



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS-CTRN
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA



PAULO TAKASHI OYAMA

DESENVOLVIMENTO DO RABANETE VERMELHO COM APLICAÇÃO DE
EFLUENTE DE ABATEDOURO DE SUÍNOS, TRATADO POR
ELETROFLOCULAÇÃO

Tese apresentada como requisito parcial
para obtenção de título de Doutor em
Engenharia Agrícola pelo programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Campina Grande.

Orientadores: Prof. Dr. José Dantas Neto
Prof^ª. Dr.^a Elizandra Sehn

MEDIANEIRA – PR
OUTUBRO, 2014.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

O98d Oyama, Paulo Takashi

Desenvolvimento do rabanete vermelho com aplicação de efluente de abatedouro de suínos, tratado por eletrofloculação. / Paulo Takashi Oyama. – 2014.

78 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: José Dantas Neto.

Co-orientadora: Elizandra Sehn.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Campina Grande - PB, 2014.

Inclui bibliografias.

1. Água - Reuso. 2. Melhoramento de cultivos agrícolas. 3. Plantas e solo. I. Dantas Neto, José, orient. II. Sehn, Elizandra, co-orient. III. Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. IV. Título.

CDD: 635

Biblioteca Câmpus Medianeira
Marci Lucia Nicodem Fischborn 9/1219



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

PAULO TAKASHI OYAMA

DESENVOLVIMENTO DO RABANETE VERMELHO COM APLICAÇÃO DE
EFFLUENTE DE ABATEDOURO DE SUÍNOS, TRATADO POR
ELETROFLOCULAÇÃO

BANCA EXAMINADORA

PARECER



Dr. José Dantas Neto
Orientador - UAEA/UEG

APROVADO



Dr. Elizandra Selim
Orientadora - UTFPR

Aprovado



Dr. Augusto Vaghetti Luchese
Examinador - UTFPR

Aprovado



Dr. Luercio Mantovani Frare
Examinador - UTFPR

APROVADO



Dr. Leandro Herculanio da Silva
Examinador - UTFPR

Aprovado



Dr. Vera Lúcia Antunes de Lima
Examinadora - UAEA/UEG

APROVADO

OUTUBRO DE 2014

Aos meus pais, Sadao (in memoriam)
e Tomi (in memoriam), e à Nilva e Paulo
Victor, esposa e filho, que sempre estiveram
ao meu lado, construindo e instruindo a cada
momento de minha vida,
A MINHA HOMENAGEM.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Deus Pai, Deus filho, e Espírito Santo, pelas graças recebidas todos os dias desta caminhada;

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo financiamento do Programa DINTER – Doutorado Interinstitucional entre a Universidade Federal de Campina Grande e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira, programa que me proporcionou a oportunidade de cursar e concluir o doutorado;

À UFCG – Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade dada para qualificação de quinze docentes do Câmpus Medianeira em nível de doutorado;

À coordenação do Programa DINTER em Medianeira, Professor Dr. Laercio Mantovani Frare, que encaminhou e resolveu os entraves burocráticos;

A direção da UTFPR câmpus Medianeira pela realização do DINTER;

Aos meus orientadores Professor Dr José Dantas Neto e Professora Dr^a Elizandra Sehn, pelas orientações, apoio e amizade;

Aos meus amigos e componentes do Núcleo de Física: Amarildo Rebelato Geittens, André Luiz Soares Varella, Carlos Alberto Coelho Jousseph, Cesar Henrique Lenzi, Daiene de Mello Schaefer, Eduardo Obadowski Ledur, Edward Kavanagh, Fábio Rogério Longen, Fabricio Tronco Dalmolin, Juracy José Lemos, Antonio Aprigio, pelo apoio e amizade;

À minha esposa e amiga Nilva Zuffo e ao meu filho Paulo Victor Zuffo Oyama pelo apoio, companheirismo e compreensão nas horas difíceis;

Ao meu amigo e colega Eduardo Eyng pelo auxílio laboratorial e pela amizade;

À minha amiga Aziza Kamal Genena pelo incentivo, apoio e amizade;

Às bolsistas Andrieli Cristina Helmann, Alessandra Algeri e Pamella Mendes Silva e à laboratorista Rute Womer e à graduanda Andressa Padilha pelo auxílio laboratorial;

Aos graduandos Adriel Barbosa de Vasconcelos, Iuri Ribeiro, Kassen Kalife Nege pelo auxílio no campo experimental e laboratorial;

Aos meus colegas de turma do DINTER pelo companheirismo nas horas difíceis e de alegria nas confraternizações;

E a todos aqueles que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a concretização desta tese, meus sinceros agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Fluxograma das etapas de tratamento de um efluente frigorífico.....	21
Figura 2.2	Reator de EF em escala de bancada com eletrodos monopolares em: (a) paralelo e, (b) série	24
Figura 2.3	Modelo esquemático de um reator eletroquímico de fluxo contínuo	25
Figura 3.1	Arranjo experimental.....	32
Figura 3.2	Desenho esquemático do sistema de eletrofloculação.	32
Figura 3.3	Mapa da localização do experimento	34
Figura 3.4	Casa de vegetação	34
Figura 3.5	Distribuição das plantas nos vasos	36
Figura 3.6	Distribuição Inteiramente Casualizada (DIC).	37
Figura 3.7	Vaso escolhido como lisímetro	38
Figura 3.8	Sistema de coleta de água lixiviado de cada vaso..	40
Figura 3.9	Distribuição Inteiramente Casualizada (DIC).	40
Figura 4.1	Superfície de resposta em função da corrente elétrica e tempo de tratamento para percentagem de remoção da DQO	43
Figura 4.2	Curva de contorno em função da corrente elétrica e tempo de tratamento para percentagem de remoção da DQO.....	43
Figura 4.3	Rabanete germinado com 8 dias após a semeadura	48
Figura 4.4	Gráfico do crescimento foliar dos rabanetes em função dos dias após a semeadura	49
Figura 4.5	Bulbos dos rabanetes para os sete tratamentos realizados	51
Figura 4.6	Plantas mortas por excesso de irrigação	52
Figura 4.7	Média do crescimento acompanhado do desvio padrão.	61
Figura 4.8	Taxa de crescimento do rabanete	62

Figura 4.9	Perda de massa foliar	63
Figura 4.10	Fotos dos bulbos dos quatro Tratamentos Repetição 1 (um).	65
Figura 4.11	Imagens dos rabanetes do tratamento T1	66
Figura 4.12	Imagens dos rabanetes do tratamento T2.	67
Figura 4.13	Relação de Ácido Ascórbico nos rabanetes.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Valores utilizados no DCCR para tratamento do efluente.....	31
Tabela 3.2	Matriz de delineamento experimental DCCR.....	31
Tabela 3.3	Metodologias de análise dos parâmetros químicos	33
Tabela 3.4	Composição química do solo na camada de 0 a 20 cm.	35
Tabela 3.5	Procedimento das análises dos rabanetes	35
Figura 3.6	Porcentagem de água de reúso e água de poço na irrigação.....	38
Figura 3.7	Tratamentos com as respectivas fertilizações.	41
Tabela 4.1	Matriz do delineamento experimental	42
Tabela 4.2	Análise estatística ANOVA dos termos corrente elétrica e tempo	44
Tabela 4.3	ANOVA para o modelo ajustado para remoção da DQO	44
Tabela 4.4	Coefficientes de regressão para a variável-resposta Remoção da DQO.....	45
Tabela 4.5	Caracterização química do efluente bruto e tratado	46
Tabela 4.6	DQO e DBO dos efluentes bruto e tratado	47
Figura 4.7	Altura das folhas dos rabanetes nos vasos	48
Figura 4.8	Relação das Massas Frescas, Secas, Perda de Massa, Sólidos Totais e Acidez dos bulbos.....	51
Tabela 4.9	Relação das análises de macro e micro nutrientes das folhas dos rabanetes colhidos dos vasos.....	53
Tabela 4.10	Eficiência de remoção de DQO e DBO dos efluentes bruto e tratado	54
Figura 4.11	Quantidade de Alumínio remanescente presente no efluente em função do tempo de reação na EF.....	55
Tabela 4.12	Quantidade de nutrientes adicionados ao longo do ciclo do rabanete pela irrigação e a caracterização do EFT (Efluente Tratado) e EFB (Efluente Bruto).	56
Figura 4.13	Relação das análises de macro e micro nutrientes do efluente lixiviado dos vasos, da água de poço da rede de abastecimento, do efluente tratado com eletrofloculação e do efluente bruto captado na fonte do frigorífico	57

Figura 4.14	Relação das análises de macro e micro nutrientes do solo dos vasos de rabanetes após a colheita.	58
Figura 4.15	Valores médios de crescimento em altura das plantas de rebanetes e o desvio padrão em função de dias após semeadura ..	60
Tabela 4.16	Análise físico-química das folhas.	63
Tabela 4.17	Acidez média dos rabanetes e o desvio padrão.	63
Tabela 4.18	Massa e diâmetro médio dos bulbos.	64
Tabela 4.19	Parâmetros químicos dos efluentes bruto e tratado	69
Tabela 4.20	Valores da análise de solo após a colheita dos rabanetes	70

SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Ampère.
AA	Ácido ascórbico.
ACP	Análise de componentes principais.
AT	Acidez titulável.
Cmolc.dm ⁻³	Centimol de carga por decímetro cúbico.
DINTER	Doutorado interinstitucional
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio.
DCCR	Delineamento composto central rotacional.
ddp	Diferença de potencial
DIC	Delineamento inteiramente casualizado.
DP	Desvio padrão.
DQO	Demanda química de oxigênio.
dS.m ⁻¹	Deci-siemens por metro
ECA	Evaporímetro classe A.
EF	Eletrofloculação
EFB	Efluente bruto.
EFT	Efluente tratado.
g.dm ⁻³	Grama por decímetro cúbico.
g.kg ⁻¹	Grama por quilograma;
IM	Índice de maturação.
kg.ha ⁻¹	Quilograma por hectare
kg.m ⁻²	Quilograma por metro quadrado.
L	Litro
Lm ⁻¹	Litros por metro quadrado.
Map	Massa de água lixiviada.
Mb	Massa base.
mg.dm ⁻³	Miligrama por decímetro cúbico.
mg.kg ⁻¹	Miligrama por quilograma.
mg.L ⁻¹	Miligrama por litro
Mi	Massa de água para irrigação.
min	Minuto
mm	Milímetro
MO	Matéria orgânica.

Mo	Massa do lisímetro.
mS.cm ⁻¹	Mili-siemens por centímetro.
NPK	Formulação de adubo Nitrogênio, Fósforo e Potássio.
pH	Potencial de Hidrogênio
PM	Perda de massa.
PT1	Lixiviado do vaso tratamento 1
PT2	Lixiviado do vaso tratamento 2
PT3	Lixiviado do vaso tratamento 3
PT4	Lixiviado do vaso tratamento 4
PT5	Lixiviado do vaso tratamento 5
PT6	Lixiviado do vaso tratamento 6
PT7	Lixiviado do vaso tratamento 7
SS	Sólidos solúveis totais.
T1	Tratamento 1
T2	Tratamento 2
T3	Tratamento 3.
T4	Tratamento 4.
T5	Tratamento 5
T6	Tratamento 6.
T7	Tratamento 7.
T1R1	Tratamento 1, repetição 1.
T2R1	Tratamento 2, repetição 1.
T3R1	Tratamento 3, repetição 1.
T4R1	Tratamento 4, repetição 1.
T5R1	Tratamento 5, repetição 1.
T6R1	Tratamento 6, repetição 1.
T7R1	Tratamento 7, repetição 1.
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande - Pb
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
V	Saturação de base.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
SIGLAS E ABREVIATURAS	x
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 EFLUENTES DE FRIGORÍFICO/ABATEDOURO	19
2.1.1 Tratamento de efluentes	19
2.1.2 Técnica de eletrofloculação	21
2.1.2.1 Reações envolvidas no processo de eletrofloculação.....	22
2.1.2.2 Reatores de eletrofloculação.....	23
2.2 RABANETE VERMELHO	25
2.2.1 Estresse hídrico	26
2.3 IRRIGAÇÃO	27
2.3.1 Reúso de água	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 EFLUENTES	30
3.1.1 Efluente	30
3.1.2 Delineamento experimental para EF	30
3.1.3 Métodos analíticos	33

3.2 CONDUÇÃO AGRONÔMICA	33
3.2.1 Local do plantio	33
3.2.2 Análise de solo	34
3.2.3 Análises do rabanete	35
3.2.4 Planejamento Agrônômico	36
3.2.4.1 Primeira semeadura	37
3.2.4.2 Segunda semeadura.....	40
3.2.4.3 Irrigação	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 TRATAMENTO DE EFLUENTE	42
4.1.1 Determinação da corrente elétrica e tempo de tratamento	42
4.2 PRIMEIRA SEMEADURA	47
4.2.1 Crescimento do rabanete	47
4.2.2 Bulbos dos rabanetes	49
4.2.3 Análises laboratoriais das folhas dos rabanetes	52
4.2.4 Análises do efluente tratado e bruto	53
4.2.5 Análise do lixiviado	55
4.2.6 Análises laboratoriais de solo	57
4.3 SEGUNDA SEMEADURA	59
4.3.1 Crescimento do rabanete	60
4.3.2 Análises laboratoriais das folhas dos rabanetes	62
4.3.3 Bulbos dos rabanetes	64
4.3.4 Análises do efluente tratado e bruto	68
4.3.5 Análise laboratorial de solo	69
5 CONCLUSÃO	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

RESUMO

O reúso de água na agricultura pode contribuir para restaurar o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água e, ao mesmo tempo, pode representar uma fonte extra de nutrientes para as plantas. Sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo a reutilização de efluente de abatedouro e frigorífico de suínos, tratado pelo processo de eletrofloculação no cultivo do Rabanete Vermelho (*Raphanus Sativus L*). Foram calculados parâmetros ideais de operações no processo de tratamento do efluente para utilização na irrigação dos rabanetes; a eletrofloculação promoveu uma redução de 81,26 % na demanda química de oxigênio. O cultivo do rabanete ocorreu em duas etapas: a primeira em sete tratamentos com cinco repetições, distribuídas num delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos constituídos de uma mistura de efluente eletrofloculado mais água de poço. A segunda semeadura consta em quatro tratamentos com cinco repetições distribuídas num delineamento inteiramente casualizado, sendo T1 com adubação química complementar e efluente tratado, T2 adubação química complementar e efluente bruto, T3 com adubação química total e T4 sem nenhum tipo de nutriente adicionado ao solo. Pôde-se observar, na primeira semeadura, que a irrigação com efluente tratado não afetou significativamente o perfil do solo, frutos comerciáveis. O segundo plantio houve produção de bulbos comerciáveis, sendo que o de melhor qualidade foi o tratamento T1. O tratamento T2 produziu bulbos com qualidade inadequada para o comércio. Os melhores rendimentos foram os tratamentos T1 e T2, tendo o primeiro ligeira vantagem tanto na qualidade como na economia de fertilizantes.

Palavras chaves: Reúso, Tratamento eletroquímico, Cultivo, Solo.

ABSTRACT

Applied reuse of water in agriculture is a powerful tool that restores the balance between supply and demand at the same time may represent an extra source of nutrients for plants. Therefore, this research aimed the reuse of effluent discharge from swine slaughterhouses, treated by electroflocculation in the cultivation of Red Radish (*Raphanussativus L*). Optimum operating parameters were calculated in the effluent treatment process for its use in the irrigation of radishes. The electroflocculation conditioned an 81.26% reduction rate in chemical oxygen demand. The cultivation of radish occurred in two stages: the first in seven treatments with five replicates, following an entirely randomized design. The last treatment, in the first stage, T7 was irrigated with 100% raw wastewater. The second stage consisted of four treatments with five replicates distributed in a completely randomized design, where T1 contained complementary chemical fertilizers and treated wastewater. T2 consisted of supplement chemical fertilizer and raw wastewater, while T3 contained complete chemical fertilization and T4 had no nutrients added to the soil at all. It was observed in the first plantation that irrigation with treated effluent did not significantly affect the soil profile neither did it in plant development, despite not producing marketable products. In the second planting there was no production of marketable bulbs, being T1 the best quality treatment. Treatment T2 produced damaged bulbs which were adverse for trade. The best yields were T1 and T2, of which the first had a slight advantage in both quality and fertilizer economy.

