são constituídas de diversas unidades, cada qual desempenhando isoladamente uma ou mais funções específicas. Entretanto, cada unidade é operada de maneira integrada com as demais, formando um sistema de tratamento para atingir um objetivo comum, que é a remoção de determinados constituintes do esgoto, principalmente para a recuperação da qualidade da água (KATO *et al.*, 1999).

O processo de tratamento dos esgotos normalmente é classificado em preliminar, primário, secundário e terciário, conforme o nível de tratamento implantado (NICHELE, 2009). O tratamento preliminar se destina basicamente à remoção de sólidos grosseiros e areia. O tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. O principal objetivo do

tratamento secundário é a eliminação biológica da matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão. O processo tem como finalidade acelerar os mecanismos de degradação, que ocorrem naturalmente na natureza. Esta decomposição biológica pode ser por processo aeróbio ou anaeróbio. O tratamento terciário tem o objetivo de remover componentes específicos e complementa a remoção de componentes pelo tratamento secundário. Os principais componentes removidos pelo processo terciário são: compostos não biodegradáveis; organismos patogênicos; metais pesados; sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes.

De acordo com Silva (2009), o processo de transformação da matéria orgânica pela fermentação anaeróbia é uma técnica bastante utilizada no tratamento de esgotos, tais como aqueles de origem doméstica, através da implantação de reatores anaeróbios, principalmente os reatores de manta de lodo e fluxo ascendentes (UpflowAnaerobicSludgeBlanket – UASB), com pós-tratamento por lagoas facultativas ou tratamentos aeróbios. Esta tecnologia apresenta vantagens como, por exemplo, baixos custos de implantação, operação e manutenção; sistema operacional relativamente simples e baixa produção de sólidos, quando comparada com os sistemas aeróbios de tratamento de esgotos. Aliadas a essas vantagens, o tratamento anaeróbio é favorecido pelas condições ambientais do Brasil, que o torna ainda mais atrativo, especialmente na região Nordeste, onde as temperaturas atingem valores próximos dos 30 °C durante quase todo o ano. As altas temperaturas estimulam a atividade dos microrganismos responsáveis pela remoção da matéria orgânica.

Os reatores do tipo UASB usam um processo biológico de tratamento em biomassa dispersa (manta e leito de lodo biológico), no qual ocorrem várias transformações sucessivas realizadas pela ação de diferentes tipos de bactérias que são responsáveis pela biodegradação de compostos orgânicos, resultando na produção de subprodutos, como biogás, água (efluente tratado) e sólidos (lodo).

Embora essa tecnologia tenha uma grande aceitação no tratamento de esgotos, os reatores do tipo UASB não produzem, isoladamente, um efluente com características que atendam aos limites dos padrões de lançamento e

utilização de efluentes impostos pelas legislações ambientais em vigor no Brasil. Assim, embora sejam eficientes quanto à remoção da matéria orgânica carbonácea dos esgotos, nem sempre produzem efluentes tratados que concordam com os padrões de uso, principalmente agrícola, quanto à eliminação de microrganismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos).

O efluente resultante dos reatores anaeróbios, usados no tratamento de esgotos domésticos, apresenta uma concentração relativamente alta de nutrientes, principalmente, N. Essa alta concentração de nutrientes representa um aspecto de caráter ambiental e econômico positivo, principalmente se o efluente tratado for utilizado como água de irrigação nas atividades agrícolas.

#### **2.4 Destino do efluente tratado no Brasil e em Pernambuco**

Atualmente, a agricultura depende do suprimento de água de forma que, a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e implantados em curto prazo. Com base neste aspecto, o uso consciente e planejado de águas de drenagem agrícola, salobras, de chuva e, principalmente, esgotos domésticos e industriais, constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão dos recursos hídricos nacionais (SILVA, 2009).

Segundo a SABESP (Companhia de Saneamento do estado de São Paulo), publicada na revista DAE em 2012, a prática do reúso da água vem crescendo consideravelmente nas últimas décadas em todo o mundo, impulsionada pela escassez e pelo aumento do custo dos serviços de tratamento e distribuição da água. Essa prática deixou de ser apenas uma fonte alternativa de água ambientalmente correta para se transformar num negócio lucrativo e pronto para ser aproveitado dentro do mercado de abastecimento: tem demanda crescente, suprimento garantido, baixo custo e tecnologia confiável.

No Brasil, o crescimento do reúso ainda é muito pequeno, em relação a seu potencial. Diversas companhias de saneamento fornecem água de reúso

para fins não potáveis na área urbana, a indústria vem aplicando recursos financeiros significativos na implantação de programas de reúso de águas, obtendo redução de consumo de até 80% e a agricultura já começa a avaliar os benefícios do reúso. Mas a universalização da prática do reúso de água no Brasil, em todos os setores, está longe de se concretizar. As justificativas para explicar esse baixo crescimento no Brasil variam da falta de normas e legislação até a abundância de recursos hídricos no país, passando pelo déficit de tratamento de esgoto (SABESP, 2012).

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) n.º 54, de 2005, é a única legislação específica sobre reúso não potável de água. Essa resolução estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais à prática de reúso. Atualmente, o CNRH, está empenhado em criar novas resoluções específicas para cada forma de reuso – agrícola, industrial, fins urbanos não potáveis e aquicultura – e os correspondentes códigos de prática. Essa atividade vem sendo feita tardia e demoradamente, podendo levar muitos anos para que se tenha um arcabouço legal adequado, para dar suporte à prática de reuso de água no Brasil (SABESP, 2012).

No Brasil, pouco ou quase nada se tem registrado sobre reúso direto de efluentes, tratados ou não, o que não quer dizer que não ocorra, mesmo que de forma indiscriminada e sem controle. Mas o reúso indireto é com certeza prática corrente, haja vista a quase inexistência de tratamento de esgotos e somente 40% do volume total de esgotos coletados no país são submetidos a algum tipo de tratamento. Além disso, vários estudos sobre a qualidade de águas de irrigação ou de hortaliças comercializadas, em diversas regiões do país, reforçam os indícios da prática disseminada de irrigação com esgotos, ao menos de forma indireta (BASTOS, 1999; SNIS, 2014)

Com o aumento da demanda da população e conseqüentemente a procura dos alimentos fornecidos pela agricultura, a necessidade da água se torna maior. Diante desta procura, pesquisas são realizadas para achar fontes alternativas de água, tendo em vista que águas de baixa qualidade podem ser aproveitadas pela agricultura, quando monitoradas adequadamente, que é concordante com o fato de ser a agricultura o setor que mais deriva água para uso consuntivo no mundo.

Não diferente do cenário nacional, o estado de Pernambuco não apresenta prática de reúso do efluente tratado, acontecendo casos isolados, como indústrias que investem na prática para diminuir seus custos com água potável e mesmo condomínios que apresentam seu próprio tratamento para destino menos nobres da água. No entanto, pesquisas vêm sendo difundidas abrangendo este assunto, como por exemplo, têm-se as pesquisas desenvolvidas por Silva(2009) e Silva Filho (2013), ambas com o apoio da Universidade Federal de Pernambuco, as quais ganham destaque por apresentar:

- diversas tecnologias consolidadas ou não ao tratamento de águas residuárias, utilizando-se reatores de alta taxa, material alternativo, melhoria dos processos existentes, sistemas compactos, além de estudos de biodegradabilidade e toxicidade;
- e o objetivo de estudar as condições de reúso de resíduos líquidos domésticos e industriais tratados e não tratados para aplicação agrícola, esse voltado à região do agreste e semiárido do Nordeste.

A respeito das características dos esgotos domésticos, de acordo com Silva (2009), os esgotos domésticos têm composição complexa, a qual varia de acordo com os hábitos da população e oferta de água pelo sistema de abastecimento, como por exemplo: compostos orgânicos de cadeia longa; carboidratos; proteínas; lipídeos; aminoácidos; metais; bactérias; vírus e protozoários. Com vistas à utilização dos esgotos tratados na agricultura, é importante que seja promovida a remoção da maior parcela da matéria orgânica (estabilização), para evitar a proliferação de maus odores e vetores transmissores de doenças, e de microrganismos patogênicos.

Os critérios de tratamento para reúso agrícola de efluentes tratados são distintos daqueles estabelecidos para a descarga de efluentes líquidos em corpos de água, que tem como objetivos do tratamento de esgotos a remoção de sólidos suspensos, compostos orgânicos e organismos patogênicos. Para o reúso agrícola é importante que os efluentes tratados tenham concentrações significativas de matéria orgânica e o máximo possível dos nutrientes e micronutrientes contidos no esgoto bruto (TSUTIYA, 2001).

A vantagem do reúso agrícola de efluentes tratados está na minimização da poluição hídrica nos mananciais, propiciando o uso sustentável dos recursos hídricos pela utilização racional de águas de boa qualidade. Segundo Beekmam (1996), os benefícios do reúso podem ser estimados com o aumento da produtividade da agricultura, controle de erosão e redução de danos ambientais. A substituição de água de melhor qualidade por águas de qualidade inferior, em atividades onde isto é possível, permite a economia de água, aumentando assim a disponibilidade de recursos hídricos para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes.

O reúso na irrigação agrícola é uma prática atrativa, uma vez que favorece a utilização dos nutrientes presentes nas águas residuárias, pois os efluentes tratados, de acordo com suas características físico-químicas e bacteriológicas, se adequam as atividades agrícolas. O reúso de esgoto é amplamente utilizado como uma alternativa de baixo custo para a água de irrigação convencional, que fornece suporte a meios de subsistência e gera um valor considerável na agricultura urbana, apesar dos riscos sanitários e ambientais associados a esta prática. Embora generalizada, esta prática é em grande parte não regulamentada nos países de baixa renda, e os custos e benefícios são mal compreendidos (SCOTT *et al.*, 2004).

## **2.5 Cultivo hidropônico**

Em geral, cultivos hidropônicos são aqueles cuja nutrição das plantas é feita por meio de uma solução aquosa que contém todos os elementos essenciais ao crescimento das mesmas, em quantidades e proporções definidas e isenta de quantidades elevadas de elementos potencialmente tóxicos.

Como citado por Soares (2007), respeitando-se as recomendações técnicas, a hidroponia pode propiciar inúmeras vantagens aos agricultores como, por exemplo: uma produção de melhor qualidade; maior produtividade; menor emprego de mão-de-obra; mínimo uso de defensivos; colheita precoce; maiores eficiências no uso da água e fertilizantes; melhoria da ergonomia nas atividades; dispensa da rotação de culturas; eliminação de alguns tratamentos

culturais; e utilização racional de áreas subutilizadas pelo cultivo tradicional. Como desvantagens, citam-se: o alto custo de instalação; a dependência de eletricidade nos sistemas automáticos; a necessidade de mão-de-obra especializada; a possibilidade de negligência às atividades que são rotineiras; acúmulo de matéria orgânica; e a rápida disseminação de patógenos.

### **2.5.1 Hidroponia de Hortaliças**

No Brasil, o cultivo comercial de hortaliças e plantas ornamentais, usando técnicas de hidroponia, é de introdução recente, e vem se expandindo rapidamente nas proximidades dos grandes centros urbanos, onde as terras agricultáveis são escassas e caras e onde há grande demanda por produtos hortícolas. Em tais regiões, a produção de hortaliças é realizada em sua maior parte sob cultivo protegido, caso em que o cultivo hidropônico se apresenta como alternativa vantajosa. Ciclos de produção mais curtos, possibilidade de uso do espaço vertical na casa de vegetação, maior produtividade, menor necessidade de mão-de-obra, menores riscos de salinização do meio de cultivo e de poluição do lençol freático com nitrato figuram entre as principais vantagens da hidroponia (FURLANI, 1998).

Outros fatores limitantes da produção de frutas e hortaliças, como a precipitação pluviométrica, a disponibilidade de água no solo e temperaturas extremas (muito elevadas ou baixas), podem ser contornados pelo uso do cultivo hidropônico.

Apesar da relevância do assunto, estudos sobre a produção hidropônica com alface, principalmente no que diz respeito ao manejo da disponibilidade de N na solução nutritiva, ainda são bastante escassos para as condições regionais do Nordeste brasileiro (PORTO *et al*, 2012).

Segundo Carrasco e Izquierdo (1996), o principal sistema de cultivo hidropônico atualmente utilizado no Brasil é o denominado NFT - "NutrientFilmTechnique", ou seja, a técnica do fluxo laminar de nutrientes. Nas condições brasileiras, as culturas de alface e rúcula são as que mais têm sido cultivadas com esse sistema.

As instalações de um sistema NFT para cultivo de hortaliças folhosas são compostas basicamente por uma casa de vegetação (estufa), contendo: bancada para produção de mudas e de cultivo; canais de cultivo apoiados na bancada; reservatório para solução nutritiva; conjunto moto bomba; temporizador (timer) e, encanamentos e registros para distribuição e retorno de solução nutritiva (FURLANI, 1998). O sistema NFT permite produzir alface durante todo o ano, no entanto, esse sistema depende de variedades de planta apropriadas, acompanhamento técnico especializado, manejo, estruturas e equipamentos adequados para minimizar as perdas.

A alface se apresenta como a hortaliça com mais estudos realizados em cultivo hidropônico. De acordo com Soares (2007), a alface cultivada no sistema hidropônico apresenta melhor resultado, quando comparado ao cultivo em solo; além disso, o autor afirma que o desempenho da alface submetida à irrigação com águas salobras evidencia sua capacidade de se desenvolver favoravelmente sob estas condições.

## **2.6 Nitrogênio no cultivo hidropônico**

O reúso de efluentes tratados na agricultura é instigante, já que o efluente contém alguns componentes importantes para o desenvolvimento das plantas, como por exemplo, os nutrientes, principalmente nitrogênio. Devido a isso, o uso de esgoto na irrigação pode proporcionar a redução significativa dos gastos com fertilizantes, a utilização de água de qualidade superior para outros fins e diminuir a quantidade de efluentes despejados nos corpos d'água (SILVA FILHO, 2013).

As plantas não exigem as altas concentrações de nutrientes encontradas nas formulações usuais de soluções nutritivas. Numerosos estudos sobre K, P e N têm demonstrado que as plantas crescem normalmente e contêm concentrações normais desses nutrientes, se os mesmos estão disponíveis na faixa de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ . Essa descoberta tem levado alguns pesquisadores a enfatizar que a taxa de suprimento de nutrientes, não sua concentração, é o fator mais importante para o desenvolvimento vegetal. A razão para a alta concentração de nutrientes nas formulações-padrão recai na dificuldade

experimental de reabastecimento de nutrientes a partir de um depósito, à medida que as plantas os exaurem (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas culturas, necessitando de doses elevadas nas adubações e isso, tem trazido preocupação sob dois aspectos: o primeiro, a contaminação de águas subterrâneas e dos mananciais e, o segundo, a elevação dos teores de nitrato  $\text{NO}_3^-$  nos alimentos, principalmente naqueles de consumo *in natura*, como as hortaliças e frutas. O  $\text{NO}_3^-$  absorvido pelas raízes é reduzido a  $\text{NH}_4^+$ , sendo essa redução e o conseqüente acúmulo de nitrato nas plantas, afetados por diversos fatores, como os genéticos e ambientais, especialmente a intensidade luminosa que, quando baixa, pode reduzir o acúmulo de nitrato tanto no sistema de cultivo convencional e orgânico quanto no hidropônico (FAQUIN, 2004).

Para ser metabolizado pela planta, ou seja, incorporado a compostos orgânicos formando aminoácidos, proteínas e outros compostos nitrogenados, o  $\text{NO}_3^-$  absorvido pelas raízes deve ser, necessariamente, reduzido para amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Essa redução, na maioria das plantas, ocorre nas folhas em duas etapas: a primeira no citoplasma, onde o  $\text{NO}_3^-$  passa para  $\text{NO}_2^-$  e é mediada pela enzima redutase do nitrato ( $\text{RNO}_3$ ); a segunda nos cloroplastos, onde o  $\text{NO}_2^-$  passa para  $\text{NH}_4^+$ , mediada pela Redutase do Nitrito ( $\text{RNO}_2$ ). No primeiro estágio, o agente redutor é o NADH, originado na respiração; no segundo, nos cloroplastos, o agente redutor é a ferredoxina, cujos elétrons são originados no Fotossistema I (FSI) da fase clara da fotossíntese.

Assim, o  $\text{NO}_3^-$  absorvido pelas raízes e reduzido a  $\text{NH}_4^+$ , é incorporado a compostos orgânicos, formando os diversos compostos nitrogenados da planta. A capacidade de acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  pelas plantas, além do caráter genético, é grandemente influenciada por fatores, como: disponibilidade desse nutriente no nível das raízes e do molibdênio, intensidade de radiação luminosa, da atividade da enzima redutase do  $\text{NO}_3^-$ , temperatura, sistema de cultivo, idade da planta e hora da colheita (FURTADO, 2008).

### 3. METODOLOGIA DO TRABALHO

### **3.1 Local de estudo e estação experimental de reúso hidropônico**

O experimento foi montado na zona rural do município de São João, estado de Pernambuco. Este município está localizado no agreste meridional de Pernambuco (Figura 3.1), possui uma área de 258,334 Km<sup>2</sup>, 21.312 habitantes, dista 236 km do Recife e faz limite com os municípios de Garanhuns, Angelim e Palmeirina. A sede do município de São João tem uma altitude de 716 metros e coordenadas geográficas de 08° 52'32" e de latitude sul e longitude de 36° 22' 00" oeste (IBGE, 2010).