Keywords: Reuse. Electrochemical treatment. Cultivation. Soi.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Christofidis (2001), o homem utiliza a água para a sua sobrevivência e a sua escassez é um fator limitante para o desenvolvimento social e econômico, visto que a agricultura é a atividade humana de maior consumo desse recurso. A água potável apresenta-se numa grandeza finita, com alto decréscimo de disponibilidade e o alto custo energético para aplicação, e a sua utilização na irrigação tem aumentado o interesse pela racionalização desse recurso para minimizar perdas (AZEVEDO *et al.*, 1999). A técnica da irrigação localizada objetiva a utilização da menor quantidade de água sem, no entanto, comprometer a produção final

A irrigação localizada é estudada e recomendada por pesquisadores em todo mundo como uma alternativa viável para suprir as necessidades hídricas e nutricionais da planta (HARUVY, 1997; CAPRA & SCICOLONE, 2004). WHO (1989) ressalta a vantagem da restauração da água residuária, pois, além da economia de água, o alto teor de nutrientes e matéria orgânica contidos no efluente provocam a formação do húmus, o que resulta na redução ou eliminação da poluição ambiental. Como desvantagem apresentam-se as elevadas concentrações de nitrogênio, sais contidos na água, íons como sódio, boro e cloretos, além da possibilidade de contaminação do trabalhador e consumidor dos produtos irrigados. Tal fato indica fundamental necessidade de um tratamento adequado ao efluente.

Abdellah e Ashbolta (2000) afirmam que haverá uma crescente demanda de uso no cultivo de águas residuárias em várias regiões do mundo, com a finalidade de atender às pressões ambientais, econômicas e sociais.

A utilização de água de reúso, em substituição à água de poço, em processos em que a saúde pública não seja afetada, é uma alternativa de manejo adequado dos recursos hídricos e garante água em quantidade e qualidade na medida necessária aos diversos fins (MOTA, 2006).

Wiendl (1998) afirma que a espuma e o lodo resultantes do tratamento eletrolítico de esgotos urbanos podem ser utilizados como fertilizantes agrícolas, devido às concentrações dos nutrientes (NPK) se apresentarem, em valores de 2,69

mg.L⁻¹ e de 0,97 mg.L⁻¹ respectivamente, para N e P. Estas concentrações são comparáveis com as presentes em esterco de curral de 2,0 mg.L⁻¹ (N) e 0,67 mg.L⁻¹ (P). Os metais Hg e o Zn sofrem forte redução no efluente da calha devido à eletrólise, sendo totalmente eliminados no decantador, com concentrações na espuma chegando a ser 100 vezes maior do que a presente no esgoto bruto.

Wiendl (1998) ainda argumenta que um dos perigos da utilização de escumas e lodos na agricultura é a contaminação direta de agricultores pelo mau uso. Apresenta-se como alternativa, a utilização em programas de reflorestamento, economicamente viável pelo menor custo do transporte do material seco e adensado. No tratamento eletrolítico, tanto a espuma como o lodo produzido nas diversas unidades têm sido dispostos diretamente nos leitos de secagem, sem a fase intermediária da digestão.

Os processos de tratamento de águas residuárias podem ser classificados em geral como biológicos e físico-químicos. Os processos biológicos (sistemas aeróbicos ou anaeróbicos) são amplamente utilizados para o tratamento de efluentes agroindustriais, por serem eficazes e econômicos, mesmo assim, nem sempre são viáveis, pois necessitam de um longo tempo de tratamento e grandes áreas para realização do mesmo (grande volume do bio-reator), em comparação com os processos físico-químicos que requerem um curto período de tempo e podem ser realizados *in situ* (SATYANARAYAN; RAMAKAN; VANEKAR 2005; DROGUI *et al.*, 2008). Desse modo há que se ponderar a existência de certa vantagem desse processo frente ao anterior.

A utilização do tratamento físico-químico para remoção de poluentes orgânicos de efluentes de indústrias alimentícias é uma alternativa viável para utilização na fertirrigação baseada, de um modo geral, na aplicação de técnicas de coagulação/flotação, que origina uma poluição chamada secundária causada pela adição de produtos químicos no tratamento.

Pela simplicidade da operação, ausência de uso de reagentes químicos e facilidade de aplicação em diversas matrizes, a técnica de Eletrofloculação (EF) tem despertado interesse de inúmeros setores do campo da pesquisa visando seu uso no tratamento de efluentes industriais. Segundo Crespilho e Rezende (2004), há inúmeras pesquisas que estudam os processos de tratamento que utilizam reatores eletroquímicos, em diversos tipos de efluentes industriais. Tais processos ocorrem no interior de um reator eletroquímico, na vizinhança dos eletrodos, em cujo entorno ocorrem as reações de coagulação.

Neste contexto, buscar novas tecnologias que permitam a produção de alimentos de forma sustentável e a preservação da água, que é um recurso finito, é de fundamental importância.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o desenvolvimento do rabanete vermelho (*Raphanus Sativus L*) pelo uso de efluente frigorífico de suínos tratado pelo processo de eletrofloculação, como fonte de água e nutrientes.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as propriedades químicas dos efluentes bruto e eletrofloculado de estudo;
- Determinar os parâmetros ótimos de operação para o processo de tratamento do efluente por eletrofloculação, com base na remoção da DQO;
- Analisar a influência da aplicação do efluente tratado por eletrofloculação, em substituição à água de irrigação no desenvolvimento do rabanete vermelho;
- Analisar a influência da aplicação do efluente bruto e tratado por eletrofloculação no solo, como parte da demanda nutricional do rabanete vermelho;
- Avaliar os possíveis impactos causados pela disposição da água residuária de reúso no mesmo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFLUENTES DE FRIGORÍFICO E ABATEDOURO

A carne, desde o princípio da civilização, faz parte da alimentação humana e, na civilização moderna, fez-se necessária a produção em larga escala, o que provocou o aumento do abate de animais. O aprimoramento dessa atividade, ao longo do tempo, acarretou a geração de grandes volumes de águas residuárias que os frigoríficos em geral, lançam, devidamente tratadas, em corpos hídricos. A resolução 430/2011 do CONAMA, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. O artigo nº 16 da Seção II dessa resolução cita as condições e padrões de lançamento de efluentes nos leitos dos rios.

A indústria frigorífica gera um grande volume de efluente líquido e, segundo Sroka, Kaminski e Bohdziewicz (2004), esse efluente é caracterizado pela elevada taxa de DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), sangue, gorduras, excrementos, substâncias estomacais dos animais, resíduos derivados da fabricação de embutidos e da lavagem de pisos, equipamentos e utensílios e, em alguns casos, contém ainda o esgoto dos sanitários. Além disso, as operações de limpeza e sanitização agregam substâncias derivadas dos detergentes e sanitizantes aos efluentes líquidos.

Segundo Drogui *et al.* (2008) o tratamento dos efluentes da indústria frigorífica tem sido analisado com grande preocupação no setor industrial, visto que o efluente oriundo desse setor tem como característica principal altos teores de proteínas e lipídios, acarretando problemas como pH básico, coloração escura e altas taxas de DQO e DBO.

2.1.1 Tratamento de Efluentes

De acordo com Freire *et al.* (2000), para remoção de impurezas geradas na fabricação de produtos frigoríficos é necessário o envolvimento de processos e métodos

de tratamento diretamente ligados ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional e às características da água utilizada na indústria. Dentre os processos de tratamento primário desses efluentes, pode-se destacar como processo físico os métodos de separação de fases como a sedimentação, decantação, filtração, centrifugação ou flotação dos resíduos. Além dos processos físicos, existem os processos por troca iônica (KUNZ *et al.*, 2002), oxidação química (BERNARDO, 1993; ECKENFELDER, 1989), biológicos e adsortivos, Processos Oxidativos Avançados (POAs) e as unidades de osmose reversa (IAGREGA *et al.*, 2001). Na atualidade, os tratamentos biológicos de efluentes são os mais utilizados, devido ao baixo custo operacional por volume de efluente tratado, ou por quilograma de DQO removida (GENENA, 2009), porém utilizam grandes áreas e requerem um longo tempo para o tratamento efetivo desses efluentes.

Basicamente, o tratamento de resíduos de um frigorífico passa por 03 (três) etapas:

1. Tratamento primário: consiste em um tratamento físico, o qual visa à remoção de sólidos grosseiros, óleos e graxas, utilizando grades, crivos, telas, peneiras e caixas de gordura, com o intuito de preservar os dispositivos de transporte do efluente e minimizar os impactos, facilitando o próximo tratamento;
2. Tratamento secundário: consiste em um tratamento biológico que visa a remoção de parte significativa do material orgânico em suspensão fina (DBO em suspensão), não removido no tratamento primário, e parte do material orgânico na forma de sólidos dissolvidos (DBO solúvel). Em essência, o tratamento biológico fundamenta-se na utilização dos compostos presentes no efluente como substrato para o crescimento e a manutenção de micro-organismos;
3. Tratamento terciário: nessa etapa, ocorre a remoção de poluentes específicos (nitrogênio, fósforo, metais pesados ou outras substâncias tóxicas ou compostos não biodegradáveis) e poluentes que não foram removidos no tratamento secundário. Para isso, são utilizados processos químicos ou físico-químicos de remoção, como a floculação, que consiste na separação dos sólidos em suspensão e a flotação dos óleos e gorduras presentes no efluente. Essa etapa do processo de tratamento requer operação cuidadosa e um controle rigoroso das condições operacionais, para garantir um bom nível de remoção de gordura (DURLI, 2007).

Um exemplo dos processos de tratamento de resíduo de um frigorífico pode ser observado na Figura 2.1. Nesse exemplo, o efluente é oriundo de duas linhas, linha vermelha que corresponde aos resíduos da área de abate, desossa e industrialização da carne, e a linha verde, oriundos da pocilga e lavagem dos caminhões de transporte dos animais.

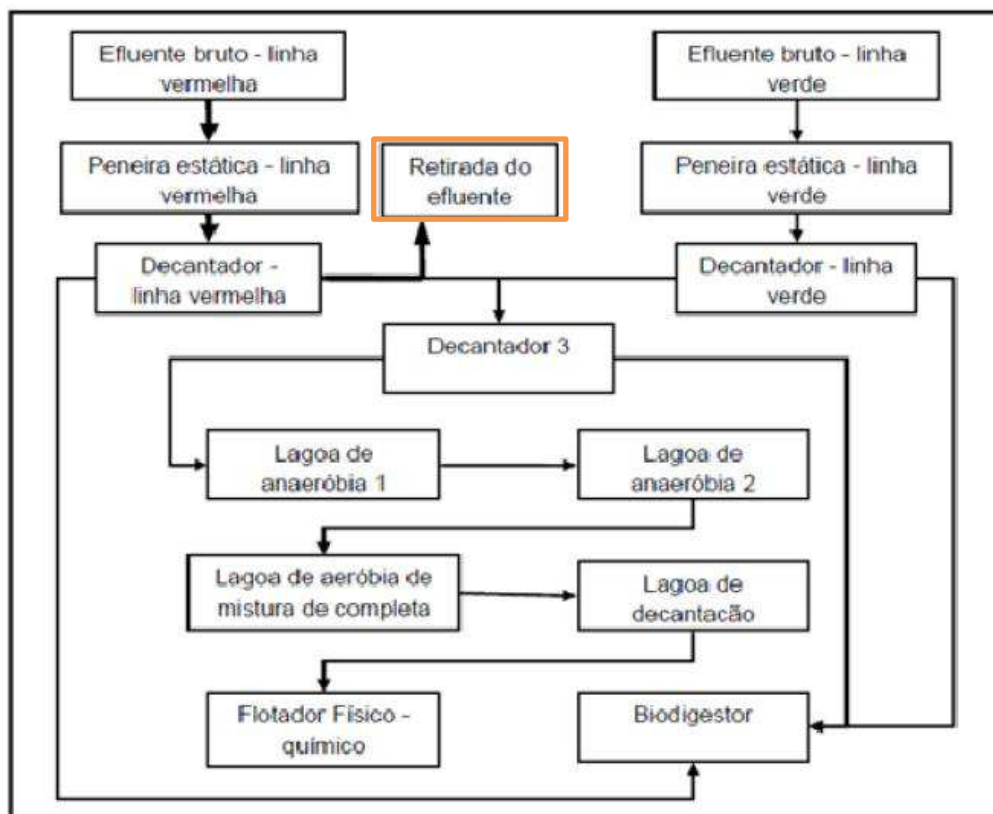


Figura 2.1- Fluxograma das etapas de tratamento de um efluente de frigorífico.

2.1.2 Técnica de eletrofloculação

A utilização do tratamento físico-químico para remoção de poluentes orgânicos de efluentes de indústrias alimentícias é baseado, de um modo geral, na aplicação de técnicas de coagulação/flotação, que origina uma poluição chamada secundária, causada pela adição de produtos químicos no tratamento.

Pela simplicidade da operação, ausência de uso de reagentes químicos e facilidade de aplicação em diversas matrizes, a técnica da Eletrofloculação tem despertado interesse de inúmeros setores do campo da pesquisa, visando seu uso no tratamento de efluentes industriais.

No decorrer do século passado, alguns projetos de EF foram estudados e abandonados devido à complexidade das etapas que envolvem processos hidrodinâmicos. No entanto, os conhecimentos atuais de coagulação por meio eletroquímico permitem a aplicação aos modelos hidrodinâmicos (BORBA, 2010).

Fornari (2007) atesta que a tecnologia do processo eletrolítico para o tratamento de efluentes agrega eficiência, pois além das vantagens dos métodos tradicionais, melhoram a geração de oxigênio e hidrogênio nas reações de eletrólise. Em função dessas melhorias, o sistema de eletrofloculação tem sido apontado como uma alternativa promissora no que se refere ao controle ambiental na utilização dos recursos hídricos. O processo da EF em um reator com o arranjo de eletrodos de metal, alumínio (Al) ou ferro (Fe), proporciona um ambiente físico-químico que desestabiliza o poluente pela oxidação eletrolítica e sua coagulação, com precipitação e flutuação subsequentes, o que evita a introdução de outro agente coagulante (MOLLAH *et al.*, 2004; RODRIGUEZ *et al.*, 2007). A EF gera coagulantes pela dissolução de íons de ferro ou alumínio a partir dos eletrodos desses metais, pela ação da corrente elétrica aplicada nos mesmos. O ânodo gera íons metálicos, enquanto o gás hidrogênio surge no cátodo.

Segundo SILVA (2002) a complexidade dos fenômenos envolvidos nos tratamentos de efluentes em processos eletrolíticos, ocorrem em três estágios sucessivos de operação:

1. Formação de um agente coagulante por meio da oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício (Fe/Al), o qual ocasiona a neutralização das cargas superficiais, a desestabilização das partículas coloidais e a quebra de emulsões (eletrocoagulação);
2. Aglutinação das partículas desestabilizadas pelos hidróxidos de ferro e alumínio que são coagulantes naturais favorecendo a formação e o crescimento dos flocos (eletrofloculação);
3. Geração de micro bolhas e oxigênio (O₂) no ânodo e de hidrogênio (H₂) no cátodo, que sobem à superfície colidindo e sendo adsorvidas pelos flocos, carreando por arraste as partículas e impurezas em suspensão no meio e promovendo, dessa forma, a clarificação do efluente (eletroflotação).

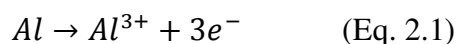
2.1.2.1 Reações Envolvidas no Processo de Eletrofloculação

O mecanismo da EF é altamente relacionado à química do meio aquoso especialmente a condutividade elétrica. Além disso, o processo de EF depende de outras características, como pH, tamanho da partícula e concentrações dos constituintes. Como

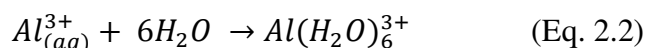
consequência, a escolha dos materiais é muito importante, e os mais comuns, alumínio e ferro, por serem baratos, eficazes e disponíveis, são utilizados em estudos eletroquímicos (MOLLAH *et al.* 2001).

A seguir, as reações do alumínio:

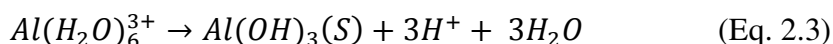
- Oxidação do Al sólido (reação anódica);



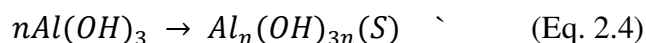
- Solvatação do cátion formado;



- Formação do agente coagulante;



- Reações Secundárias;



De acordo com pH do meio aquoso, surgem outras espécies iônicas como $Al(OH)^{2+}$, $Al_2(OH)^{4+}$ e $Al(OH)^{4-}$ (MOLLAH *et al.*, 2001). A reação mostrada na Eq. 2.4 atesta que vários complexos de alumínio podem ser formados, que em solução aquosa confere uma consistência gelatinosa ao meio.

2.1.2.2 Reatores de Eletrofloculação

Na forma mais simples, os reatores de EF são compostos por um ânodo e um cátodo, no qual é aplicado uma diferença de potencial (ddp), e uma corrente elétrica percorre o material do ânodo que é oxidado, e o cátodo estará sujeito à redução ou deposição redutiva do elemento metálico (MOLLAH *et al.*, 2004).