**Figura 3.1** – Localização do município de São João.

A estação experimental de reúso era composta por um sistema hidropônico do tipo mini-floating (sistema flutuante em pequena escala). Neste sistema, as mudas de alface foram cultivadas em vasos, com capacidade de 2L, e fertirrigadas com soluções nutritivas. Como forma de proteger as plantas contra a ação de pequenos animais (pássaros, mosquitos, formigas) e intempéries, a área experimental foi coberta com tela sombrite (Figura 3.2).

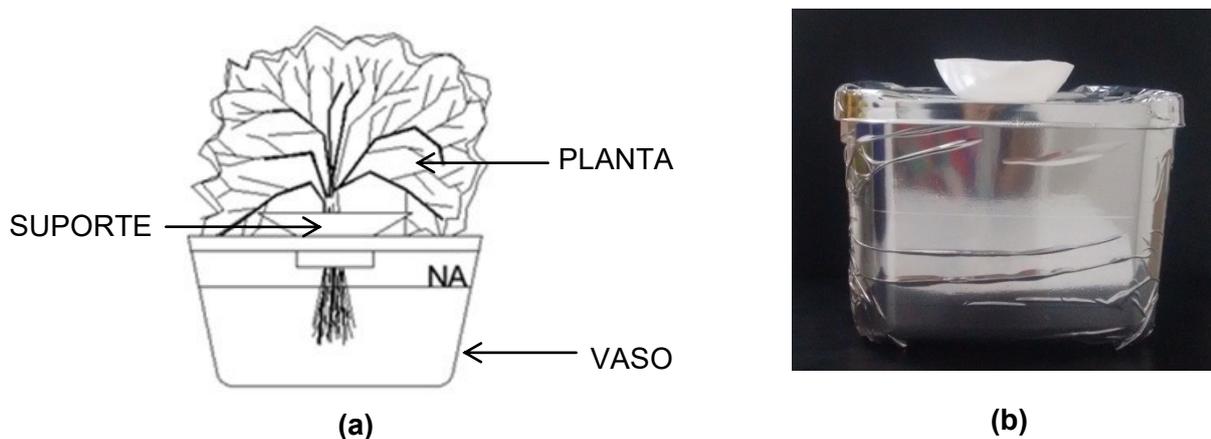
O experimento foi realizado nos meses de abril a maio, na estação seca, a qual compreende os meses de novembro a maio. As temperaturas médias mínimas e máximas registradas na região na qual se localizava o experimento, durante o período de estudo, foram 20 e 24 °C, respectivamente, e a umidade local permaneceu na faixa de 83% a 91%.



**Figura 3.2-** Estação experimental de reúso hidropônico.

Em cada vaso hidropônico do sistema mini floating foi cultivada um muda de alface. As mudas foram dispostas em um meio suporte (funil) e este foi acoplado à tampa do vaso. Os meios suportes das plantas foram utilizados com a finalidade de permitir que apenas as raízes das plantas permanecessem em contato com a solução nutritiva (Figura 3.3a).

Os vasos foram cobertos por uma fita adesiva de alumínio, cujo objetivo era proteger a solução nutritiva da ação de raios solares, os quais poderiam aumentar a temperatura da solução nutritiva e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento das plantas, do possível crescimento de fungos e, também, ajudar a repelir os insetos(Figura 3.3b)



**Figura 3.3.** Estrutura dos vasos hidropônicos. (a) Esquema de alocação das mudas; (b) vaso preparado para receber as mudas.

Neste experimento foi utilizada a variedade de Alface Lisa. As mudas de alface foram adquiridas na zona rural de Caruaru, Distrito de Murici. Essas mudas foram cultivadas em hortas caseiras, sem qualquer forma de adubação mineral. O tempo de cultivo da variedade estudada é de 70 a 80 dias, em sistema hidropônico (EMBRAPA, 2009). No ato do transplante para os vasos hidropônicos, as mudas possuíam aproximadamente 15 dias de cultivo.

Uma quantidade de aproximadamente 2 L de solução hidropônica foi colocada em cada vaso; em seguida, esses vasos foram tampados e os suportes com as mudas foram encaixados nas tampas dos vasos, tomando-se o cuidado de introduzir apenas as raízes das plantas na solução nutritiva. O tempo de cultivo do experimento foi de 48 dias, durante o qual, os níveis das soluções nutritivas foram monitoradas, a fim de constatar se havia ou não a necessidade de reposição do nível de lâmina líquida.

### **3.2 Tratamentos estudados**

Neste experimento, as plantas foram fertirrigadas com 5 tipos de soluções hidropônicas, caracterizando 5 tratamentos, os quais estão descritos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Tratamentos aplicados ao experimento.

Tratamentos	Descrição da solução hidropônica
-------------	----------------------------------

T1	Água de abastecimento
T2	100% do efluente tratado
T3	50% do efluente tratado
T4	75% do efluente tratado
T5	Solução nutritiva (controle)

**Fonte:** Autor (2016)

Nos tratamentos T3 e T4 os efluentes tratados foram diluídos com água de abastecimento nas proporções de 50:50 (efluente tratado:água, v/v) e 75:25 (efluente tratado:água, v/v). A composição da solução nutritiva utilizada no tratamento controle encontra-se descrita na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 – Composição da solução nutritiva comercial**

Composto	Concentração
HidrogoodFert Ferro (Nacional)	Ferro quelatizado com EDDHA 6% Fórmula molecular do EDDHA: $C_{18}H_{16}N_2O_6FeNa$
Nitrato de Cálcio	140 g N kg <sup>-1</sup> 280 g Ca kg <sup>-1</sup>

**Fonte:** www.hidrogood.com.br; *Frizzone e Botrel, 1994; Vitti et al. 1994*

O efluente tratado utilizado neste experimento foi gerado por um reator do tipo UASB, operando em escala de laboratório para tratar um esgoto sintético acrescido de papel higiênico. O fluxo de esgotos no reator era mantido por bombeamento, para permitir sua alimentação contínua. O tempo de detenção hidráulica (TDH) do sistema era de 24 h e o volume útil do reator era 8L (Figura 3.4). A composição química do efluente tratado está descrita na Tabela 3.3.



**Figura 3.4:** Reator tipo UASB, em escala de laboratório.

**Tabela 3.3 -** Composição química do esgoto sintético.

Compostos	Concentrações
Óleo	0,0510ml
Detergente	0,1140g
NaHCO <sub>3</sub>	0,2000g
Extrato de carne	0,2080 g
Amido	0,0133g
Sacarose	0,0525g
Celulose	0,0340g
Solução de sais	5,0000ml
NaCl	0,2500g
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,0070g
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,0045g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,0264g

Fonte: Gomes (2016)

### **3.3 Monitoramento das soluções hidropônicas**

As soluções hidropônicas utilizadas neste experimento foram caracterizadas no início do experimento (dia “0”, primeira alimentação dos vasos hidropônicos) e ao final do experimento (aos 48 dias), para fins de monitoramento de suas características físico-químicas. Os parâmetros de caracterização foram: pH, salinidade, condutividade elétrica, DQOs (bruta e filtrada), N-NTK e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), este localizado no Centro Acadêmico do Agreste da

Universidade Federal de Pernambuco, de acordo com os métodos descritos no Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1999).

### **3.4 Análise da planta**

A preparação das amostras e as análises químicas em tecido vegetal foram realizadas conforme os métodos descritos no Manual de Análises de Solos, Plantas e outros Materiais (TEDESCO, 1995). Todos os procedimentos laboratoriais serão realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), do Centro Acadêmico do Agreste.

Para a análise foliar, foram coletadas folhas verdes e sem indícios de deterioração, aos 48 dias do experimento. As folhas recém coletadas foram lavadas com água de abastecimento e, em seguida, enxaguadas com água destilada. Após as lavagens, as folhas foram colocadas em sacos de papel (Figura 3.5) e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 60°C, até peso constante. Em seguida, para a extração de  $\text{NH}_4^+$  e  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ , as folhas secas foram maceradas, pesadas e reservadas em béquer. A cada amostra macerada foram adicionados 5mL de KCl 2M, Após a adição do KCl, as amostras foram submetidas a um processo de agitação, por 30 minutos, em equipamento de agitação magnética, seguido por mais 30 minutos de decantação. Depois destes procedimentos, as amostras foram filtradas em papel qualitativo (marca Sartorius Stedim, com 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade) e dispostas em tubos Kjeldahl, para a determinação de  $\text{NH}_4^+$ ,  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ , em equipamento de destilação Kjeldahl, segunda o método descrito em Tedesco (2005).



**Figura 3.5** – Preparação do armazenamento das folhas para secagem em estufa.

As quantidades de  $(NO_3^- + NO_2^-)$  e  $NH_4^+$  presentes em tecido foliar foram obtidas com o auxílio das Equações 1 e 2.

**Equação 1.** Quantidade de  $(NO_3^- + NO_2^-)$ .

$$NO_3^- + NO_2^- (\text{mg. kg}^{-1}) = \frac{V_A \times 70 \times 25}{M_A} \quad \text{Eq. 01}$$

Em que:  $V_A$  é o volume de  $H_2SO_4$  (0,0025M) gasto na amostra e  $M_A$  é a massa da amostra do tecido foliar.