Com a aplicação de uma diferença de potencial (ddp), formam-se microbolhas de hidrogênio no cátodo que carregam para a superfície (flotado) as partículas formadas no reator, que podem ser removidas por processos convencionais, tais como raspagem, sucção, etc. (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

Numa forma simples de reator, tem-se a necessidade de que os eletrodos tenham grandes áreas superficiais. Uma melhora no desempenho pode ser alcançada com

eletrodos monopolares, tanto em conexões em série, quanto em paralelo. O arranjo em paralelo consiste em pares de placas de metais condutores, localizados entre dois eletrodos paralelos e uma fonte de alimentação. No que se refere ao arranjo monopolar, cada par de “eletrodos de sacrifício” está internamente conectado um ao outro, sem interconexão com eletrodos externos (MOLLAH *et al.*, 2004).

A Figura 2.2 representa o esquema de um reator de eletrocoagulação de bancada com eletrodos monopolares em paralelo.

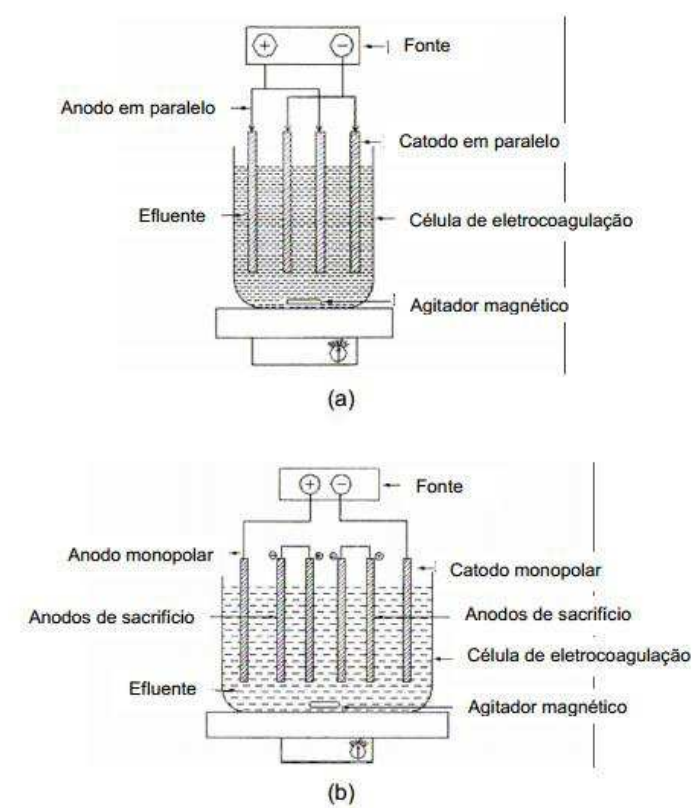


Figura 2.2 – Reator de EF em escala de bancada com eletrodos monopolares em: (a) paralelo e, (b) série (MOLLAH, 2001).

Para os reatores bipolares, os eletrodos de sacrifício são colocados entre os dois eletrodos em paralelo sem qualquer conexão elétrica. Somente os dois eletrodos monopolares são conectados à fonte de energia elétrica. Quando a corrente elétrica atravessa os dois eletrodos, os lados neutros da placa adquirem cargas opostas à do eletrodo monopolar (CRESPILHO; REZENDE, 2004). A EF pode também ser realizada em fluxo contínuo, conforme a Figura 2.3.

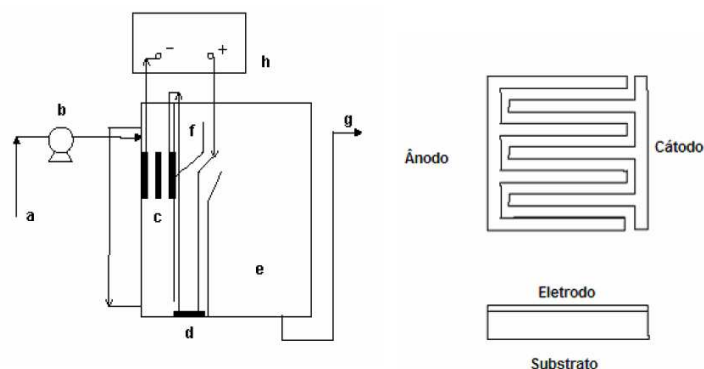


Figura 2.3 – Modelo esquemático de um reator eletroquímico de fluxo contínuo (a) influente; (b) bomba; (c) célula de eletro-coagulação; (d) célula de eletro-flotação; (e) separador; (f) coletor de lodo; (g) efluente; (h) Fonte de alimentação (SHEN *et al.*, 2003).

2.2 RABANETE VERMELHO

Yamagishi e Terachi (2003) afirmam que a planta da família *Brassicaceae*, o rabanete vermelho (*Raphanus sativus L*), é originário de várias espécies selvagens. Sua importância econômica surgiu há 4000 anos. Atualmente o Japão é tido como um dos grandes produtores responsáveis por uma produção mundial estimada em sete milhões de toneladas anuais (ITO; HORIE, 2008). Segundo Mumidovic (2004), desse total, cerca de 120 mil toneladas anuais são produzidas na Europa. No Brasil, sua produção é pouco expressiva, embora seja uma cultura de rápido retorno, em virtude da curta duração do ciclo de desenvolvimento, em torno de 25 a 40 dias (PULITI *et al.*, 2009).

Nutricionalmente, o rabanete é rico em vitaminas C e B6, ácido fólico, potássio, elevada quantidade de fibras alimentares, significativa atividade antioxidante e isotiocianatos, e possui baixa quantidade de calorias (CAMARGO *et al.*, 2007). Tais constatações justificam a inserção desse produto nos cardápios recomendados pelos nutricionistas.

A cultura adapta-se melhor a solos leves, na faixa de pH 5,5 a 6,8, semeada diretamente no solo em sulcos de até 1,5cm de profundidade. Trata-se de uma cultura intolerante ao transplante, razão pela qual as plantas excedentes na germinação deverão ser desbastadas quando atingirem altura de 5 cm, preservando a distância de 8 a 10 cm entre uma planta e outra. Para a prevenção da rachadura e isoporização, a colheita deverá ser precoce (FILGUEIRA, 2000).

Oliveira *et al.* (2010) verificaram que, embora a parte aérea e as raízes dos rabanetes tenham seu desenvolvimento prejudicado pelo stresse salino, a adubação fosfatada representa uma resposta satisfatória para a produção dessa leguminosa em plantas submetidas a esse tipo de stresse. Segundo Maas e Hoffman (1977) o rabanete classifica-se com sensibilidade moderada à salinidade, apresentando salinidade limiar de $1,2 \text{ dS.m}^{-1}$, para extrato de saturação e $0,8 \text{ dS.m}^{-1}$ para água de irrigação. O excesso provoca uma redução do potencial hídrico do solo, o que induz uma menor absorção de água, associada a efeitos tóxicos dos sais, interfere na absorção de águas pela semente o que influencia na germinação (BEWLEY; BLACK, 1994).

Salgado *et al.* (2006) afirmam que em plantio de espaçamento (0,15 m x 0,05 m), o rabanete necessita de $247,8 \text{ kg.ha}^{-1}$ de nitrogênio, $34,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ de fósforo, $262,7 \text{ kg.ha}^{-1}$ de potássio, $94,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ de cálcio e $30,7 \text{ kg.ha}^{-1}$ de magnésio.

2.2.1 Estresse hídrico

Um dos parâmetros importantes a serem observados no cultivo do rabanete é o estresse hídrico. Não existe uma variável fisiológica que seja indicativa da tolerância ao estresse hídrico, mas por meio da investigação de algumas variáveis fisiológicas facilmente perceptíveis, pode-se avaliar o estresse hídrico, como a área foliar e o acúmulo de matéria seca na parte aérea (PIMENTEL, 2004).

Segundo Larcher (2000), vários critérios baseados em medidas de umidade do solo e análise da distribuição do índice pluviométrico, podem ser utilizados para avaliação do grau de estresse hídrico a que a planta está submetida. O clima é um fator determinante na verificação da água evapotranspirada pelas culturas.

De uma maneira geral, hortaliças cultivadas em condições de campo ou ambientes protegidos têm o seu desenvolvimento influenciado pelas condições de umidade do solo. Embora o excesso dessa umidade seja prejudicial, a deficiência é o fator mais limitante para a boa produtividade (SILVA; MAROUELLI, 1998). Por conta disso, a mesma deve ser mantida elevada, próxima a 100% da saturação do solo, ao longo do ciclo da cultura (PEREIRA *et al.*, 1999). Ainda segundo esse autor, a desordem fisiológica de origem nutricional também prejudica o rendimento do produto.

Silva *et al.* (2012) afirmam que tratamento de plantas sem o encharcamento apresenta valores superiores em aproximadamente 28,8% e 11,95% para a massa seca da raiz e da parte aérea, respectivamente. De acordo com Bregonci *et al.* (2008), o estresse hídrico (*déficit*) em diversas fases do ciclo do rabanete é responsável pela redução no diâmetro do bulbo e da massa fresca, principalmente quando o estresse ocorrer no intervalo de 7 a 14 dias após a semeadura.

2.3 IRRIGAÇÃO

De um modo geral, a evapotranspiração na forrageira dossel excede a precipitação pluviométrica, sendo assim, a irrigação garante um aumento de produtividade (CUNHA *et al.*, 2007), no segundo plantio do rabanete, a precipitação pluviométrica superou a água irrigada, porém não houve uniformidade na distribuição, o que a irrigação localizada contempla.

A evapotranspiração é definida como um processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera, por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas.

Segundo Marques e Santos, (2005), em uma pesquisa realizada nessa data identificaram que a irrigação aplicada, baseada em frações de evaporação do tanque Classe A (ECA), de 80% a 100%, não causaram redução na produção do rabanete. Já as plantas submetidas ao estresse hídrico (0% ECA), apresentaram uma redução significativa na matéria seca da parte aérea de 42% e de matéria seca das raízes de 64% comparados ao tratamento com aplicação da lâmina total de irrigação (100% ECA).

Estudos publicados pela EMBRAPA hortaliças, indicam que o sistema de fertirrigação localizada incide em uma economia de água em até 30%, e em incremento da produtividade de até 40% (MAROUELLI; SILVA, 2002).

Marouelli *et al.* (2001), afirmam que, principalmente nos cinturões verdes de grandes centros urbanos, as águas superficiais utilizadas para irrigação apresentam-se muitas vezes contaminadas por organismos patogênicos, podendo contaminar os consumidores com várias doenças, assim, se faz necessário uma análise e controle sanitário das águas utilizadas na irrigação para segurança da saúde pública.

No aspecto sanitário, existem três formas de contaminação a considerar: a contaminação do irrigante durante a condução da irrigação, contaminação da comunidade onde o projeto de irrigação está instalado e a contaminação dos usuários dos produtos irrigados. A esquistossomose é a principal doença para as duas primeiras formas, cuja contaminação se dá por meio de contato direto do irrigante com a água de irrigação. Para a terceira forma, há as verminoses de modo geral, onde a contaminação se dá por meio de consumo de produtos hortifrutigranjeiros contaminados pela água de irrigação (BERNARDO, 1993).

2.3.1 Reúso da Água

No Brasil, Hespanhol (2003) relata que o reúso de água representa uma parcela significativa de aplicações, visto que o aproveitamento de efluentes tratados nas áreas agrícolas e urbanas, com finalidades não potáveis, é um instrumento poderoso que restaura o equilíbrio entre a oferta e a demanda em diversas regiões do Brasil. No entanto, faz-se necessária uma institucionalização e promoção de reúso no país, vislumbrando uma prática que se desenvolva de acordo com princípios técnicos adequados, seja economicamente viável, socialmente aceita e segura em termos de preservação ambiental.

De acordo com Medeiros *et al.* (2007), o reúso adequado e planejado de águas residuárias, implica em uma menor captação de recursos hídricos primários, estratégia eficaz para conservação desse recurso natural. Em se tratando de uso na agricultura, representa uma fonte extra de nutrientes para as plantas, que auxilia no desenvolvimento dessas (SANDRI *et al.*, 2009). Leal *et al.* (2009) afirmam que a determinação da qualidade da água para diversas aplicações envolve um grau de complexidade, havendo a necessidade de considerar, além dos fatores naturais, como interação da água com as rochas, a interferência da ação do homem com inserção de novas substâncias que promovem a alteração da qualidade dessa água.

O uso de águas residuárias primárias ou secundárias, ou até mesmo águas que não receberam nenhum tipo de esgoto, não deve ocorrer à revelia na irrigação. Nessa atividade, verificar a composição da água de reúso é de grande importância para não comprometer a qualidade dos vegetais irrigados e o funcionamento dos equipamentos.

Tal verificação deve ocorrer de maneira especial, quando contém efluentes de frigorífico tratados pelo processo de eletrofloculação. Devido a esses aspectos sanitários, podem ocorrer obstruções nos equipamentos de irrigação localizada (MARQUES *et al.*, 2006).

Shibli *et al.* (2001) afirmam que o aumento de doses de P pode ter a capacidade de minimizar os efeitos da salinidade no desenvolvimento de plantas, considerando de fundamental importância a fosfatagem em plantas cultivadas sob condições de estresse salino, embora Grattan e Grieve (1999) considerem bastante complexa a interação entre a salinidade e a nutrição fosfatada, independente da espécie de vegetal ou cultivar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao lado do bloco 15, as análises laboratoriais, nos blocos do curso de alimentos.

A presente investigação foi fundamentada a partir da análise em laboratório das amostras de solos coletadas em várias etapas do manejo com os efluentes, associados ou não com água de poço, constituídos como um dos pilares da pesquisa, e da observação do desenvolvimento das plantas (rabanete vermelho) no campo experimental, irrigadas com o produto do manejo desses efluentes de frigorífico de suínos e/ou água de poço. O foco da observação manteve-se voltado para o desenvolvimento das plantas e o comportamento do solo que sofreram a influência da irrigação antes e durante o cultivo.

Para melhor compreensão este capítulo foi subdividido em duas partes, dentre as quais, a primeira refere-se ao tratamento do efluente pelo processo EF e, a segunda parte refere-se ao cultivo do rabanete, o qual, será dividido em plantios 1 e 2.

3.1 EFLUENTES

3.1.1 Efluente

Utilizou-se como amostra o efluente de frigorífico e abatedouro de suínos. As amostras foram coletadas da linha vermelha, a qual corresponde aos resíduos da área de abate, desossa e industrialização da carne, logo após passar pelo Decantador – linha vermelha (Figura 2.1). O volume total de efluente foi coletado em um único dia às 10 horas da manhã para garantir a qualidade do material em fluxo contínuo de abate de animais, e guardado em refrigerador para diminuir reações no efluente.

3.1.2 Delineamento experimental para a EF

Para o tratamento do efluente por EF foram investigados os parâmetros de corrente elétrica (x_1) e o tempo de tratamento (x_2). Para a determinação desses foi

realizado um planejamento experimental denominado Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), a partir do qual foram executados 2^2 ensaios principais, somados a quatro repetições no ponto central e quatro ensaios nos pontos axiais, totalizando 12 ensaios, que foram realizados em duplicata. Os códigos utilizados referentes a cada ensaio experimental podem ser observados na Tabela 3.1. Na Tabela 3.2 observa-se a matriz do delineamento experimental, para os valores codificados das variáveis x_1 e x_2 .

A análise dos resultados obtidos seguindo o planejamento experimental DCCR, prevê a obtenção de modelos empíricos de uma ou mais variáveis-resposta em função dos fatores estudados. Os valores reais, correspondentes à faixa de estudo das variáveis foram determinados por testes preliminares.

Tabela 3.1 - Valores codificados e reais utilizados no DCCR para o tratamento do efluente.

Variáveis (x_1 e x_2)	-1,41	-1	0	1	1,41
Corrente (A)	0,8	1	1,5	2	2,2
Tempo (min)	5,8	15	37,5	60	69,2

Tabela 3.2 – Matriz de delineamento experimental DCCR.

	Ensaio	Corrente (x_1)	Tempo (x_2)	Corrente (A)	Tempo (min)
Pontos Principais	1	+1	+1	2,0	60
	2	-1	+1	1,0	60
	3	+1	-1	2,0	15
	4	-1	-1	1,0	15
Pontos Centrais	5	0	0	1,5	37,5
	6	0	0	1,5	37,5
	7	0	0	1,5	37,5
	8	0	0	1,5	37,5
Pontos Axiais	9	+1,41	0	2,2	37,5
	10	-1,41	0	0,8	37,5
	11	0	+1,41	1,5	69,2
	12	0	-1,41	1,5	5,8

Assim, para a presente aplicação objetivou-se avaliar a Remoção da DQO, em função da corrente elétrica (x_1) e tempo de reação (x_2), conforme a Eq. 3.1.

$$\text{Remoção da DQO (\%)} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2 \quad (3.1)$$

Em que a_i são os parâmetros ajustados pelo modelo.

De posse dos modelos empíricos, é possível otimizar o processo de tratamento do efluente, maximizando-se a eficiência de remoção da DQO, obtendo-se os valores ótimos dos fatores dentro da faixa investigada. Tais condições foram empregadas no tratamento do efluente a ser irrigado, respeitando-se as proporções especificadas para os tratamentos.