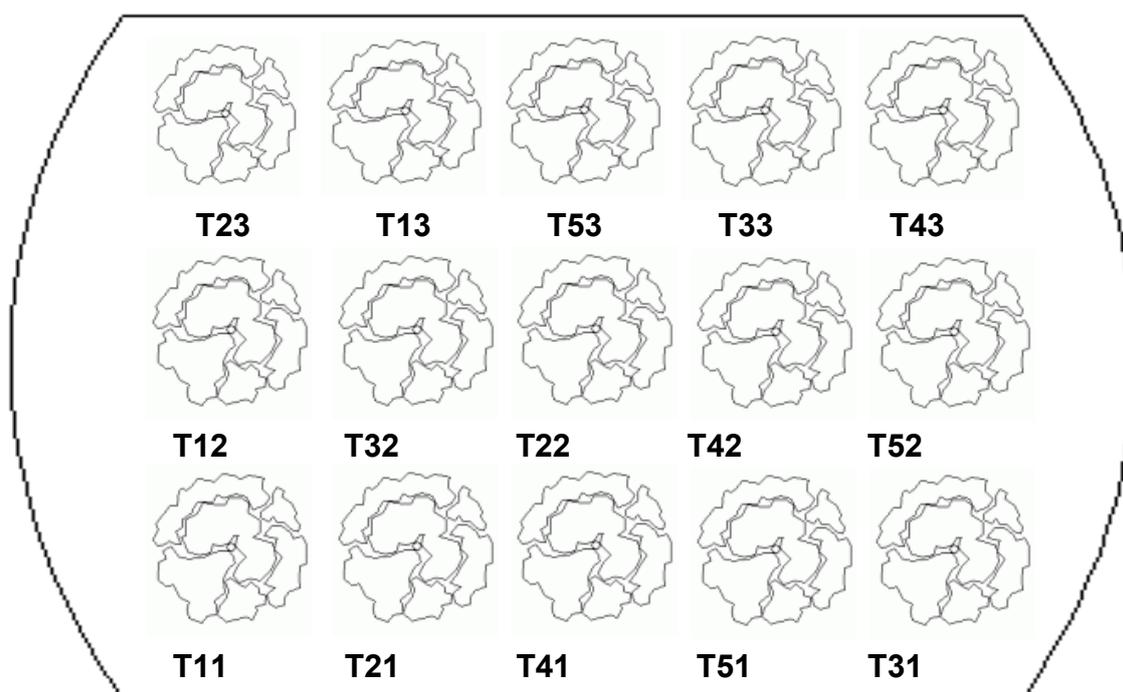
**Equação 2.** Quantidade de  $NH_4^+$ .

$$NH_4^+ (\text{mg. kg}^{-1}) = \frac{V_B \times 70 \times 25}{M_B} \quad \text{Eq. 02}$$

Em que:  $V_B$  é o volume de  $H_2SO_4$  (0,0025 M) gasto na amostra e  $M_B$  é a massa da amostra do tecido foliar.

### 3.5 Estatística experimental

O delineamento experimental utilizado foi o Inteiramente Casualizado, com 5 tratamentos e 3 repetições, isto porque a variação do material estudado é relativamente pequena e a perda de unidades experimentais não ocasionará dificuldades à análise (SANTOS et al., 2008). Os tratamentos foram distribuídos de forma aleatória na estação experimental (Figura 3.6).



**Figura 3.6** - Distribuição dos tratamentos na estação experimental

Para avaliar estatisticamente os parâmetros estudados, foram realizados a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de hipóteses, a fim de detectar diferenças significativas entre os tratamentos, através do Teste Tukey, a 5% de probabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização inicial da solução nutritiva de abastecimento

Os resultados das caracterizações químicas inicial (0 dia de experimento), das soluções hidropônicas estão descritos na Tabela 4.1

**Tabela 4.1** - Caracterização inicial das soluções nutritivas de abastecimento (0 dia de experimento)

Tratamentos	pH	CE* ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Salinidade	DQObruta ( $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ )	DQOfiltrada ( $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ )	N- NTK ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	N- amoniacal ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
T1	7,2	690	0,5	-	-	5,1	2,1
T2	7,1	1423	0,5	104,8	34,2	34,7	25,9
T3	7,4	987	0,4	51,7	18,7	11,5	6,5
T4	7,2	1327	0,4	92,4	32,8	21,6	13,7
T5	7,2	2900	1,9	-	-	52,7	44,6

Legenda: \* Condutividade Elétrica.

Fonte: Autor (2016)

Os resultados mostraram que os pHs das soluções hidropônicas se encontram entre 7,1 e 7,4 (Tabela 4.1), dentro da faixa recomendada por Furlani (1999), cujo autor relata que a solução nutritiva para alface hidropônica precisa apresentar variações de pH na faixa de 4,5 a 7,5, fazendo com que não sejam observados problemas no crescimento das plantas de alface.

Com relação à condutividade elétrica, segundo Martinez *et al.* (2010), valores de condutividade elétrica (CE) acima de  $2600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  favorecem o desenvolvimento da alface hidropônica, resultando em maiores valores de peso por planta. Neste experimento, apenas o valor de CE registrado no tratamento controle ( $2900 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em T5, solução comercial de nutrientes) permaneceu acima do valor recomendado pelo autor (Tabela 4.1).

Dias *et al.* (2011) constaram que uma salinidade superior a 2,3 ppm dificulta a produção de folhas nas plantas de alface hidropônico. Com relação à

salinidade, os valores observados em todos os tratamentos estudados permaneceram abaixo do limite recomendado, não sendo considerados prejudiciais ao desenvolvimento da cultura estudada (Tabela 4.1).

O nitrogênio é considerado um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento de vegetais. Os valores recomendados de concentrações de nitrogênio orgânico em solução nutritiva para o cultivo da alface hidropônica devem-se encontrar na faixa de 100 mg.L<sup>-1</sup> a 300 mg.L<sup>-1</sup> (FERREIRA, 2002). Neste experimento, a maior concentração de N-NTK registrada foi 52,7 mg.L<sup>-1</sup>, abaixo do menor limite recomendado. No entanto, no decorrer do experimento pode-se observar. Segundo Ayres e Westcot (1991), com exceção das hortaliças, a grande maioria das culturas é capaz de se devolver com concentrações de nitrogênio inferiores a 30 mg.L<sup>-1</sup>.

#### 4.2 Caracterização final da solução nutritiva de abastecimento

Os resultados das caracterizações químicas finais (48 dias de experimento) das soluções hidropônicas estão descritos na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** - Caracterização final das soluções hidropônicas (48 dias de experimento)

Trat.	Est.	pH	CE* ( $\mu$ S/cm)	Salinidade	DQObruta (mgO <sub>2</sub> /L)	DQOfiltrada (mgO <sub>2</sub> /L)	N- NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	N- amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )
T1	<b>Média</b>	<b>7,2</b>	<b>551,7</b>	<b>0,1</b>	-	-	<b>2,4</b>	<b>0,6</b>
	<i>DesPad</i>	0,1	110,8	0,1	-	-	0,4	0,4
	CV(%)	1,4	20,1	100	-	-	16,0	60,1
T2	<b>Média</b>	<b>7,4</b>	<b>1406,5</b>	<b>0,6</b>	<b>44,2</b>	-	<b>3,7</b>	<b>0,6</b>
	<i>DesPad</i>	0,2	50,5	0,1	4,5	-	0,2	0,6
	CV(%)	2,7	3,6	17	10	-	5,4	100,0
T3	<b>Média</b>	<b>7,4</b>	<b>421,0</b>	<b>0,1</b>	<b>18,2</b>	-	<b>2,5</b>	<b>1,4</b>
	<i>DesPad</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0
	CV(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0
T4	<b>Média</b>	<b>7,2</b>	<b>634,0</b>	<b>0,0</b>	<b>31,5</b>	-	<b>2,5</b>	<b>1,2</b>
	<i>DesPad</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0
	CV(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,0
T5	<b>Média</b>	<b>6,2</b>	<b>2700</b>	<b>1,5</b>	<b>0,0</b>	-	<b>15,0</b>	<b>14,9</b>
	<i>DesPad</i>	0,5	0,3	0,1	-	-	8,4	3,2
	CV(%)	8,1	0,01	6	-	-	55,9	21,2

Legenda: \* Condutividade Elétrica.

Fonte: Autor (2016)

Os resultados mostraram que os pHs das soluções hidropônicas se encontram entre 6,2 e 7,4 (Tabela 4.2), continuando dentro da faixa recomendada por Furlani (1999), cujo autor relata que a solução nutritiva para alface hidropônica precisa apresentar variações de pH na faixa de 4,5 a 7,5, para que não sejam observados problemas no crescimento das plantas de alface. De acordo com esses resultados o pH das soluções hidropônicas chegou ao final do experimento colaborando com o desenvolvimento da planta. Os valores médios de pH encontrado foi de 7,4 para o tratamento T2 e 6,2 para o tratamento controle T5, respectivamente.

A condutividade elétrica (CE) encontrada nas soluções hidropônicas (Tabela 4.2), quando comparada com os valores da caracterização inicial (Tabela 4.1), observa-se que para todos os tratamentos os valores de CE foi reduzido, apresentando o tratamento T4 a maior redução ( $693,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), e o tratamento controle ( $2700 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em T5, solução comercial de nutrientes), de maneira semelhante a caracterização inicial, apresentou o maior valor de CE na solução hidropônica.

Do mesmo modo a salinidade e a DQO (bruta e filtrada), tiveram redução significativa para todos os tratamentos estudados. Destacando o fato de que a quantidade de DQO (matéria orgânica) encontrada nos tratamentos T2, T3 e T4, que utilizaram soluções hidropônicas com efluente tratado, foi nula para a DQO filtrada (Tabela 4.2).

Os níveis de nitrogênio (N-NTK e  $\text{NH}_4^+$ ) encontrados nas soluções hidropônicas de todos os tratamentos analisados (Tabela 4.2) foram bem baixos quando comparados com as concentrações iniciais das soluções hidropônicas de abastecimento (Tabela 4.1). Na caracterização final do experimento p tratamento controle T5 (solução nutritiva comercial) estando com as maiores concentrações de nitrogênio em solução hidropônica, apresentando  $14,9 \text{ mg}(\text{NH}_4^+)\cdot\text{L}^{-1}$  e  $15,0 \text{ mg}(\text{N-NTK})\cdot\text{L}^{-1}$  e o tratamento T1 (água de abastecimento) estando com as menores concentrações de nitrogênio, apresentando  $0,6 \text{ mg}(\text{NH}_4^+)\cdot\text{L}^{-1}$  e  $2,4 \text{ mg}(\text{N-NTK})\cdot\text{L}^{-1}$ . Estes resultados mostraram que as plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico do tipo mini floating conseguiram absorver grande quantidade de nitrogênio para seu desenvolvimento.

Com os resultados da caracterização final das soluções hidropônicas foi possível obter a quantidade de nutrientes absorvidos por cada tratamento, os resultados se encontram na tabela 4.3.

**Tabela 4.3**– Absorção de matéria orgânica e de nitrogênio pelas plantas ao final do experimento (48 dias de experimento).

Trat.	Est.	DQO bruta		DQO filtrada		N- NTK		N- amoniacal	
		DQO <sub>rem</sub> (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Remoção (%)	DQO <sub>rem</sub> (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Remoção (%)	NTK <sub>Abs</sub> (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Absorção (%)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Abs (mgO <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Absorção (%)
T1	Média	-	-	-	-	<b>2,8</b>	<b>54</b>	<b>1,4</b>	<b>70</b>
	DesPad	-	-	-	-	0,4	7,4	0,4	17,8
	CV(%)	-	-	-	-	14	14	25	25
T2	Média	<b>60,6</b>	<b>58</b>	<b>34,7</b>	<b>100</b>	<b>32,6</b>	<b>94</b>	<b>22,8</b>	<b>88</b>
	DesPad	4,5	4,2	0,0	0,0	1,1	3,0	0,2	0,8
	CV(%)	7	7	0,0	0,0	3	3	1	1
T3	Média	<b>33,5</b>	<b>65</b>	<b>18,7</b>	<b>100</b>	<b>9,1</b>	<b>79</b>	<b>5,1</b>	<b>79</b>
	DesPad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CV(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T4	Média	<b>60,8</b>	<b>66</b>	<b>32,8</b>	<b>100</b>	<b>19,2</b>	<b>89</b>	<b>12,5</b>	<b>91</b>
	DesPad	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	CV(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T5	Média	-	-	-	-	<b>37,7</b>	<b>72</b>	<b>29,6</b>	<b>67</b>
	DesPad	-	-	-	-	8,4	15,9	3,2	7,1
	CV(%)	-	-	-	-	22	22	11	11

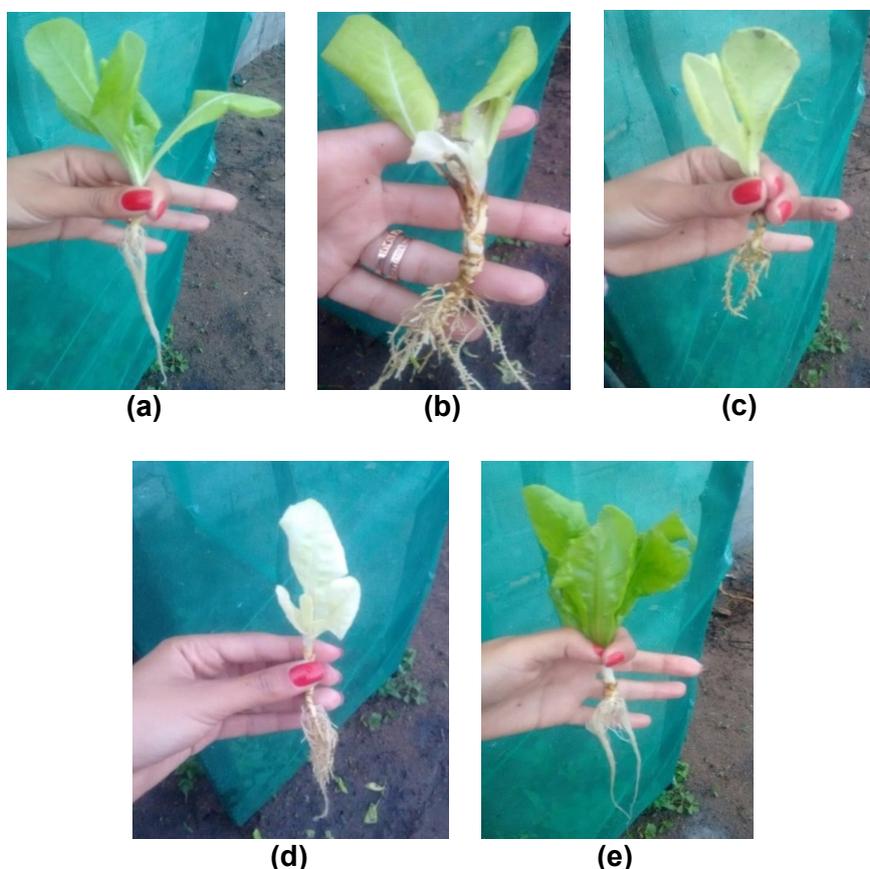
Fonte: Autor (2016)

De acordo com os resultados encontrados, pode-se observar que a remoção de DQO bruta foi superior a 50% em todos os tratamentos abastecidos pelo efluente tratado, com o tratamento T3 alcançando 65% de remoção (Tabela 4.3). Em relação à remoção de DQO filtrada, em todos os tratamentos abastecidos pelo efluente tratado observou-se uma remoção de 100% (tratamentos T2, T3 e T4). Estes resultados estão de acordo com Gomes Filho *et al* (2001), que constataram uma eficiência de remoção de DQO de 57% a 74%, em sistema hidropônico abastecido com águas residuárias, utilizado no cultivo de aveia forrageira.

Em cultivos hidropônicos, a absorção de nutrientes geralmente é proporcional à concentração desses na lâmina da solução nutritiva que fica em

contato direto com as raízes, sendo muito influenciada por diversos fatores, como a salinidade, a temperatura e o pH da solução nutritiva, além da temperatura e umidade do ar (ADAMS, 1994).

As plantas submetidas aos tratamentos T1, T2 e T4, apresentaram porcentagens de absorção de  $\text{NH}_4^+$  superiores às porcentagens de absorção de N-NTK (Tabela 4.3). Os tratamentos T1 (absorções de 70% e 54% para  $\text{NH}_4^+$  e N-NTK, respectivamente), T2 (absorções de 88% e 94% para  $\text{NH}_4^+$  e N-NTK, respectivamente), T3 (absorções de 79% e 79% para  $\text{NH}_4^+$  e N-NTK, respectivamente) e T4 (absorções de 91% e 89% para  $\text{NH}_4^+$  e N-NTK, respectivamente) apresentaram parcelas com deficiências, como folhas amareladas e baixa produtividade, aos 26 dias de experimento. Por outro lado, o tratamento controle (T5) apresentou um quadro diferente de absorção de nitrogênio, com 67% para  $\text{NH}_4^+$  e 72% para N-NTK, e melhores desenvolvimentos das plantas, no mesmo período (Figuras 4.1a, b, c, d e e).



**Figura 4.1**– Exemplos das plantas submetidas aos tratamentos, aos 26 dias de experimento. (a) Tratamento T1, (b) Tratamento T2, (c) Tratamento T3, (d) Tratamento T4, (e) Tratamento T5.