O sistema em batelada é constituído por um béquer de 2 L, um agitador magnético, uma fonte de corrente contínua e os eletrodos de sacrifício de alumínio com 25,0 cm² de área. Para uma melhor visualização, é apresentado na Figura 3.1 e Figura 3.2, um módulo experimental para o sistema em batelada realizado, no qual a eletrofloculação foi empregada sem ser conciliada a outras tecnologias de tratamento.



Figura 3.1 – Arranjo experimental do sistema de batelada. (a) fonte de eletricidade; (b) Vasos com eletrofloculação.

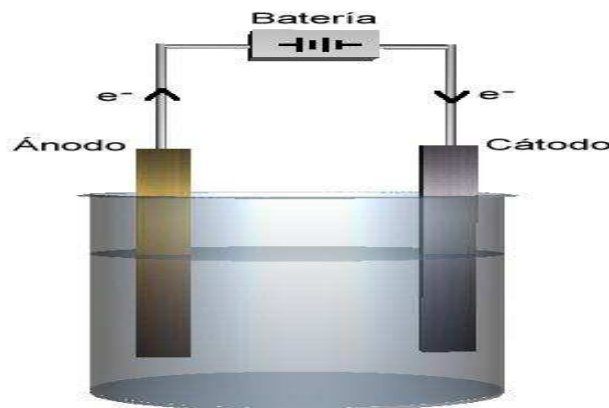


Figura 3.2. Desenho esquemático do sistema de eletrofloculação.

3.1.3 Métodos analíticos

Para as análises físico-químicas dos efluentes foram empregadas os parâmetros e as metodologias apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Metodologias de Análise dos Parâmetros Químicos do efluente.

Parâmetro	Metodologia	Equipamento/Marca
COT e cor	Absorbância, Espectrofotômetro de varredura UV-Vis	Espectrofotômetro XLS/Perkin Elmer
DQO	Método Colorimétrico de Refluxo Fechado (APHA, 2005)	
pH	Potenciométrico,	Medidor de pH/Hanna
Turbidez	Nefelométrico,	Turbidímetro/Policontrol
Condutividade	Condutivímetro	Tecnopon
Alumínio	Espectrofotômetro de absorção atômica com chama e forno de grafite.	Varian, modelo, AA240FS
Demais parâmetros físico-químico	<i>Standard Methods for Examination of Water & Wastewater</i> (APHA, 2005)	

3.2 CONDUÇÃO AGRONÔMICA

3.2.1 Local do plantio

O estudo foi norteado pela observação do desenvolvimento do rabanete vermelho (*Raphanus sativus L*), cujo cultivo deu-se no campo experimental, montado no Município de Medianeira, Estado do Paraná, em área da Universidade Tecnológica Federal do Paraná na coordenada 25°17'58,06"S e 54°06'52,28" O, altitude de 417 m, clima com Análise de Componentes Principais (A.C.P.), subtropical úmido com verões quentes, média anual de 21°C, Figura 3.3.



Figura 3.3 – Mapa da localização do experimento Fonte: Google maps.

A pesquisa foi conduzida em uma casa de vegetação do tipo semiarco com 10 m de comprimento e 7 m de largura, com pé direito de 2,6 m de altura do nível do solo, tendo a parte mais alta, 4,0 m de altura do solo, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micras de espessura e laterais fechadas com sombrite 50%, conforme pode ser observado na Figura 3.3.



Figura 3.4 – Casa de vegetação.

3.2.2 Análise de solo

O solo da área é classificado como Latossolo vermelho. Na área experimental, conforme análise realizada, foi classificado como, areia 17,50%, Silt 17,5% e argila 65%, com a seguinte composição química na camada de 0 a 20 cm, conforme a Tabela 3.4

Tabela 3.4 Composição química do solo na camada de 0 a 20 cm

pH(CaCl ₂)	4, 5
M.O.	1, 6 g.dm ⁻³
P	6, 0 mg.dm ⁻³
K ⁺	0,25 cmol _c .dm ⁻³ ;
Ca ⁺²	3, 8 cmol _c .dm ⁻³
Mg ⁺²	1, 0 cmol _c .dm ⁻³
Al ⁺³	0, 1 cmol _c .dm ⁻³
H+Al	4, 0 cmol _c .dm ⁻³
V	55%.

A acidez foi corrigida de acordo com uma recomendação agrônômica.

3.2.3 Análises do rabanete

Na Tabela 3.5 são relacionadas as análises do rabanete, Crescimento do rabanete, Diâmetro do bulbo, Perda de Massa, Sólidos Solúveis, Acidez Titulável, Ácido Ascórbico, Índice de Maturação.

Tabela 3.5 – Procedimento das análises dos rabanetes.

(continua)

	Procedimento	Observações
Crescimento do rabanete	Foi obtida a altura de 5 plantas, para o primeiro plantio, e 4 plantas, para o segundo plantio, por vaso, após 10 dias da semeadura até a fase final de colheita.	
Diâmetro do bulbo	Após a colheita, foram medidos os diâmetros perpendiculares entre si, de quatro bulbos de cada tratamento, dos quais se aferiu o crescimento de folhas.	Paquímetro digital Mitutoyo, precisão 0,01 cm
Perda de Massa (PM)	Para a análise de perda de massa do bulbo foi utilizada balança Modelo, carga máxima de 2200 g e divisão de 0,5 g.	$PM(\%) = \left[\frac{M_i - M_f}{M_i} \right] \times 100$ em que M_i é a massa inicial do bulbo e M_f é a massa após secagem em estufa a 60° C durante 24 horas.
Sólidos Solúveis totais (SS)	Foi realizada por meio da leitura refratométrica direta, em graus Brix	Refratômetro tipo Palette de marca Quimis, conforme recomendação do IAL

		(2008).
Acidez Titulável (AT)	O conteúdo de acidez titulável, expresso em gramas do ácido málico por 100 gramas de polpa, foi determinado por titulação de massa conhecida de polpa homogeneizada e diluída com água destilada, com solução padronizada de hidróxido de sódio a 0,1 mol L ⁻¹ , tendo como indicador a fenolftaleína, conforme metodologia descrita por IAL (2008).	Realizada nos laboratórios da UTFPR
	metodologia descrita por IAL (2008).	
Ácido Ascórbico (AA)	A metodologia utilizada foi iodometria, na qual utilizou-se 5 g da polpa do bulbo, com e sem casca, adicionado a 4 mL de solução.	Realizada nos laboratórios da UTFPR
Índice de Maturação (IM)	Consiste na razão entre o teor de SS e a AT (IAL, 2008).	

3.2.4 Planejamento Agrônômico

No estudo, foram analisadas as características químicas e físicas do solo antes e depois da implementação do experimento para caracterização, analisando-se na camada de 0 – 20 cm de profundidade, de acordo com os métodos propostos por EMBRAPA (2009).

O rabanete vermelho foi semeado em vasos com formato paralelepipedal com 34 cm por 40 cm de base e 24 cm de altura, com espaçamento entre linhas de 15 cm e entre plantas de 8 cm, perfazendo um total de 12 plantas cada (Figura 3.4). Os vasos foram abastecidos com solo anteriormente caracterizado.

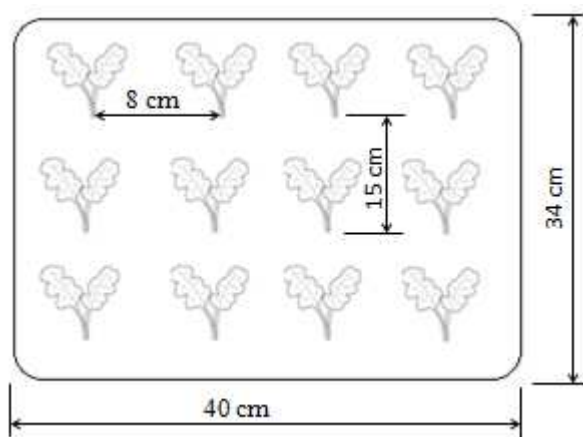


Figura 3.5 – Distribuição das plantas no vaso.

3.2.4.1 Primeira sementeira

A primeira sementeira foi elaborada num Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), sendo 7 tratamentos com 5 repetições, totalizando 35 vasos para a análise conforme a Figura 3.5.

Conduziu-se o experimento por um período de 28 dias após a sementeira, quando foi realizada a colheita manual de cada parcela para análise.

T1 R3	T4 R2	T6 R4	T2 R1	T5 R1	T7 R1
T7 R3	T5 R4	T3 R1	T4 R1	T6 R1	T1 R4
T4 R5	T6 R3	T1 R5	T5 R2	T3 R2	T7 R4
T2 R2	T3 R3	T R2	T1 R2	T2 R4	
T3 R4	T5 R5	T2 R5	T5 R3	T3 R5	T4 R3
T1 R1	T6 R5	T7 R5	T6 R2	T4 R4	T2 R3

Figura 3.6 – Distribuição Inteiramente Casualizada (DIC). T: tratamento e R: repetição.

A sementeira do rabanete foi realizada no dia 15 de outubro de 2013. Em cada vaso, foram semeadas 12 covas contendo 4 sementes cada, para um posterior desbaste quando a planta atingisse altura de 4 cm, escolhendo as de melhor vigor.

Um vaso irrigado, em condições de sementeira foi utilizado como lisímetro e aferido o seu peso base (M_b), como pode ser observado pela Figura 3.6.

Todos os dias foram aferidas as massas dos vasos e repostos a massa de água evaporada, lixiviada e absorvida pela planta (M_i), calculada segundo a Equação 3.2:

$$M_i = M_b - (M_0 + M_{ap}) \quad (3.2)$$

Na qual, M_0 é a massa do vaso antes da irrigação e M_{ap} é a massa de água lixiviada do lisímetro.

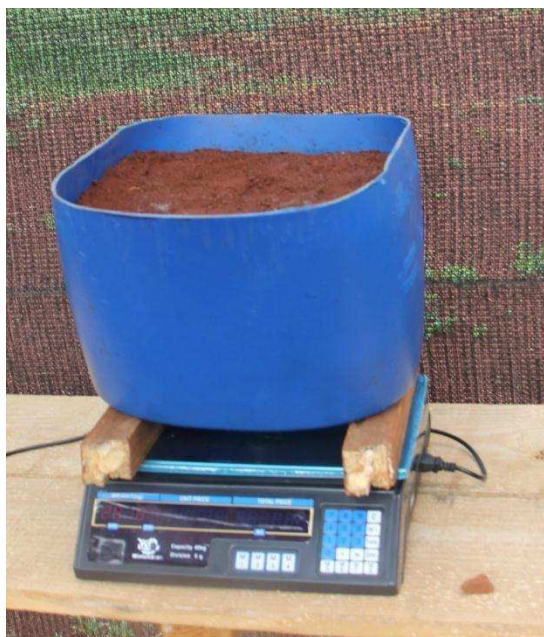


Figura 3.7 – Vaso utilizado como lisímetro.

O cálculo realizado utilizando o lisímetro de drenagem forneceu a evapotranspiração total do vaso, tanto da planta como a evaporação da água pela superfície da terra acrescido da massa de água lixiviada (M_i). A irrigação realizada foi manual, utilizando-se um regador com a dosagem de água de acordo com a evapotranspiração e água lixiviada detectada pelo lisímetro (M_i), fracionada entre água de reúso e água de poço, de acordo com a Tabela 3.6, a fim de manter a umidade do solo próximo de 80%, utilizando-se tensiômetro analógico.

Tabela 3.6 – Porcentagem de água de reúso e água de poço na irrigação.

TRATAMENTO	ELETROFLOCULADO	ADUBAÇÃO	ÁGUA DE POÇO
1	100 %	0	0
2	75%	0	25%
3	50%	0	50%
4	25%	0	75%
5	00	0	100%
6	0	NPK	100%
7	EFLUEN BRUTO	0	0

O tratamento 7 recebeu 100% de irrigação com efluente bruto (sem tratamento de eletrofloculação) e zero de água de poço.

Todos os vasos receberam, conforme indicação agrônômica, 6 gramas de cal ($428 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), os vasos do tratamento 6 receberam, além da cal, 5 g de óxido de potássio

(357 kg.ha⁻¹), 6 g de super fosfato simples, P₂O₅ (428 kg.ha⁻¹). O tratamento 1 (um) recebeu toda irrigação e água com efluente eletrofloculado; o tratamento 2 (dois) foi irrigado com 75% de efluente eletrofloculado e 25% de água de poço; o tratamento 3 (três) foi irrigado com 50% de efluente eletrofloculado e 50% de água de poço; o tratamento 4 (quatro) foi irrigado com 25% de efluente eletrofloculado e 75% de água de poço; o tratamento 5 (cinco) foi irrigado com 100% de água de poço; o tratamento 6 (seis) foi irrigado com 100% de água de poço e o tratamento 7 (sete) foi irrigado com 100% de efluente bruto, sem tratamento.

O peso do lisímetro, utilizando-se uma balança de precisão de 0,005 kg, foi tomado como base de cálculo do líquido evapotranspirado, lixiviado e absorvido pelas plantas. Foram tabelados, além da irrigação por vaso, dias após a semeadura, a data, hora do procedimento, o índice pluviométrico e mm de chuva correspondente à irrigação, umidade do solo antes e pós irrigação, umidade relativa do ar e as temperaturas máxima e mínima do dia (ver Apêndice A).

Assim, de acordo com o sistema de irrigação com efluentes foram aplicados 20,340 L por vaso. Fazendo as devidas proporções, no tratamento T1 somou-se um total de 149,56 L.m⁻² de efluente tratado, no tratamento T2, 112,17 L.m⁻² de efluente tratado, T3, 74,78 L.m⁻² de efluente, no tratamento T4, 37,39 L.m⁻² de efluente tratado, no tratamento T5, zero de efluente, no T6 também zero de efluente e no tratamento T7, 149,56 L.m⁻² de efluente bruto, sem tratamento de eletrofloculação. Essa irrigação corresponde a uma precipitação de 149,56 mm de chuva no período da semeadura à colheita no dia 12 de novembro de 2013.

A figura 3.8 mostra o sistema de coleta de água lixiviado dos vasos, cada recipiente recebe o lixiviado de cada tratamento, todos os vasos do tratamento T1 são interligados por mangueiras, assim feito para todos os tratamentos.



Figura 3.8, sistema de coleta de água lixiviado de cada vaso

3.2.4.2 Segunda semeadura

A segunda semeadura foi elaborada num DIC, composto por 20 vasos, quatro tratamentos com cinco repetições, conforme pode ser observado na Figura 3.7.

T1R1	T3R4	T4R1	T1R4	T3R2
T3R5	T2R3	T1R2	T4R4	T2R5

T2R2	T4R5	T2R1	T2R4	T4R2
T4R3	T1R5	T3R1	T3R3	T1R3

Figura 3.9 – Distribuição Inteiramente Casualizada (DIC). T: tratamento e R: repetição

Conduziu-se o experimento por um período de 31 dias após a semeadura, sendo então realizada a colheita manual de cada parcela para análise.

Os vasos foram preenchidos com terra de barranco, tal qual o primeiro plantio, e adubada previamente utilizando-se nutrientes dos efluentes eletrofloculados, sendo o Nitrogênio o componente mais abundante, tomou-se por base o valor deste, irrigando os tratamentos conforme a Tabela 3.7:

Tabela 3.7, Tratamentos com as respectivas fertilizações.

TRATAMENTO T1	6 L Eflu Trat; 13,100g P ₂ O ₅ ;1,22g K ₂ O;
TRATAMENTO T2	3,7 L Eflu Bruto; 13,100 g e P ₂ O ₅ ;1,22 g K ₂ O
TRATAMENTO T3	1,623 g NH ₄ OH;13,100 P ₂ O ₅ ;1,22 g K ₂ O
TRATAMENTO T4	0

Após a inserção dos nutrientes, foram semeados os rabanetes no dia 22 março de 2014, com quatro sementes por cova, distanciadas de 15 cm entre ruas e 8 cm entre covas. Ao atingirem quatro centímetros, foram desbastadas, procedimento esse que resultou na escolha da planta de melhor vigor para permanecer na cova.

3.2.4.3 Irrigação

Para irrigação, foi utilizada somente água de poço, (poço semi artesiano) e escolhidos quatro vasos como lisímetros, sendo o T1R1, o lisímetro para o tratamento T1, o vaso T2R1 para o tratamento T2, o T3R1 para o tratamento T3 e o vaso T4R1 para o tratamento T4, cada qual determinada a sua massa base (M_b), já devidamente irrigada com água de poço molhada nas condições ideais de semeadura. A irrigação se deu calculando a massa da água evapotranspirada, segundo a Equação 3.3.

Determinar a concentração de sólidos solúveis dos rabanetes

$$M_i = M_b - M_0 \quad (3.3)$$

Onde M_i é a massa e água a irrigar, M_b massa do vaso base e M_0 massa do vaso seco.

Os vasos foram distribuídos aleatoriamente numa distribuição inteiramente casualizada e, a cada quatro dias, foram trocadas as posições dos mesmos com finalidade de contemplar igualmente todos com a mesma luminosidade por períodos intermitentes.

A quantidade de água utilizada para irrigação foi calculada de acordo com a evapotranspiração do lisímetro de cada tratamento, conforme o Apêndice B.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRATAMENTO DO EFLUENTE

Primeiramente são apresentados os resultados para a obtenção da condição ótima de corrente elétrica e de tempo de reação em relação à remoção da DQO. Posteriormente são apresentados os resultados de caracterização físico-química do efluente bruto e do efluente tratado, ambos usados no processo de irrigação.

4.1.1 Determinação da corrente elétrica e tempo de tratamento

Na Tabela 4.1 observam-se os resultados obtidos pela aplicação do delineamento experimental, para os valores de remoção da DQO para cada um dos ensaios.

Tabela 4.1 – Matriz do Delineamento Experimental.

	Ensaio	Corrente (x_1)	Tempo (x_2)	Corrente (A)	Tempo (min)	DQO (%)
Pontos Principais	1	+1	+1	2,0	60,0	81,6
	2	-1	+1	1,0	60,0	79,2
	3	+1	-1	2,0	15,0	48,5
	4	-1	-1	1,0	15,0	48,7
Pontos Centrais	5	0	0	1,5	37,5	76,2
	6	0	0	1,5	37,5	77,8
	7	0	0	1,5	37,5	73,0
	8	0	0	1,5	37,5	77,4
Pontos Axiais	9	+1,41	0	2,2	37,5	76,9
	10	-1,41	0	0,8	37,5	76,6
	11	0	+1,41	1,5	69,2	74,2
	12	0	-1,41	1,5	5,8	33,4

Para Cerqueira (2006) a corrente gerada nesse processo de eletrocoagulação tem proporções equivalentes à quantidade de alumínio carregado, que foi gerado em solução (que será oxidada no ânodo). Na Figura 4.1 observa-se a curva de superfície de resposta da corrente elétrica e do tempo de tratamento com relação à percentagem de remoção da DQO. Pode-se observar que os valores de corrente elétrica não interferem na percentagem de remoção da DQO, e sim, somente o tempo de tratamento, conforme pode também ser visualizado com a Figura 4.2, e Tabela 4.2.

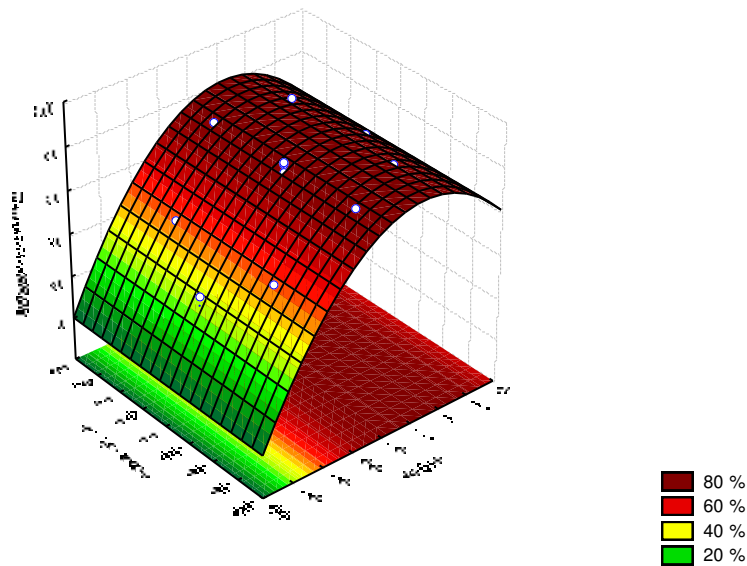


Figura 4.1. Superfície de resposta em função da corrente elétrica e tempo de tratamento para a percentagem de remoção da DQO.

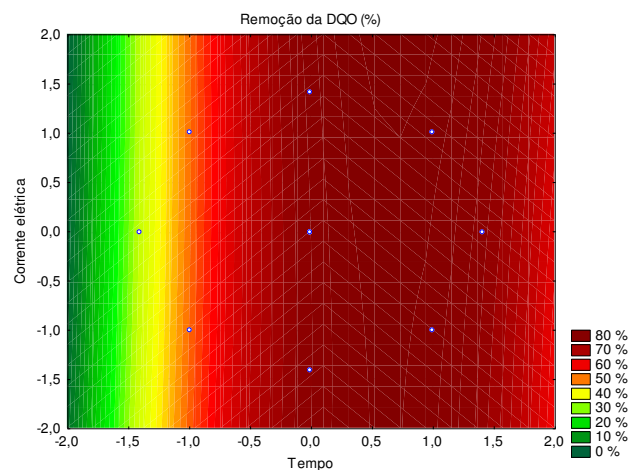


Figura 4.2 – Curva de contorno em função da corrente elétrica e tempo de tratamento para a percentagem de remoção da DQO.

Tabela 4.2 – Análise estatística dos termos corrente elétrica e tempo.

Análise de variância (todos os termos do modelo)					
	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	F	p-valor
Tempo (Linear)	1839,221	1	1839,221	558,0103	3,78E-07
Tempo (Quadrático)	824,827	1	824,827	250,2484	4,05E-06
Corrente (Linear)	0,958	1	0,958	0,2905	6,09E-01
Corrente (Quadrático)	0,131	1	0,131	0,0398	8,48E-01
Tempo x Corrente	1,679	1	1,679	0,5093	5,02E-01
Erro	19,776	6	3,296		
Total	2724,208	11			

Com base nesta análise, uma nova Análise de Variância foi procedida, mantendo-se no modelo matemático para remoção da DQO, apenas os termos significativos. O Resultado da ANOVA é apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – ANOVA para o modelo ajustado para remoção da DQO

Fonte de Variação	SQ^a	GL^b	QM^c	F_{calculado}	p-valor
Regressão	2701,664	2	1350,832	539,286	4,266E-10
Resíduos	22,544	9	2,505		
Total	2724,208	11			

% variação explicada (R^2) = 0,9917 $F_{2; 9; 0,05} = 4,256^a$ = soma de quadrados; ^b = graus de liberdade; ^c = quadrados médios.

De acordo com os resultados da ANOVA (Tabela 4.3) é possível concluir que o modelo ajustado para a remoção da DQO é válido, a 95% de confiança. Além disso, ressalta-se o alto valor encontrado para o coeficiente de determinação, 0,9917, o que indica um bom ajuste dos dados experimentais. Na tabela 4.4 são apresentados os coeficientes de regressão do modelo.

Tabela 4.4 – Coeficientes de regressão para a variável-resposta Remoção da DQO

	Coeficientes de Regressão	Erro Padrão	t (9)	p - valor
Média	76,2165	0,61	124,2417	<0,0000*
t(L)	15,1851	1,12	27,0973	<0,0000*
t(Q)	-11,4282	1,23	-18,5556	<0,0000*

* $p \leq 0,05$; L- termos lineares; Q- termos quadráticos.

Assim, considerando apenas os termos significativos, a equação de remoção da DQO pode ser escrita de acordo com a seguinte equação:

$$\% \text{ Remoção da DQO} = 76,2165 + 15,1851x_2 - 11,4282x_2^2 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

$$\text{Em que } x_2 = \frac{t-37,5}{22,5}.$$

A partir da Equação 4.1 foi possível obter a condição ótima do tempo de tratamento a ser utilizado na EF para os valores estabelecidos, correspondendo a 52,42 min. Como o termo corrente elétrica, para os valores utilizados, não foi significativo no processo, o mesmo foi fixado no valor mínimo testado, 0,8 A. O fato da corrente elétrica não alterar significativamente o processo de eletrofloculação, foi um ponto positivo em termos de consumo de energia elétrica, já que a mesma pode ser minimizada, ou seja, utilizada o menor valor de corrente testada. Com os parâmetros i e t calculados, o modelo forneceu uma percentagem de remoção da DQO otimizada de 80,94 %. Crespilho e Rezende (2004) consideram que a eletrofloculação pode ser considerada um processo vantajoso pois requer equipamentos simples, com facilidade de operação, visto que a corrente e o potencial aplicados, são passíveis de medição e controle de forma automatizada.

Aplicando-se a condição ótima de corrente elétrica e tempo de tratamento na EF em duas amostras do efluente, obteve-se como resultados 82,63 e 76,63 %, valores próximos ao fornecido pelo modelo. É possível observar também que essas quantidades

de redução de matéria orgânica podem variar de acordo com o efluente bruto, pois o mesmo possui uma grande variação de quantidade de matéria orgânica de um dia para o outro.

Outro aspecto positivo observado com a aplicação da técnica de EF, utilizando os parâmetros otimizados, foram os valores da DBO. Os resultados apresentaram redução de 569,00 mg.L⁻¹ (efluente bruto) para 69,00 mg.L⁻¹ (efluente tratado), correspondendo uma redução de 87,85%.

As demais características físico-químicas dos efluentes bruto e tratado podem ser observadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Caracterização química do efluente bruto e tratado.

Determinação	Bruto (mg L ⁻¹)	Tratado (mg L ⁻¹)	Referência (mg L ⁻¹)*
Acidez	245,00	45,00	
Cálcio	2,22	3,54	
DBO	569,00	69,00	
DQO	1580,11	676,01	
Ferro	--	0,06	0,3
Fósforo Total	0,87	0,37	
Magnésio	1,33	1,35	
Manganês	0,02	0,01	0,1
Nitrato	6,50	1,30	10
Nítrito	0,620	0,125	1,0
Nitrogênio Amoniacal	77,00	47,25	10
NTK–Nitrogênio Orgânico + Amoniacal	12,25	2,80	
pH	6,50	7,30	6,0 – 9,0
Potássio	30,00	30,00	
Zinco	0,09	0,01	0,18

Parâmetros de referência para consumo humano

A Tabela 4.6 mostra os parâmetros de DQO e DBO dos efluentes bruto e tratado. O processo de EF reduziu em 67,72% a quantidade de DQO e em 87,87% a quantidade DBO. É possível observar que estas quantidades de redução podem variar de acordo com o efluente bruto, pois o mesmo possui uma grande variação de quantidade de matéria orgânica de um dia para o outro.

Tabela 4.6 – DQO e DBO dos efluentes bruto e tratado.

	Bruto (mg/L)	Tratado (mg/L)	Redução (%)
DQO	1580,11	676,01	67,72
DBO	569,00	69,00	87,87

A EF promoveu uma redução de 81,6 % na acidez do efluente, o que mostra ser um aspecto importante, em se tratando de um efluente com finalidades de aplicação agrícola, visto que o aumento da acidez do solo deve ser corrigida. Analisando os nutrientes NPK, houve redução do fósforo total e nas fontes de nitrogênio, já o potássio não teve alteração. Embora algumas substâncias estejam alteradas, segundo Crespilho e Rezende (2004), esse tipo de tratamento não gera ânions de sulfato, substância que poderia contaminar a água dos rios.

Segundo Pedrero *et al.* (2010), nutrientes de águas residuais podem fornecer adubo à cultura, mas em certos casos, quando fornecidos além das necessidades da planta, podem causar problemas relacionados com o excessivo crescimento vegetativo, maturidade tardia ou irregular, ou qualidade reduzida da planta. Uma monitoração periódica do solo é necessária independente do tipo de efluente utilizado para se evitar o fornecimento desequilibrado de nutrientes.

4.2 PRIMEIRA SEMEADURA

4.2.1 Crescimento do rabanete

Os rabanetes foram semeados no dia 15/10/2013, a germinação ocorreu no dia 18 de outubro de 2013. 8 dias após a semeadura (DAS), as plantas atingiram alturas próximas a 2,5 cm, conforme a Figura 4.3.



Figura 4.3. Rabanete germinado com 8 dias após a sementeira

No intervalo da sementeira à colheita (15/10/2013 à 12/11/2013), as alturas das folhas do rabanete foram verificadas conforme a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Altura das folhas dos rabanetes nos vasos

Altura média por tratamento (cm)								
Data	Dias	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
15/10	Sementeira	0	0	0	0	0	0	0
24/10	9	1,66 a	1,90 a	2,01 a	1,89 a	1,78 a	2,12 a	1,75 a
26/10	11	2,66 a	2,89 a	2,78 a	2,67 a	2,90 a	3,69 b	2,60 a
28/10	13	3,93 a	3,89 a	4,28 a	4,03 a	3,74 a	6,13 b	4,22 a
30/10	15	4,05 a	4,46 ab	5,01 ab	4,53 ab	4,20 ab	10,20 c	5,23 b
01/11	17	3,95 a	5,18 ab	5,40 ab	5,06 ab	4,63 ab	13,12 c	6,51 b
03/11	19	4,48 a	6,17 a	6,51 a	5,55 a	4,96 ab	15,44 c	7,73 b
05/11	21	4,86 a	6,46 ab	6,92 ab	5,87 ab	5,62 a	17,06 c	8,89 b
09/11	24	5,50	10,05	10,75	8,82	7,93	20,66	15,20
11/11	28	5,65	10,56	11,67	10,250	8,25	23,03	15,45

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey com 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Como era de esperar, os vasos adubados quimicamente com Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) apresentaram uma maior taxa de crescimento (Tratamento 6) com relação aos demais tratamentos. Os vasos que apresentaram o menor crescimento foram os com tratamento T1 a T5, o tratamento T7 apresentou um crescimento intermediário em relação aos restantes. Entende-se, portanto, que o efluente eletrofloculado, por si, não constitui fonte única de adubação. Costa *et al.* (2006) conseguiu resultados próximos ao ideal da cultura do rabanete, utilizando húmus e esterco bovino em tratamentos distintos.

A Figura 4.4 apresenta a média e o desvio padrão de crescimentos dos rabanetes

para os sete tratamentos em função dos dias após a semeadura. Pôde-se observar que, até o 12^o, os vasos apresentaram praticamente o mesmo crescimento. Somente após o 14^o pôde-se observar um maior crescimento para o tratamento T6. Com exceção do tratamento que levou adubação química, T6, o tratamento que teve maior crescimento foi o irrigado com o efluente bruto, por possuir maior quantidade de nutrientes em comparação com os demais tratamentos.

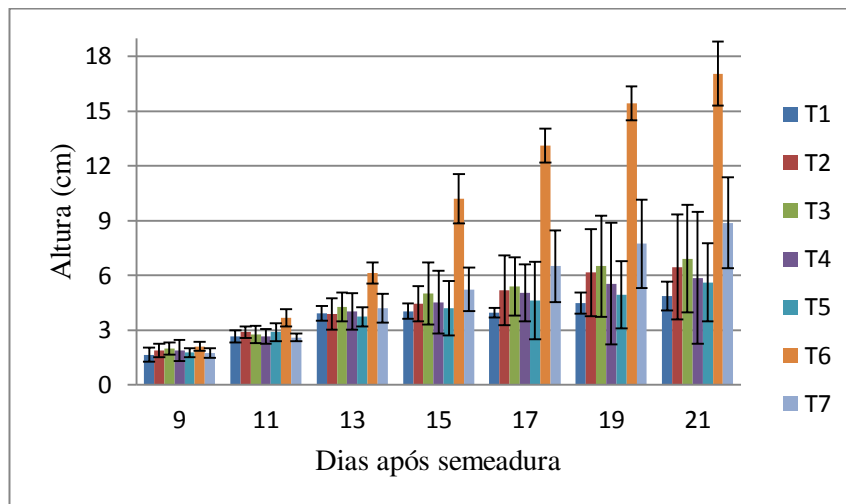


Figura 4.4 – Gráfico do crescimento foliar dos rabanetes em função dos dias após semeadura.

Para verificar a ação do efluente tratado, comparou-se os tratamentos T1, T2, T3 e T4 com o tratamento T5. Dos tratamentos apresentados, o T3 foi o que apresentou melhor crescimento, possui perfil semelhante aos demais tratamentos que receberam parcela de efluente tratado, inclusive o tratamento que recebeu somente água de poço. Considerando o desvio padrão, pode-se observar que os cinco primeiros tratamentos não podem ser diferenciados estatisticamente. Analisando os 5 tratamentos (T1 a T5) pode-se concluir, parcialmente, que não houve mudança significativa no desenvolvimento do rabanete em relação a quantidade de efluente eletrofloculado utilizado.

4.2.2 Bulbos dos rabanetes

Com relação aos bulbos dos rabanetes colhidos, conforme pôde ser observado na Figura 4.5, a qualidade não foi satisfatória, principalmente para os tratamentos de T1 a

T5, os quais ficaram privados de nutrientes. O T6 foi o único tratamento com resultado positivo com média de diâmetro igual a 2,6 cm numa amostragem de 30 unidades de rabanetes colhidos aleatoriamente.

Segundo análise a nível regional em mercados e feiras livres, os rabanetes comerciais apresentam diâmetros superiores a 2,0 cm, sendo o T6, adubado quimicamente, o tratamento que satisfaz o mercado consumidor. Os tratamentos fertirrigados e o irrigado com água, sem adição de nenhum adubo químico, se mostraram insatisfatórios no procedimento desse experimento, em comparação com o diâmetro padrão para comercialização.