Além das características deficitárias citadas anteriormente, as parcelas dos tratamentos T2 (Figura 4.1b), T3 (Figura 4.1c) e T4 (Figura 4.1d) também apresentaram raízes mais curtas e grossas, quando comparadas às aparências das raízes das parcelas dos tratamentos T1 e T5, o que dificultou o desenvolvimento das parcelas, fazendo com que as mesmas não respondessem muito bem aos tratamentos, e fossem perdidas posteriormente.

O nitrogênio é o nutriente mineral absorvido em maiores quantidades pela maioria das culturas agrícolas. O  $\text{NH}_4^+$  é rapidamente convertido em  $\text{NO}_3^-$  pelo processo de nitrificação ocorrido nas raízes das plantas. No entanto, ambas as formas podem ser absorvidas e utilizadas pelas plantas, porém a alface absorve mais o  $\text{NO}_3^-$  que o  $\text{NH}_4^+$ .

O processo de oxidação do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  ocorre rapidamente, em condições naturais, no solo por bactérias nitrificantes, na presença de oxigênio. Em solos alagados, o ambiente anaeróbio e quimicamente reduzido favorece a formação do íon amônio, fazendo com que essa forma de N seja a mais absorvida pelas plantas; isto porque nesses ambientes, a disponibilidade do  $\text{NO}_3^-$  é reduzida, pois o  $\text{NO}_3^-$  é rapidamente reduzido a formas menos oxidadas ou voláteis ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{N}_2$ ) nas zonas anaeróbias dos solos alagados (PONNAMPERUMA, 1972).

Na maioria dos sistemas hidropônicos utilizados para o cultivo da alface hidropônica (NFT System, por exemplo), há um mecanismo de recirculação da solução nutritiva, favorecendo o incremento de oxigênio ao meio líquido através de sua mistura, o que facilita a oxidação do  $\text{NH}_4^+$  e a liberação do  $\text{NO}_3^-$  para ser assimilado pelas plantas. No entanto, como no sistema Mini-Floating utilizado neste experimento não teve nenhum tipo de sistema de bombeamento e recirculação do líquido, possivelmente a oxidação do íon  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  não foi eficiente, fazendo com que as plantas absorvessem mais o íon  $\text{NH}_4^+$ , o qual em grandes concentrações pode causar toxicidade às plantas, e em casos severos, a perda da cultura agrícola.

A ocorrência de maior porcentagem de absorção de  $\text{NH}_4^+$  pela alface prejudicou o desenvolvimento das plantas (Figura 4.1), e isto pode estar relacionado a diferenças na absorção, assimilação e translocação do nitrato, já que o nitrato é a principal fórmula de assimilação nitrogênio pela planta (MAYNARD *et al.*, 1976).

O íon  $\text{NH}_4^+$ , também é assimilável pelas plantas, sendo este encontrado em águas residuais ou aplicados pelos fertilizantes, que, em concentrações altas, podem ser benéficos durante as primeiras fases e prejudiciais durante a floração e frutificação das culturas, causando diminuição nos rendimentos, sendo uma medida útil à mistura ou mudança de água. No entanto, em plantas folhosas, como a alface, o repolho, por exemplo, o nitrogênio é benéfico, devendo ser tomadas precauções somente quando ocorrer indícios de toxidez às plantas. (KARAM *et al.* 2002)

Um efeito associado à redução do crescimento da parte aérea de algumas plantas não tolerantes ao íon  $\text{NH}_4^+$  é a entrada excessiva desse íon nas células das raízes, que ocorre por transportadores de baixa afinidade e ocupa canais de outros cátions, provocando um fluxo do íon  $\text{NH}_4^+$  para fora das células, o que resulta em um elevado gasto energético necessário para bombear o excesso do íon  $\text{NH}_4^+$  para fora das células. O elevado consumo de ATP resulta no aumento da respiração nas raízes, retardando seu crescimento.

Segundo Silva *et al.* (2010), a aplicação de uma solução nutritiva contendo uma proporção de 100:0 de íon  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , respectivamente, no cultivo do Girassol reduziu os comprimento e volume dos sistemas radiculares das plantas. Os autores associaram esses resultados à menor atividade fotossintética, provocada pela ação negativa do íon  $\text{NH}_4^+$  sobre a condutância estomática na planta; uma vez que esta pode ter afetado a abertura e o fechamento estomáticos das plantas, interferindo na transpiração e fotossíntese e comprometendo o crescimento das plantas.

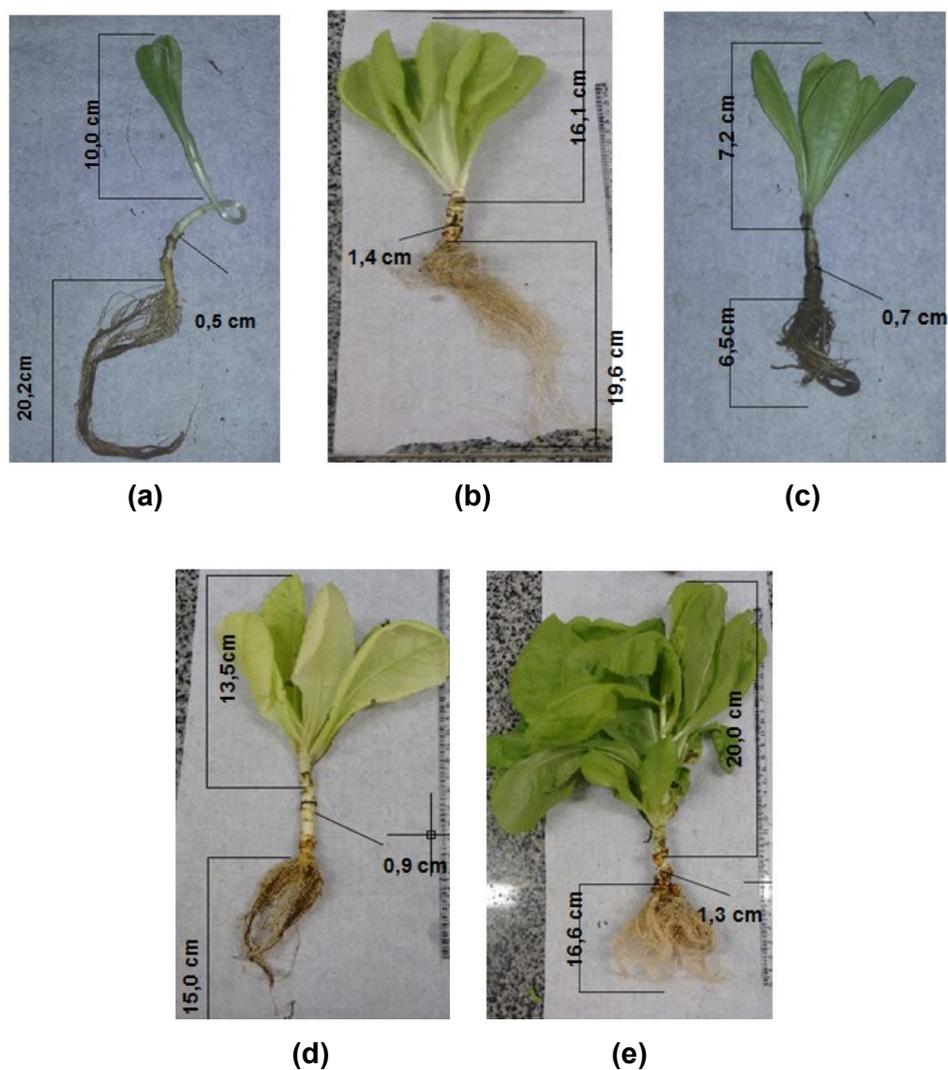
Ao final do experimento (48 dias), os tratamentos T1, T3 e T4, mesmo com valores altos de absorção das formas nitrogenadas, apresentaram algumas plantas que não se desenvolveram bem. Como o tempo de colheita pode ser reduzido em sistemas hidropônicos, o período de 48 dias deve ter sido demasiado para a colheita da alface, fazendo com que as plantas respondessem negativamente aos tratamentos.

Com relação ao tratamento T1, embora não havendo registros de parcelas pedidas, a qualidade das plantas não foi considerada boa. As folhas das plantas não cresceram satisfatoriamente e apresentaram coloração amarelada, o que indica sintomas de clorose, doença causada pela deficiência de nitrogênio nas plantas. O não desenvolvimento geral das plantas submetidas

ao tratamento T1 também podem estar associados aos baixos níveis de condutividade elétrica encontrados na água de abastecimento utilizada como solução nutritiva de abastecimento, com valor  $690,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

É possível concluir que a maior porcentagem absorção do íon  $\text{NH}_4^+$  pelas plantas dificultou o desenvolvimento das mesmas, uma vez que as plantas submetidas aos tratamentos T2 e T5, que tiveram maior porcentagem de absorção do N-NTK, apresentaram melhores desenvolvimento e produtividade, assim como um maior número de folhas, estas com tamanho significativo e colorações bem esverdeadas, já que a retirada do nitrogênio orgânico do sistema hidropônico através da assimilação pelas plantas está diretamente relacionada à produtividade e desenvolvimento das mesmas. (MELO, 1999)

As amostras das plantas submetidas aos tratamentos estudados, coletadas ao final aos 48 dias de experimento são mostradas na Figura 4.2, assim como as medidas dos tamanhos das folhas e das raízes, e os diâmetros dos caules.