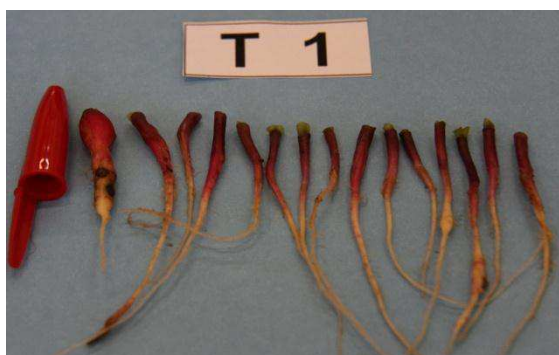




Figura 4.5 – Bulbos dos rabanetes para os sete tratamentos realizados.

As análises dos solos pós colheita comparados ao solo padrão, não apresentaram valores discrepantes que denotem uma agressão ao meio ambiente, sendo as dosagens inadequadas de nutrientes e o excesso de líquidos na irrigação, os responsáveis pela diferença de desenvolvimento das plantas.

A Tabela 4.8 observa a relação da massa fresca, massa seca, porcentagem de perda de massa, aos sólidos solúveis totais e acidez dos rabanetes.

Tabela 4.8. Relação das Massas Frescas, Secas, Perda de Massa, Sólidos Totais e Acidez dos bulbos

Tratamentos	NATURAL (g)	SECA (g)	Perda de Massa (%)	SS TOTAIS °Brix	ACIDEZ % Ac Málico
T1	11,99	0,98	91,85	4%	2,60
T2	22,20	2,01	90,97	6%	1,60
T3	23,25	2,449	89,47	9%	3,50
T4	10,82	2,03	81,24	4%	3,00
T5	10,82	1,15	89,39	8%	3,50
T6	26,95	1,61	94,02	6%	2,50
T7	22,91	1,55	93,24	7%	3,50

A Tabela 4.8 apresenta os valores de Perda de Massa, Sólidos Solúveis totais e a acidez dos bulbos do rabanete. Os teores de sólidos solúveis apresentam uma relação com o amadurecimento do fruto. De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), uma tendência de aumento dos sólidos solúveis está de acordo com aumento do teor de açúcares simples, já que, no processo de amadurecimento do fruto, seja por biossíntese, pela degradação de polissacarídeos ou pela perda de água dos frutos, há uma maior concentração dos mesmos. Pode-se observar também uma variação dos valores da acidez no bulbo do rabanete. Segundo Vilas-Boas (2002), a acidez pode aumentar

atingindo maiores proporções no decorrer do amadurecimento.

Um dos fatores que pode ter contribuído para o precário desenvolvimento dos rabanetes pode estar relacionado a quantidade e a frequência da irrigação. Para a determinação do volume de líquido a ser irrigado, utilizou-se um único lisímetro o que incorreu em um erro importante. Os vasos com diferentes dosagens de efluentes se comportam de formas diversas quanto à evaporação e lixiviação de líquidos, ocasionando um excesso de irrigação em vários vasos acarretando morte do tecido vegetal das plantas. Costa *et al.* (2006) também teve o resultado de sua pesquisa alterado em decorrência de elevadas precipitações durante o período em que o experimento era conduzido. É o que se pode observar na Figura 4.6.



Figura 4.6 – Plantas mortas por excesso de irrigação.

4.2.3 Análises laboratoriais das folhas dos rabanetes

No dia 29 de novembro de 2013, colheram-se os rabanetes da primeira semeadura e os mesmos foram separados em folhas e bulbos. Nas folhas, foi analisada a presença de macro e micro nutrientes, conforme a Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Relação das análises de micro e macro nutrientes das folhas dos rabanetes colhidos dos vasos.

	P g.kg ⁻¹	N g.kg ⁻¹	K g.kg ⁻¹	Ca g.kg ⁻¹	Mg g.kg ⁻¹	S g.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	Mn mg.kg ⁻¹	Bo mg.kg ⁻¹	Fe mg.kg ⁻¹
T1	1,30	57,00	10,00	28,60	2,90	7,81	72,50	108,00	216,00	47,92	1260,00
T2	1,32	50,52	13,00	29,50	2,70	8,23	50,50	95,00	171,00	46,13	1330,00
T3	1,50	47,34	17,00	30,70	2,75	7,86	44,00	78,00	154,00	42,98	2870,00
T4	1,33	50,52	25,00	36,25	3,45	8,00	46,00	80,50	162,00	48,60	1790,00
T5	1,36	42,78	34,00	38,30	3,30	8,60	36,50	62,00	135,50	47,92	1950,00
T6	3,71	53,46	38,20	46,65	3,30	8,28	13,00	32,50	185,00	42,98	800,00
T7	3,06	51,42	21,00	24,95	2,65	7,63	26,50	65,50	195,00	26,32	820,00

O sistema de análises realizado está em consonância com as orientações da Embrapa (1999).

De acordo com os valores de P, não houve mudança significativa de sua quantidade, entre os tratamentos com efluente tratado e a água, possivelmente devido a baixa concentração P presente no efluente tratado. Já nos tratamentos T6 e T7 houve um aumento, em comparação com o T5, de 63,34% e 55,55%, respectivamente, lembrando que, para o efluente bruto, há a presença de 0,9 g e no T6 foi adicionado 6 g por vaso.

Para o K e o Ca, pôde-se verificar, em comparação com T5, que os tratamentos de T1 a T4 tiveram maior redução desses nutrientes com a maior quantidade de efluente tratado. Já as concentrações do Cu, Zn e Mn, apresentaram um aumento nos tratamentos T1 a T4 em comparação com o T5, possivelmente relacionado com a quantidade de efluente bruto utilizada.

Outro parâmetro importante a ser observado é a presença de Fe, o qual possui maior quantidade no tratamento T3, mas com exceção desse, aparentemente a menor incidência de Fe poderia estar associada a maior quantidade de efluente aplicado, sendo que há uma concentração de 0,407 mg por vaso no tratamento T1 e de 17,289 mg por vaso no tratamento T7.

4.2.4 Análises do efluente tratado e bruto

Os efluentes captados num frigorífico de abate de suínos, foram submetidos a um tratamento por eletrofloculação com finalidade de redução de acidez, DQO (Demanda Química de Oxigênio) e de sais. A condição ótima de corrente elétrica $i = 0,8 A$ e o tempo de reação $t = 52 min$ foram definidos a partir do DCCR

apresentado anteriormente. Tais valores foram aplicados na eletrofloculação do efluente bruto, obtendo-se assim o efluente denominado tratado. Para Fornari (2007), processos convencionais de remoção de poluentes têm resultados significativamente inferiores, em comparação com a eletrofloculação. Afirma ainda que, nesse processo, o alumínio e o ferro são mais eficazes que o titânio e o grafite. Por falar em tratamentos convencionais, os agentes coagulantes utilizados nesses processos apresentam componentes tóxicos, entre eles, encontram-se os hidrocarbonetos de alto peso molecular, alguns, inclusive, encontrados em formulações de ampla aplicação agrícola. Há ainda nesses compostos os solventes de baixo peso molecular, alguns pesticidas biodegradáveis, inconveniente esse que não ocorre com a eletrofloculação. (FRANCO *et al.* 2013). Ainda segundo esse autor, esse processo facilita a recuperação da biomassa. A Tabela 4.10 relaciona a eficiência de remoção de DQO e DBO nos efluentes.

Tabela 4.10 – Eficiência de remoção de DQO e DBO dos efluentes bruto e tratado.

	Bruto (mg.L⁻¹)	Tratado (mg.L⁻¹)	Redução (%)
DQO	1580,11	676,01	67,72
DBO	569,00	69,00	87,87

Mais um fator importante a ser observado em um efluente de frigorífico é a quantidade de sais presentes nesse. Os valores de condutividade elétrica obtidas antes e após o processo de EF mostram uma redução significativa do mesmo. Os valores de condutividade elétrica para os efluentes bruto e tratado foram de $3,240 \text{ mS.cm}^{-1}$ e $1,044 \text{ mS.cm}^{-1}$, respectivamente, correspondendo a uma redução de 67,78% no valor da condutividade elétrica, valor que indica uma redução expressiva na salinidade do efluente. Entre os principais impactos negativos causados pela aplicação de efluente urbano na agricultura está a salinização do solo, o qual, se não for corrigido pode resultar em uma diminuição drástica do rendimento da cultura (BIGGS e JIANG, 2009).

Um dos problemas que podem ocorrer com a utilização da EF é a liberação de íons de alumínio no efluente. Assim, para verificar a ocorrência de alumínio nos efluentes tratados utilizou-se a Espectroscopia de Absorção Atômica para três tratamentos, sendo todos com corrente de 0,8 A e com tempos de reação $t_1 = 7 \text{ min}$, $t_2 = 15 \text{ min}$ e $t_3 = 52 \text{ min}$, realizados em duplicata. Pode-se observar na Tabela 4.6 a quantidade de alumínio presente em cada uma das amostras analisadas. Observa-se que o tempo de tratamento não foi um fator que contribuiu para o aumento da quantidade de

alumínio presente no efluente tratado. Cerqueira (2006) observou que as moléculas de óleos e graxas interagem com o hidróxido de alumínio e formam coloides que, por serem menos densos que a água, deslocam-se facilmente para a superfície, onde podem ser removidos do efluente. De acordo com a Tabela 4.11, a remoção do alumínio não varia linearmente com o tempo.

Tabela 4.11 – Quantidade de Alumínio remanescente presente no efluente em função do tempo de reação na EF.

Tempo de reação na EF(min)	Alumínio (mg.L⁻¹)
7	24,40
15	26,85
52	21,74

4.2.5 Análise do lixiviado

A Tabela 4.7 apresenta a quantidade de nutrientes adicionados a partir da irrigação durante o ciclo do rabanete. A partir desses dados vamos analisar a quantidade de nutrientes no lixiviado.

A Tabela 4.8 apresenta a análise laboratorial da presença de macro e micro nutrientes do lixiviado. O efluente denominado PT1 (100% efluente tratado), é oriundo da lixiviação do vaso T1, sucessivamente até o PT7, oriundo do vaso T7 (100% de efluente bruto). O item ÁGUA, corresponde à análise da água de poço captada na rede de abastecimento local, o item EFT, corresponde à análise do efluente tratado com eletrofloculação e EFB, corresponde à análise do efluente bruto, tal qual foi captado na fonte do frigorífico.

Com relação aos efluentes utilizados no processo de irrigação, EFT e EFB, pôde-se observar que o processo de eletrofloculação proporcionou uma redução drástica de 64,31% na acidez, 57,26% de DBO, 99,98% de Ferro, 99,56% de Fósforo total, 98,38% de Nitrogênio amoniacal, 86,96% de Nitrogênio orgânico e 92,31% de Zinco. Em alguns elementos, os valores aumentaram após a aplicação da eletrofloculação, como é o caso do aumento de 14,10% para o Ca, 37,45% para o Mg, 42,86% de Nitrito e 26,12% Nitrato. O restante dos elementos analisados não apresentaram variações aparentes como mostram as Tabelas 4.12 e Tabela 4.13.

Tabela 4.12 – Quantidade de nutrientes adicionados ao longo do ciclo do rabanete pela irrigação e a caracterização do EFT (Efluente Tratado) e EFB (Efluente Bruto).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Água	EFT	EFB
Acidez (mg.Vaso ⁻¹)	1179,7	986,4	813,6	600,0	406,8	406,8	3305,2	20	58	162,5
Cálcio (mg.Vaso ⁻¹)	288,4	253,7	219,1	184,4	149,7	149,7	247,7	7,36	14,18	12,2
DBO (mg.Vaso ⁻¹)	10780,2	8184,7	5609,1	2993,7	398,3	398,3	25221,6	19,58	530	124
Ferro (mg.Vaso ⁻¹)	0,41	0	0,2	0,1	0	0	17,29	0	0,02	0,85
Fósforo T(mg.Vaso ⁻¹)	3,86	3,86	4,06	3,86	3,86	3,90	885,2	0,19	0,19	43,52
Magnésio (mg.Vaso ⁻¹)	67,94	53,29	38,65	24	9,36	9,3564	108,62	0,46	3,34	5,34
Manganês (mg.Vaso ⁻¹)	0,2	0,15	0,1	0,05	0	0	0,2	0	0,01	0,01
Nitrato (mg.L ⁻¹)	272,6	244,1	215,6	187,1	158,6	158,7	201,37	7,8	13,4	9,9
Nitrito(mg.Vaso ⁻¹)	142,38	116,96	93,56	66,11	40,68	40,68	81,36	2	7	4
Nitrog. Am(mg.Vaso ⁻¹)	20,34	24,41	28,48	32,54	36,61	36,61	1252,9	1,8	1	61,6
NTK (mg.Vaso ⁻¹)	42,71	42,71	44,85	42,71	42,71	42,71	327,47	2,1	2,1	16,1
pH	7,4	7,55	7,7	7,85	8	8	6,7	8	7,4	6,7
Potássio (mg.Vaso ⁻¹)	589,9	447,5	306,1	162,7	20,3	20,3	630,5	1	29	31
Zinco (mg.Vaso ⁻¹)	0,2	0	0,1	0,05	0	0	2,64	0	0,01	0,13
Alumínio (mg.Vaso ⁻¹)	0	0	0	0	0	0	16,84	0	0	0,83

Tabela 4.13. Relação das análises de macro e micro nutrientes do efluente lixiviado dos vasos, da água de poço da rede de abastecimento, do efluente tratado com eletrofloculação e do efluente bruto captado na fonte do frigorífico.

	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7
Acidez (mg.L ⁻¹)	12	21	16	43	31	15	48
Cálcio (mg.L ⁻¹)	159,78	124,8	148,4	37,42	15,64	183,3	187,92
DBO (mg.L ⁻¹)	81,6	46	37	42	4,08	6,8	32,5
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,02	0,01	0,01	0,03	0,05	0,01	0,09
Fósforo T. (mg.L ⁻¹)	1,12	0,37	0,56	0,19	0,37	0,19	0,74
Magnésio (mg.L ⁻¹)	12,16	7,16	11,48	1,78	0,56	19,32	20,06
Manganês (mg.L ⁻¹)	0,3	0,04	0,02	0,01	0,01	0,03	0,33
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,3	12,3	10	8,2	8	8,4	9,1
Nitrito(mg.L ⁻¹)	1	1	1	3	2	3	4
Nitrog. Am. (mg.L ⁻¹)	2,8	0,58	1,8	1,3	3,1	0,7	3,8
NTK (mg.L ⁻¹)	3,5	1,4	2,1	2,8	4,2	2,1	4,2
pH	7,7	6,7	6,9	6,4	6,3	6,5	6,5
Potássio (mg.L ⁻¹)	7	5	11	2	1,9	13	19
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,06	0,03
Alumínio (mg.L ⁻¹)	0	0	0	0,47	0,72	0,14	0,22

Resolução CONAMA N^o 430 de 13/05/2011 Metodologia: *Official Methods of Analyses of the Association of Official Analytical Chemistists.*

Com relação ao efluente, pôde-se observar que a acidez foi maior para o lixiviado PT7, irrigado com efluente bruto, o qual possui maior valor de acidez. Já para os demais tratamentos não se encontrou uma variação significativa que pudesse estar associada à irrigação com efluente tratado. Vale ressaltar a resolução do CONAMA (2011) que delibera sobre o uso racional dos meios, buscando coibir atividades potencialmente poluidoras, no trato com as águas subterrâneas. Nesse sentido, o efluente tratado se aproxima mais do índice recomendado pelo órgão em questão.

Com relação ao Ca, quando comparados os tratamentos com efluente tratado e água, pôde-se observar um aumento crescente em sua quantidade relacionada à quantidade de efluente usada, com excesso do PT2, o qual apresentou um valor um pouco inferior ao PT3. O PT7 também apresentou maior presença de Ca, possivelmente relacionado a quantidade de Ca presente no efluente bruto. Ainda pelas deliberações do CONAMA (2011) em se tratando do cuidado com a água subterrânea, o órgão determina o controle para garantir as funções social, econômica e ambiental desse recurso.

4.2.6 Análises laboratoriais de solo

Inicialmente, antes da semeadura dos rabanetes, foram realizadas análises de micro e macro nutrientes das amostras do solo utilizado para a semeadura o rabanete, que propositadamente foi coletada de uma área de barranco, nunca antes cultivada, com finalidade de verificar a real ação dos efluentes de frigorífico de suínos na contribuição como insumo agrícola e sua consequência no desenvolvimento das plantas. Posterior à colheita, foram realizadas as mesmas análises já com a presença dos nutrientes provenientes dos efluentes, adubação química no tratamento T6 e água de poço, conforme a Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Relação das análises de macro e micro nutrientes do solo dos vasos de rabanetes após a colheita.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	PAD
Cálcio (cmol _c .dm ⁻³)	4,2	4,64	4,34	5,01	4,66	6,03	4,81	4,46
Magnésio (cmol _c .dm ⁻³)	0,73	0,7	0,7	0,78	0,72	0,81	0,76	0,63
Potássio (cmol _c .dm ⁻³)	0,32	0,25	0,32	0,23	0,23	0,48	0,3	0,2
Alumínio (cmol _c .dm ⁻³)	0,04	0,17	0,12	0,19	0,25	0,14	0,08	0,38
H+Al (cmol _c .dm ⁻³)	4,96	5,35	4,96	5,35	5,35	5,76	4,96	5,76
SB (cmol _c .dm ⁻³)	5,25	5,59	5,36	6,02	5,51	7,32	5,87	5,29
T (cmol _c .dm ⁻³)	10,21	10,94	10,32	11,37	10,96	13,08	10,83	11,05
Carbono (g.dm ⁻³)	9,75	9,36	10,01	9,23	9,88	10,14	8,84	8,32
MO (g.dm ⁻³)	16,77	16,1	17,22	15,88	16,99	17,44	15,2	14,31
Alumínio (%)	0,76	2,95	2,19	3,06	4,27	1,88	1,34	6,7
V (%)	51,42	51,1	51,94	52,95	51,19	55,96	54,2	47,87
Fósforo (mg.dm ⁻³)	3,72	3,6	3,22	2,29	2,85	48,42	5,15	1,67
pH	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,7	4,8	4,5

Extrator Melich: K, P, Extrator KCl: Mg e Al; Extrator Fosfato de Cálcio: S;H+Al: H+ Alumínio; SB: Soma das bases; T: CTC, capacidade de troca de cátions; MO: Matéria orgânica; V: Saturação de bases; PAD: solo padrão, sem tratamento algum.

Comparando os valores do solo para os sete tratamentos com o solo padrão, PAD, observa-se maiores variações no tratamento T6, o que já era esperado devido ao adicionamento de adubação química NPK. Já os demais tratamentos tiveram pequenas variações. Mesmo assim, pôde-se verificar que, em alguns elementos, como no caso do Al, H+Al e Al, há uma aparente diminuição em função da quantidade de efluente tratado, e ainda, o mesmo pôde ser observado para o tratamento T7 (efluente bruto). Supostamente, o efluente tratado e o efluente bruto estão contribuindo de alguma forma para a diminuição da quantidade de Al solúvel presente nos solos analisados. É possível afirmar que o uso do efluente tratado na fertirrigação contribui para o aumento de conteúdo de biomassa no solo. Para Gregorich *et al.* (1994) o solo rico em biomassa é capaz de estocar e processar mais nutrientes no sistema.

Com relação ao P, PRe (fósforo remanescente), PCP (nível crítico de fósforo) e PR (fósforo relativo), pôde-se verificar um aparente aumento relativo de valores relacionados à maior quantidade de EFT aplicado, no caso dos tratamentos T1, T2, T3 e T4, quando comparados com o T5 (água). Já era esperado, pois o efluente, mesmo eletrofloculado, possui uma quantidade de fósforo de 0,19 mg.L⁻¹. O mesmo é observado no tratamento T7, mas em maior intensidade, o que reflete ao fato do EFB ter uma quantidade de fósforo, 43,52 mg.L⁻¹.

Ao verificar o Magnésio, observa-se também um aumento aparente relacionado à quantidade de efluente utilizado no processo de irrigação. No caso do EFT, quando comparado com o tratamento T5, é possível visualizar um aumento crescente relacionado à quantidade maior de efluente irrigado, mas os valores de Mg para o tratamento T1 e T7 são próximos às análises do solo padrão.

Com relação ao pH, o mesmo possui valores próximos, relativamente maiores, ao valor padrão, possivelmente pouco influenciado pelo efluente. Tal fator pode ser devido ao curto período de irrigação e/ou quantidade de efluente aplicado, já que o pH dos efluentes foi de 7,4 e 6,7, para EFT e EFB, respectivamente. Segundo estudos apresentados pela EMBRAPA (2011) a grande maioria das hortaliças preferem que o pH do solo se mantenha a um valor de 6,0 a 6,5. Cerqueira (2006) afirma que a eletrofloculação apresenta vantagens significativas no tratamento de efluentes. Entre elas, está a capacidade de neutralizar o pH. Dessa forma, há a perspectiva de que o valor se aproxime mais do padrão desejável. Em caso de efluentes ácidos, a redução de hidrogênio no catodo contribui para a elevação do valor do pH.

Os demais elementos apresentados não demonstraram significativa mudança quando comparados com o solo PAD. Para Cerqueira (2006) há reações que participam desse equilíbrio, entre elas, a hidrólise do alumínio ou ferro, a formação de oxigênio no anodo e a liberação do CO₂ pelo borbulhamento de hidrogênio no catodo. Nesse contexto, faz-se necessário apontar que, no tratamento T6, essas mudanças aconteceram devido à presença de adubação química adicionada.

4.3 SEGUNDA SEMEADURA

Diferentemente do primeiro, nessa segunda semeadura foram utilizados efluentes tratados e brutos para fertilização parcial do solo e complementado com fertilizantes formulados químicos, como já foi explanado no capítulo 3.2.4.2.

4.3.1 Crescimento do rabanete

Os rabanetes foram semeados no dia 28/03/2014, a germinação ocorreu no dia 5 de abril de 2014, 8 dias após a semeadura.

Para a obtenção dos dados, foi realizada uma média e aplicada à análise de variância Anova seguida do teste Tukey para a análise estatística com probabilidade de 5% ($p < 0,05$). Pode-se observar que, para 5 dias após a semeadura, não há diferença estatística entre as alturas para os tratamentos apresentados. Para 10 dias, os tratamentos T1, T2 e T3 diferem estatisticamente da amostra controle (T4) e essa diferenciação permanece até a colheita dos rabanetes. A partir do 15º dia, os tratamentos T1 e T2 diferem do T3, mas T1 e T2 permanecem indistinguíveis estatisticamente até a colheita, Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Valores médios de crescimento em altura das plantas de rabanetes e o desvio padrão em função de dias após semeadura.

Dias	T1	DP1	T2	DP2	T3	DP3	T4	DP4
5	2,2 a	0,42	2,2 a	0,40	2,4 a	0,41	2,0 a	0,28
10	6,1 b	0,92	6,3 b	1,42	5,4 b	0,87	4,5 c	0,66
15	12,3 d	1,45	11,7 d	1,83	11,1 e	2,96	5,8 f	0,92
20	16,5 g	1,83	15,5 g	2,66	15,1 h	1,47	8,8 i	1,59
24	18,9 j	2,85	18,4 j	2,67	17,0 k	1,57	9,8 l	1,95
28	22,3 m	3,21	21,8 m	3,48	20,2 n	2,38	11,3 o	2,68
31	23,8 p	3,25	23,7 p	3,26	22,0 q	2,62	12,4 r	2,13

Médias seguidas pela mesma letra na linha e coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey com 5% de probabilidade ($p < 0,05$). DP: Desvio padrão da média.

A Figura 7 mostra graficamente os crescimentos dos rabanetes dos tratamentos T1 a T4.

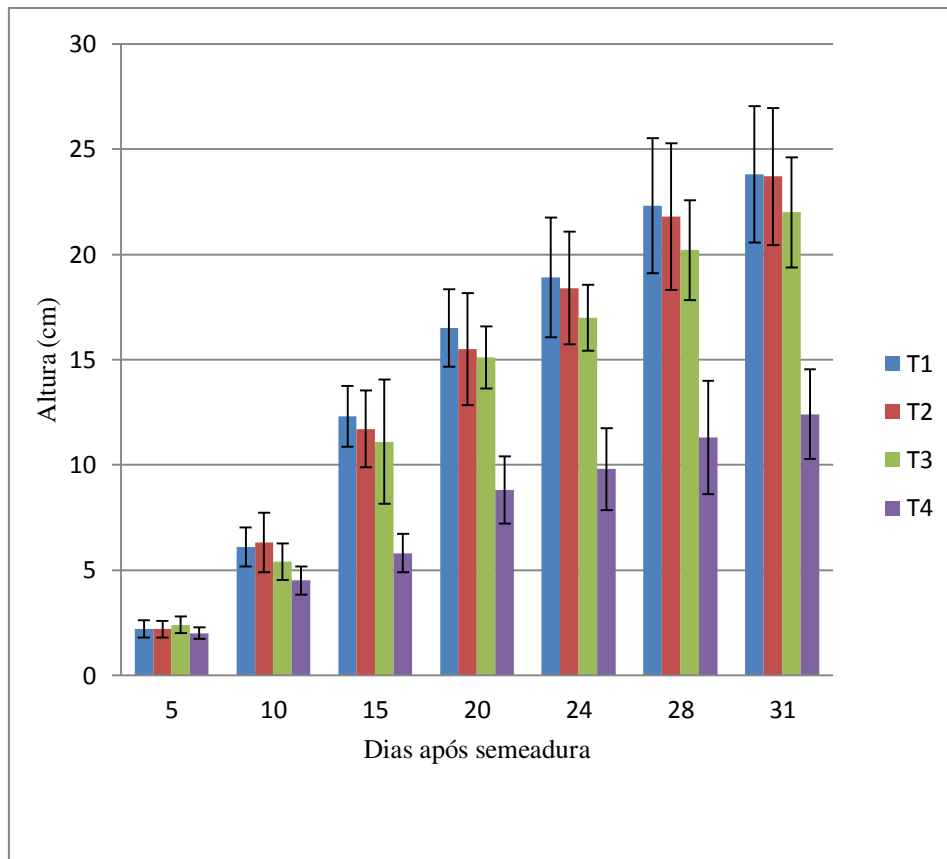


Figura 4.7 – Média do crescimento acompanhado do desvio padrão.

A partir da Figura 4.8, pode-se observar que os tratamentos T1, T2 e T3 possuem curva de crescimento semelhantes, pois o coeficiente angular entre eles é próximo. O coeficiente angular pode ser associado a um fator de crescimento, evidenciando, assim, uma maior taxa de crescimento para o tratamento T1. Já o tratamento T4 possui a menor taxa de crescimento, como já era esperado. Custódio (2014), que também obteve uma baixa produtividade no plantio orgânico dessa leguminosa, atribuiu tal ocorrência pelo tempo reduzido do ciclo da cultura, que impossibilitou a liberação de alguns nutrientes pelo composto orgânico utilizado.

A Figura 4.8 mostra o ajuste linear, no qual a inclinação da reta representa a taxa de crescimento em todo o intervalo do cultivo dos rabanetes. De acordo com os resultados, podemos observar que os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram uma taxa de $0,887 \text{ cm.dia}^{-1}$, $0,854 \text{ cm.dia}^{-1}$ e $0,729 \text{ cm.dia}^{-1}$, respectivamente, apresentando valores próximos. Já o tratamento T4 apresentou uma taxa menor que os demais, correspondendo a $0,4048 \text{ cm.dia}^{-1}$, demonstrando que a falta de nutrientes prejudicou o crescimento dos rabanetes. Pelas constatações feitas por Linhares (2010), o cultivo dessa planta torna-se inviável se a disponibilidade de nutrientes e a exigência da cultura

não estiverem em sincronia.

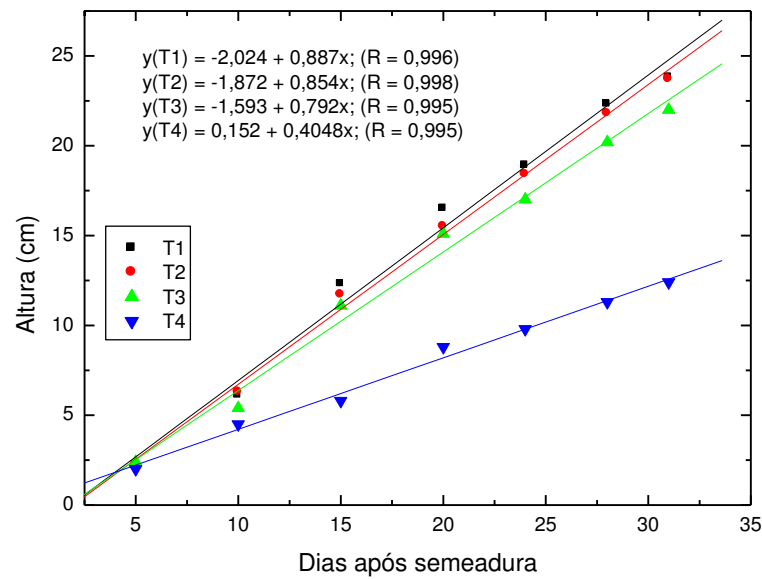


Figura 4.8 Taxa de crescimento do rabanete.

4.3.2 Análises laboratoriais das folhas dos rabanetes

A Tabela 4.16 apresenta os valores dos principais nutrientes analisados na folha do rabanete. Pode-se observar que o K e o Ca apresentaram valor menor do que o valor de referência, em todos os tratamentos, o B apresentou valor abaixo da referência apenas para os tratamentos T1 e T2, e todos os tratamentos apresentaram um teor de Fe acima dos valores de referência. Batista *et al.* (2013) constatou que o volume de massa da parte aérea dos rabanetes é proporcional à quantidade de nutrientes incorporados ao solo.

Tabela 4.16 – Análise físico-químicas das folhas. ⁽¹⁾

Elementos analisados	T1	T2	T3	T4	Referência
P (g.kg ⁻¹)	3,54 a	3,77 a	3,85 a	2,03 b	3-7 ⁽¹⁾
N (g.kg ⁻¹)	43,38 a	47,57 a	48,61 a	45,22 a	30-60 ⁽¹⁾
K (g.kg ⁻¹)	24,8 a	23,8 a	33,86 b	33,24 b	40-75 ⁽¹⁾
Ca (g.kg ⁻¹)	37,21 a	37,14 a	38,13 a	35,29 a	30-75 ⁽¹⁾
Mg (g.kg ⁻¹)	3,29 a	3,94 ab	3,98 b	3,93 ab	5-12 ⁽¹⁾
S (g.kg ⁻¹)	11,61 a	11,88 a	15,00 b	17,86 c	-
Cu(mg.kg ⁻¹)	11,70 a	13,60 a	14,10 a	17,80 b	5-25 ⁽²⁾
Zn (mg.kg ⁻¹)	38,10 a	33,30 a	32,80 a	36,30 a	20-250 ⁽²⁾
Mn (mg.kg ⁻¹)	189,50 a	213,10 b	140,00 c	91,60 d	30-250 ⁽²⁾
B (mg.kg ⁻¹)	19,89 a	23,54 ab	25,83 b	29,84 b	25-125 ⁽²⁾
Fe (mg.kg ⁻¹)	370,40 a	350,80 a	363,10 a	423,00 b	50-200 ⁽²⁾

Teores de referência de acordo com Silva (1999) e ⁽²⁾ Manual Embrapa disponível em: http://www.sbcns-nrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf

A partir da Perda de Massa (PM) foliar, na Figura 4.9, pode-se observar que os tratamentos 1, 2 e 3 obtiveram estatisticamente a mesma perda, em porcentagem. Já o tratamento T4 obteve uma perda menor.

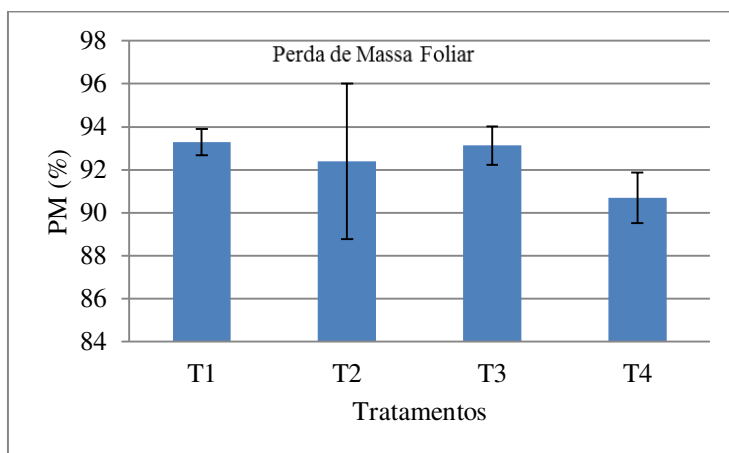


Figura 4.9 – Perda de massa foliar.

As médias de massa seca das folhas dos rabanetes encontradas foram: 0,9047 g para T1, 1,04118 para T2, 0,7077g para T3 e 0,9593 g para T4. Apesar da massa seca das folhas do tratamento T3 apresentar um menor valor que os demais, não se constatou diferença significativa estatisticamente, indicando assim que, dentre os tratamentos utilizados para adubação, não houve efeitos significativos. Em um procedimento

experimental do cultivo do rabanete utilizando-se diferentes doses de húmus de minhoca e esterco bovino, Silva *et al.* (2006) observou a não-diferenciação da massa seca das plantas analisadas.

4.3.3 Bulbos dos rabanetes

Os valores da média da acidez e do grau Brix dos bulbos estão apresentados na Tabela 4.17. Com relação à acidez, pode-se observar que não houve diferença estatística entre os tratamentos T1 e T2. O tratamento T4 foi o que apresentou o maior valor para a acidez. Já o grau Brix não apresentou diferença estatística para os valores obtidos pela análise.