**Figura 4.2** - Plantas aos 48 dias de experimento – (a) Tratamento T1, (b) Tratamento T2, (c) Tratamento T3, (d) Tratamento 4, (e) Tratamento T5.

### 4.3 Caracterização da planta

Ao final do experimento as plantas de alface foram submetidas à análise dos seguintes parâmetros: comprimentos das folhas e das raízes, peso da massa foliar seca, produtividade e presença de  $\text{NH}_4^+$ ,  $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$  em tecido foliar. Os resultados estão descritos na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4** - Parâmetros analisados nas plantas ao final do experimento (48 dias) ( $p > 0,05$ ).

Trat.	Peso (g)	D. do caule (cm)	Comp. das Raízes (cm)	Comp. das folhas (cm)	Prod. (nºfolhas.planta <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )
T1	0,10 c	0,47 b	20,90 ab	8,60 bc	3 c	0,48	0,20 cd
T2	0,48 bc	0,67 b	10,80 c	10,13 bc	6 bc	0,26	0,41 bc
T3	0,06 c	0,23 b	2,17 c	2,40 c	2 c	0,17	0,06 d
T4	0,14 c	0,30 b	5,00 c	4,50 c	2 c	0,17	0,08 cd
T5	1,05 ab	1,77 a	12,93 bc	18,17 ab	15 ab	0,36	0,88 a
DMS	0,48	0,99	13,47	12,05	8	-	0,37
CV%	63	69	63	44	71	-	55
DesvPad	0,23	0,48	6,48	3,87	3,78	-	0,18

Fonte: Autor (2016)

Os tratamentos T1, T3 e T4, onde as concentrações médias de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram m iguais a 0,48 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup>, 0,17 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup> e 0,17 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, não obtiveram bons resultados quanto ao peso da massa foliar seca, tamanho da folha e número de folhas por planta, apresentando para estes parâmetros os seguintes resultados: 0,10 g, 8,6 cm e 3 folhas por planta, em T1; 0,06 g, 2,4 cm e 2 folhas por planta, em T3; 0,14 g, 4,5 cm e 2 folhas por planta, em T4.

Isto pode ser associado ao fato que essas concentrações de amônia são tóxicas às plantas. O excesso de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no tecido vegetal dissipa o gradiente de prótons entre as membranas das células; este gradiente é necessário para os processos de fotossíntese e respiração, além de ser importante na transpiração e acúmulo de metabólitos para o vacúolo, (FERREIRA, 2002).

A respeito dos tratamentos T2 e T5, os quais apresentaram concentrações de 0,26 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup> e 0,36 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, ambos tiveram melhores resultados quanto ao peso da massa foliar seca, tamanho da folha e número de folhas por planta, tendo como resultados: 0,48g, 10,13 cm e 6 folhas por planta, em T2, e 1,05 g, 18,17 cm e 15 folhas por planta, em T5, .

As concentrações de ( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ) nos tratamentos foram proporcionais ao desenvolvimento e produtividade das plantas, as maiores concentrações foram encontradas nos tratamentos em que suas plantas apresentaram melhor desenvolvimento. Os tratamentos T2 e T5 apresentaram  $0,41 \text{ g } (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) \cdot \text{kg}^{-1}$  e  $0,88 \text{ g } (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectivamente, sendo esses os tratamentos que mais se desenvolveram no experimento. Por outro lado, os tratamentos T1, T3 e T4 que registraram, respectivamente,  $0,20 \text{ g } (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0,06 \text{ g } (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) \cdot \text{kg}^{-1}$  e  $0,08 \text{ g } (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) \cdot \text{kg}^{-1}$ , não apresentassem bons desenvolvimento e produtividade.

Os teores de ( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ) encontrados nos tecidos foliares das plantas estudadas estão abaixo do permitido pela legislação internacional, que permite até  $4,50 \text{ g}$  de nitrato em tecido foliar por planta de alface. Os níveis de nitrato considerados aceitáveis para o consumo humano variam com a época do ano e não são estipulados nas leis brasileiras, sendo, portanto, adotados índices europeus no Brasil.

De acordo com a norma europeia Nº 1881/2006 - ACT, os limites requeridos para o teor de nitrato na matéria fresca dos vegetais são: em cultivos de inverno,  $4,50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  para alface cultivada em ambiente protegido e  $4,00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  para alface para as cultivadas a campo; para cultivos de verão, o limite para nitrato cultivados em ambiente protegido é de  $3,50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . (COMMISSION REGULATION - EC, 2016).

Ao analisar o tratamento estatístico aplicado aos resultados (Tabela 4.4), verifica-se que apenas as concentrações do íon  $\text{NH}_4^+$  presente nas folhas de alface não foram significativamente diferentes entre os resultados, ao nível de 5% de significância. Com relação a esse parâmetro, o tratamento T1 registrou a maior concentração do íon  $\text{NH}_4^+$ ,  $0,48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Nas demais características analisadas, todos os resultados apresentaram diferença significativa, ao nível de 5%.

O número de folhas por planta apresentou diferenças significativas, com o tratamento controle T5 obtendo 15 folhas por planta, estando próximo aos valores encontrados por Furtado (2008), que apresentou 22 folhas por planta de alface cultivada em sistema hidropônico.

Os resultados apresentados na Tabela 4.4 permitem verificar que ocorreram diferenças significativas entre o tratamento T5 e os demais

tratamentos (T1, T2, T3 e T4), ao nível de 5% da margem de erros para os teores de ( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ) em tecido foliar. Com relação ao tratamento T2, o qual registrou o segundo maior teor de ( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ),  $0,41 \text{ g } (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) \cdot \text{kg}^{-1}$ , apenas não foi significativamente diferente do tratamento T3, o qual registrou o menor teor entre os tratamentos estudados:  $0,06 (\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-) \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Esses resultados mostram que, nos cinco tratamentos, os teores de nitrato podem estar bem abaixo do padrão estabelecido pela legislação europeia, que vai de 3,50 a  $4,50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (FAQUIN & ANDRADE, 2004), uma vez que os teores de ( $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ) se apresentaram muito baixas. No entanto, Furlani *et al.* (1997), estudando o teor de nitrato em vegetais comercializados na Itália, encontraram em alface uma variação de 0,01 e  $3,68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Nos estudos realizados por Fytianos & Zarogiannis (1999), a variação foi de 0,08 e  $0,81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  e Escoín-Peña *et al.* (1998) encontraram teores de nitrato entre 0,10 e  $1,24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

De acordo com os parâmetros analisados, quando comparado com o tratamento controle (T5), este que apresentou os melhores resultados para o desenvolvimento da planta, o tratamento T2, cuja solução hidropônica utilizada foi o efluente sem diluição, apresentou maiores semelhanças nos resultados obtidos, não havendo diferença significativa, ao nível de 5% nas características de peso, comprimento das raízes, comprimento das folhas, número de folhas por planta e na presença quantidade do íon  $\text{NH}_4^+$  nas folhas de alface. Constatando a eficácia do efluente tratado sem diluição como solução nutritiva no cultivo de alface hidropônico.

## 5 CONCLUSÕES

Diante da análise das soluções nutritivas para abastecimento do sistema hidropônico, pôde-se concluir que o balanceamento da solução nutritiva é de extrema importância, já que no tratamento abastecido com água de abastecimento, a condutividade elétrica obtida encontrou-se muito abaixo do recomendado, influenciando no resultado final do desenvolvimento das plantas. As plantas submetidas a este tratamento apresentaram, poucas folhas e ao mesmo tempo pequenas e amareladas.

Em relação à absorção de nitrogênio das soluções nutritivas, pelos tratamentos analisados, os resultados mostraram que os tratamentos com porcentagens de absorção de nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) maiores que as porcentagens de absorção de nitrogênio total (N-NTK) não apresentaram um desenvolvimento satisfatório, sendo atribuído ao fato de que o nitrogênio orgânico (N-NTK -  $\text{NH}_4^+$ ) é responsável direto na produtividade e desenvolvimento das plantas.

Os resultados permitem comprovar o potencial dos efluentes tratados como solução nutritiva hidropônica, com o efluente não diluído, tratamento T2, apresentou resultados satisfatórios tanto para o desenvolvimento e produtividade das plantas, como para os teores de N em tecido foliar, estando atrás apenas do tratamento controle T5, este se destacando por apresentar os melhores resultados em todas as análises que foi submetido. Comprovando, também, que a utilização de efluente tratado na agricultura é uma importante forma de reúso para a água de abastecimento.

As concentrações superiores de  $\text{NH}_4^+.\text{kg}^{-1}$ , apresentou toxicidade as plantas de alface submetidas aos tratamentos com o efluente tratado.

## **REFERÊNCIAS**

- ADAMS, P. **Nutrition of green house vegetable in NFT and hydroponic systems**. ActaHorticulturae ,361:p 254257, 1994.
- ADDISCOTT TM; BENJAMIN N. **Nitrate and human health**. Soil and Use Manage 20: 98-104. 2004.
- ANDRADE NETO, C. O; CAMPOS, J. R; ALÉM SOBRINHO, P; CHERNICHARO, C. A. L.; NOUR, E. A. Filtros Anaeróbios. In: CAMPOS, J.R. (Org.) **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio**

- e Disposição Controlada no Solo.** Rio de Janeiro: ABES – Projeto PROSAB, 1999a. p.139-154.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29, Revisado 1)
- BASTOS, R. K. X. **Utilização agrícola de esgotos sanitários.** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 84p.
- BASTOS, R. K. X. **Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands para hidroponia.** Universidade Federal de Juiz de Fora. 2005.
- BEEKMAN, G. B. **Qualidade e conservação da água.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Brasília: Associação Brasileira de Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1996.
- BENINNI, E, R, Y; TAKAHASHI, H, W; NEVES, C, S, V, J; FONSECA, I, C, B. 2002. **Teor de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional.** Horticultura Brasileira 20: 183-186.
- BOINK A; SPEIJERS G. 2001. **Health effect of nitrates and nitrites, a review.** Acta Horticulturae 563: 29-36
- CARRASCO, G.; IZQUIERDO, J.A. **A média empresa hidropônica.** A técnica da solução nutritiva recirculante (“NFT”). Talca Chile, Universidade de Talca/FAO, 1996. 43p.
- CAVALCANTE, F. L. **Avaliação da eficiência de filtros anaeróbios na remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 92 p. 2007.
- COMETTI, N, N; MATIAS, G, C, S; ZONTA, E; MARY, W; FERNANDES, M, S. 2004. **Compostos nitrogenados e açúcares solúveis em tecidos de alface orgânica, hidropônica e convencional.** Horticultura Brasileira 22: 748-743.
- COMMISSION REGULATION (EC). **Maximum levels for certain contaminants.** ACT N° 1881/2006 of 19 December 2006. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Disponível: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32006R1881>. Acesso em: 15 ago. 2016.

- DIAS, N. S.; JALES, A. G. O.; NETO, O. N. S.; GONZAGA, M. I. S.; QUEIROZ, I. S. R.; PORTO, M. A. F. Uso de rejeito da dessalinização na solução nutritiva da alface, cultivada em fibra decoco. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.5, p.632-637, 2011
- EMBRAPA. **Doenças da alface**. Circular técnica da Embrapa hortaliças 14. 1998. 20p.
- EMBRAPA. **Doenças em cultivos hidropônicos e medidas de controle**. Comunicado técnico 107. 2015. 12p.
- EMBRAPA. **Tipos de Alface Cultivados no Brasil**. Comunicado técnico 75. 2009. 7p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de M.E.T. Nunes. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.
- ESCOÍN-PEÑA, M.C.; IBAÑEZ, M.A.C.; SANTAMARTA, A.A.; LAZARO, R.C. **Contenido de nitratos en lechugas y espinacas frescas**. Alimentaria, n. 298, p. 37-41, 1998.
- FAQUIN, V; ANDRADE, A, T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE. 2004. 88p.
- FAQUIN, V; FURTINI NETO, A; VILELE, L, A, A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA. 1996. 50p.
- FERREIRA, V.P. **Doses e parcelamento de Nitrogênio em alface**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 63p. 2002.
- FURLANI, L.; GRILLENZONI, S.; ORI, E.; RESCA, P. **Nitrate levels in vegetables that may be eaten raw**. Italian Journal of Food Science, v. 9, n. 1, p. 65-69, 1997.
- FURLANI, P.R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. Campinas: IAC, 1998. 30 p. (IAC. Boletim Técnico, 168).
- FURLANI, P.R. **Soluções Nutritivas**. Instituto Agrônomo, Centro de Solos e Recursos Agroambientais. Boletim técnico informativo do Instituto Agrônomo. 2p. 1999.
- FURTADO, L. F. **Vazões de aplicação de solução nutritiva, teor de nitrato em alface sob cultivo hidropônico e aceitabilidade**

- sensorial.**Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná.77p. 2008.
- FYTIANOS, K.; ZAROGIANNIS, P. **Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetables from Greece.** Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, v. 62, n. 3, p. 187-192, 1999.
- GOMES, D. P .P. **Influência da presença do papel higiênico no tratamento de efluente doméstico em reator uasb.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. 62p. 2016.
- GOMES FILHO, R.R; MOTOS, A.T; SILVA, D.D; MARTINEZ, E.P. **Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.131-134, 2001.
- IBGE. 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?cdmun=260410>>. Acessado em: 06/12/2015.
- KATO, M. T.; ANDRADE NETO, C. O. de; CHERNICHARO, C. A. de L.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.**1. ed.Rio de Janeiro: **ABES**, 1999. cap. 3, p. 53-99
- KARAM ,F.; MOUNZER, O.; SARKIS, F.; LAHOUD, R. **Yield and nitrogen recovery of lettuce under diferente irrigation regimes.** Journal Applied Horticulture, Indiranagar, v.4, n.2, p.706, 2002
- LOPES, C, A; SILVA, J, B, C; GUEDES, I, M, R; **Doenças em Cultivos hidropônicos e medidas de controle.** Brasília: EMBRAPA, 2015. 12p. (Comunicado Técnico, 107)
- MAIA NETO, R.F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, n. 9, p. 21-32, 1997.
- MARTINEZ, H.E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa.** 2a ed. – Viçosa: UFV, 2010.
- MAYNARD, D.N; BARKER, A.V.; MINOTTI,P.L.; PECK, N.H. **Nitrate accumulation in vegetables.** Advances in Agronomy, v. 28, p. 71-118, 1976.

- MELO, J.L. S; **Avaliação da remoção de nitrogênio orgânico e amoniacal em amostras de esgoto doméstico submetido a pós-tratamento em tabuleiros irrigados** Departamento de Engenharia Química, C.T. PPGEQ, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário,
- MENDES, B.V. **Alternativas tecnológicas para a agropecuária do Semi-Árido**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1986. 171 p.
- NICHELE, J. **Utilização de efluentes sanitários tratados para suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Rio Grande do Sul. 88p. 2009.
- PONNAMPERUMA, F. N. **The chemistry of submerged soils**. Advances in Agronomy, 24:29-96, 1972.
- PÔRTO, M, L, A; ALVES, J, C; SOUZA, A, P; ARAÚJO, R, C; ARRUDA, J, A; TOMPSON JÚNIOR, U, A. 2012. **Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato na produção da alface em hidroponia**. *Horticultura Brasileira* 30: 539-543. 2012. 5p.
- SABESP. **Mercado de Reúso de Água no Brasil: É possível assegurar seu crescimento sem a definição de um arcabouço normativo e legal**. Disponível em: Revista DAE, #188. 2012. 60p
- SCOTT, C. A.; FARUQUI, N.I.; RASCHID-SALLY, L. **Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the live lihoodand environmental realities**. 1 ed. London: InternationalWater Management Institute, 2004. 193p.
- SILVA FILHO, E. J. **Reúso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para a cultura de melancia no semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. 108f. 2013.
- SILVA, K. K.B.**Efeitos da irrigação com esgoto tratado sobre o sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco. 88p. 2009.

- SILVA, P. C. C; COUTO, J.L; SANTOS, A. R. **Efeito dos íons amônio e nitrato no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva.** Revista da FZVA. Uruguiana, v.17, n.1, p. 104-114. 2010
- SNIS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Estudo Trata Brasil “Ranking do Saneamento – 2015.* Disponível: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>. Acessado: 15 ago 2016.
- SOARES, T, M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. 269p. 2007
- SUDENE 2010. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/area-de-atuacao-da-sudene/semiarido>>. Acesso em: 06/12/2015
- TAKAHASHI HW; HIDALGO PC; FADELLI L; CUNHA MET. **Composição e manejo da solução nutritiva visando à diminuição do teor de nitrato nas folhas de alface hidropônica.** *Horticultura Brasileira* 25: 06-09. 2007.
- TEDESCO, M.J; GIANELLO, C; BISSANI, C.A; BOHNEN, H; VOLKWEISS, S.J; **Análise de solo, planta e outro materiais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995. 65p. (Boletim Técnico nº 5, 2ª ed)
- TSUTIYA, M. T. **Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo.** In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001.
- TURAZI CMV; JUNQUEIRA AMR; OLIVEIRA AS; BORGIO LA. **Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horário de colheita e tempo de armazenamento.** *Horticultura Brasileira* 24: 65-70. 2006.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais. 243p. 1996.