Tabela 4.17 Acidez média dos rabanetes e o desvio-padrão.

Tratamentos	Média da Acidez	DP Acidez	Grau Brix	DP Grau Brix
T1	0,548 ac	0,04322	4 a	0,5
T2	0,666 ab	0,01028	3,6 a	0,3
T3	0,484 c	0,01233	4,6 a	0,8
T4	1,058 b	0,19867	5 a	1

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey com 5% de probabilidade ($p < 0,05$). DP: Desvio padrão da média.

Na Tabela 4.18 pode-se observar a massa média e o diâmetro médio, com os respectivos desvios padrões dos bulbos. Os valores de massa e de diâmetro são estatisticamente iguais entre os tratamentos T1 e T2 e ambos diferem de T3 e T4.

Tabela 4.18 Massa e diâmetro médio dos bulbos.

Tratamentos	Massa (g)		Diâmetro (cm)	
	Média	DP	Média	DP
T1	20,59 a	4,5157	3,22995 a	0,43038
T2	20,38 a	1,0117	3,13785 a	0,44022
T3	15,55 b	1,5522	2,71775 b	0,40348
T4	7,67 c	1,0597	1,8831 c	0,86389

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey com 5% de probabilidade ($p < 0,05$). DP: Desvio padrão da média.

O tratamento T1, que utilizou efluente eletroflocculado produziu bulbos cuja média das massas é igual a 20,59 g, que representa uma produtividade de 1,816 kg.m⁻². O tratamento T2 que utilizou efluente bruto produziu bulbos cuja média das massas é igual a 20,38 g, que representa uma produtividade de 1,798 kg.m⁻². O tratamento T3 adubado com fertilizantes químicos (NPK) produziu bulbos cuja média das massas é igual a 15,55 g, que representa uma produtividade de 1,372 kg.m⁻². O tratamento T4 que não foi contemplado com qualquer tipo de fertilizante produziu bulbos cuja média das massas é igual a 7,67 g, que representa uma produtividade de 0,677 kg.m⁻². Linhares (2010) defende que o efeito residual dos compostos adicionados ao solo no manejo da cultura corresponde a um significativo acréscimo no valor médio da massa dos bulbos e folhas dos rabanetes. A Figura 4.10 mostra a foto de alguns bulbos para todos os tratamentos para a repetição 1.

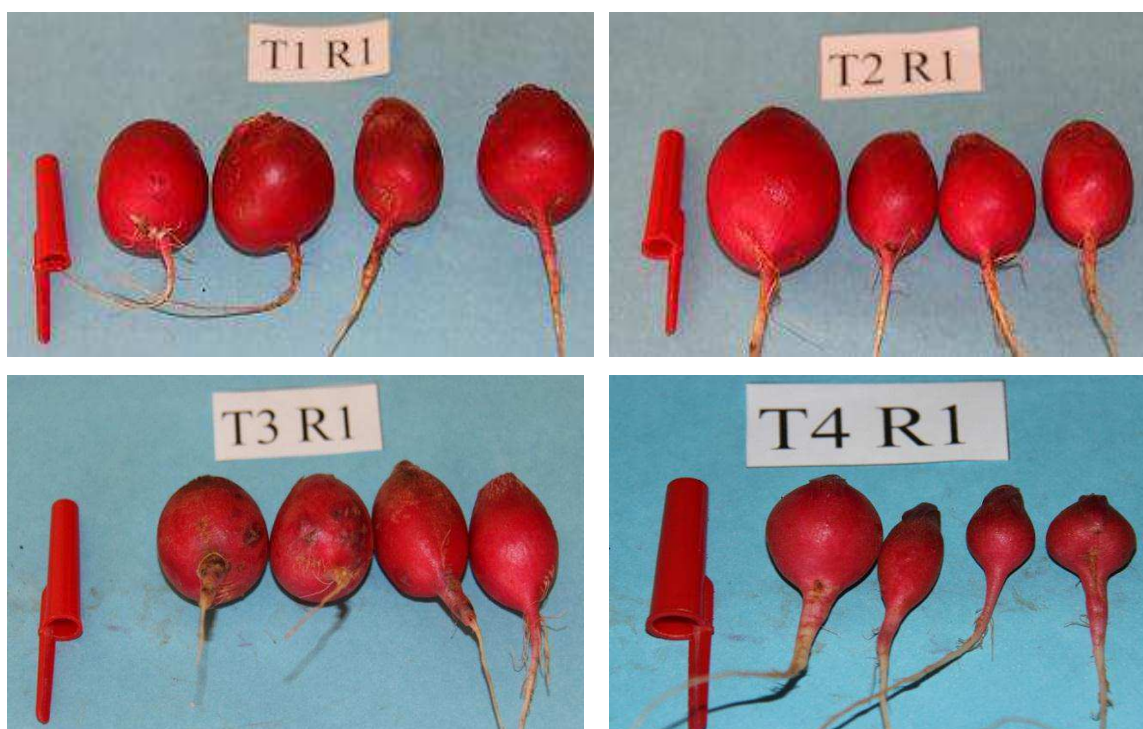


Figura 4.10 – Fotos dos bulbos dos quatro Tratamentos Repetição 1 (um).

O tratamento T1 foi o que apresentou a melhor qualidade dos bulbos, tendo, salvo algumas exceções, dimensões superiores à medida do comercialmente aceita, conforme a Figura 4.11

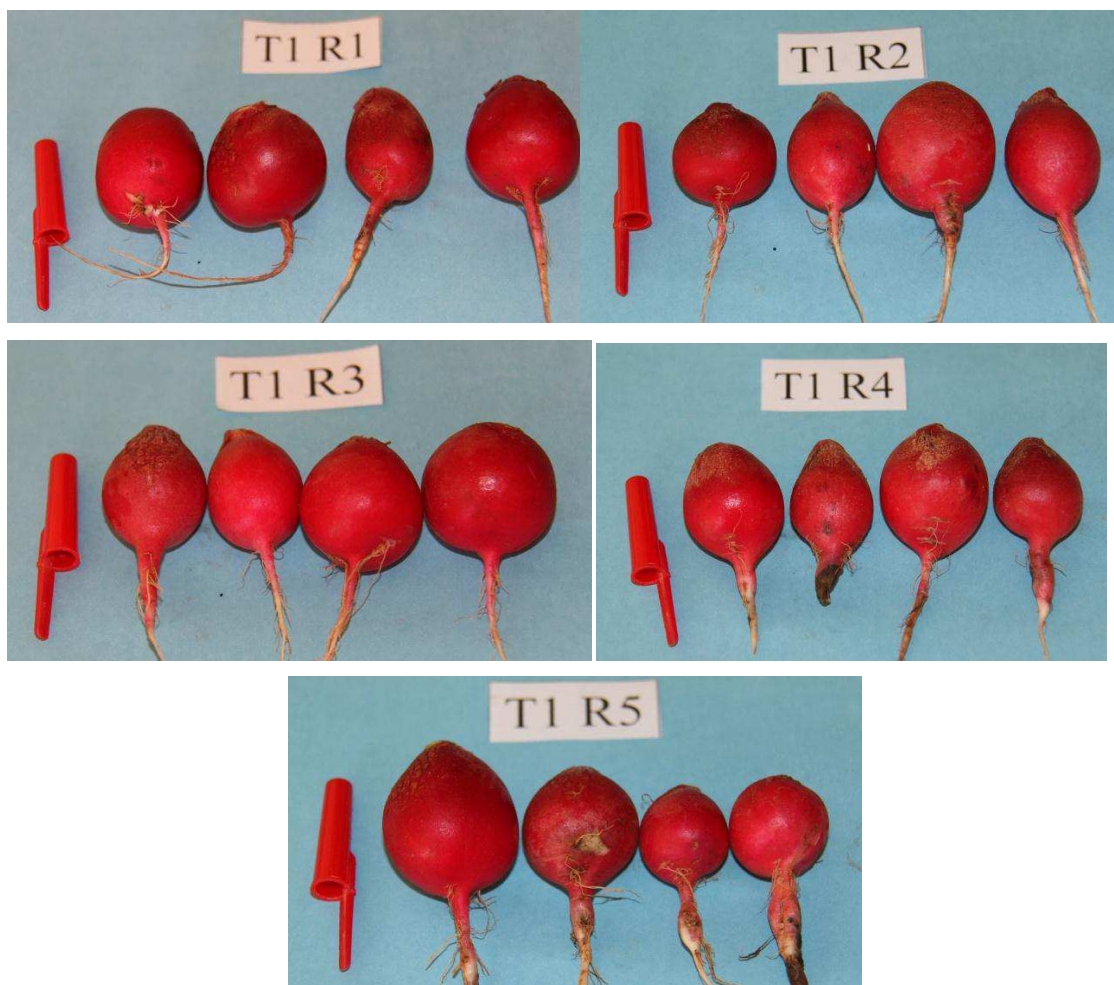
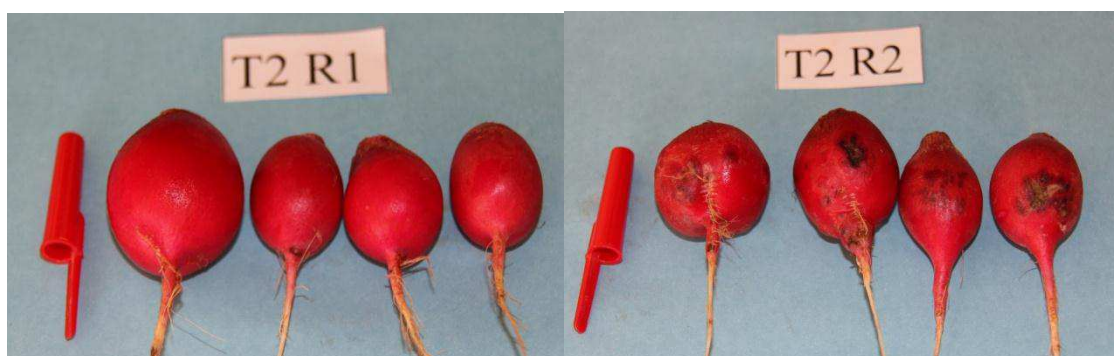


Figura 4.11 – Imagens dos rabanetes do tratamento T1.

Em termos de qualidade, os rabanetes do tratamento T2, fertilizados com efluente bruto mais adubo químico (NPK), apresentaram dimensões comercialmente aceitáveis, porém 25% dos bulbos sofreram algum tipo de dano na sua aparência. Cerqueira (2006) afirma que os micro-organismos presentes nos efluentes alteram o ciclo biológico das plantas e afetam a fotossíntese. Danos dessa interferência podem ser identificados nas imagens da Figura 4.12.



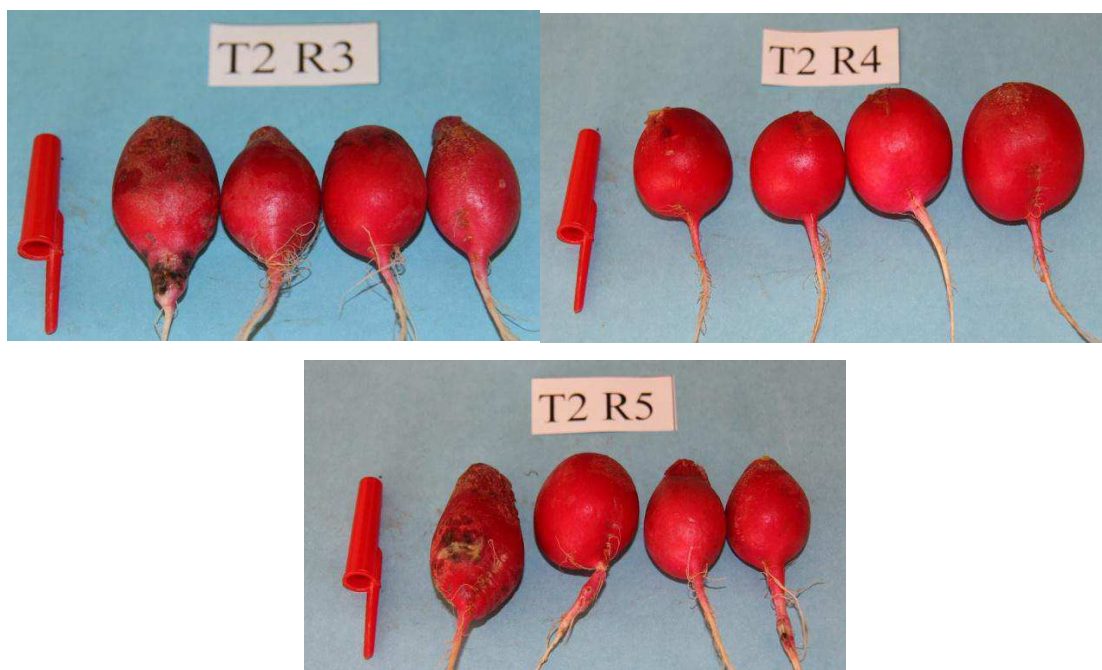


Figura 4.12 – Imagens dos rabanetes do tratamento T2.

Com relação aos valores de ácido ascórbico (AA) obtidos nos bulbos com e sem casca, pode-se observar que os bulbos dos tratamentos T1, T2 e T3 não diferem estatisticamente entre eles, e o tratamento T4 os resultados diferenciados dos demais tratamentos como mostra a Figura 4.13. Pode-se observar ainda que, aproximadamente, metade do teor AA encontra-se presente na casca do rabanete.

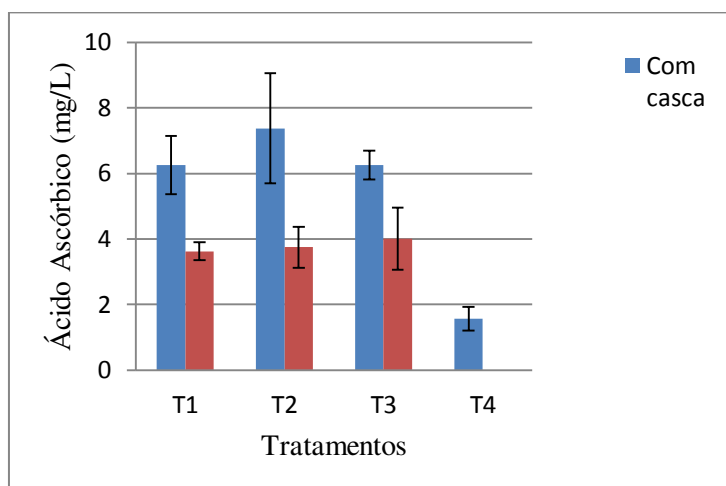


Figura 4.13 – Relação de Ácido Ascórbico nos rabanetes.

Os valores de AA estão relacionados com os teores de vitamina C nos alimentos. De acordo com Lee e Kater (2000) a maioria das culturas hortícolas apresentam como 90% de proporções de AA no teor de vitamina C. A relação entre os valores nutricionais

e o tipo de adubação ou sistema de cultivo, ainda é pouco compreendido, mas através dos resultados apresentados, pode-se verificar, que a adubação e o sistema de cultivo adotado, não influenciaram significativamente os tratamentos T1, T2 e T3. Fica apenas evidente que a falta de nutrientes adicionados ao solo prejudicou, de alguma forma, o desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, houve um menor teor de AA. Num estudo sobre o teor de vitamina C nos rabanetes, Custódio (2014) identificou que o melhor índice desse nutriente ocorreu com adubação organomineral, já que a adubação orgânica não teve o tempo suficiente para a mineralização dos nutrientes e o uso de fertilizantes causou stresse salino nas plantas.

4.3.4 Análises do efluente tratado e bruto

Nesse plantio, todo o efluente utilizado para irrigação foi coletado em um único dia para evitar possível diferença de compostos químicos e orgânicos presentes, pois há uma variação diária desses elementos presentes no efluente. Foi realizada uma nova análise para o EFB e EFT, a qual pode ser observada na Tabela 4.13. O EFT foi obtido utilizando a condição ótima de corrente e tempo de tratamento pré-estabelecido pela matriz DCCR, os quais foram de 0,8 A e 52 min, respectivamente.

Novamente pôde-se observar a redução significativa na acidez, fósforo, nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, como demonstra a Tabela 19. A técnica tem uma boa eficiência na redução da DQO, quando são utilizados eletrodos de alumínio. Apresenta também uma grande vantagem devido ao baixo consumo de energia elétrica para tratamento dos efluentes (FORNARI, 2007).

Tabela 4.19 Parâmetros químicos dos efluentes bruto e tratado.

Determinação	Bruto (mg.L⁻¹)	Tratado (mg.L⁻¹)	Referência
Acidez	3,2	0,63	
Cálcio	12,8	11,6	
Ferro	0,28	0,16	
Fósforo Total	4,7	0,1	
Magnésio	6,3	4,2	
Manganês	0,1	0,1	0,1 mg.L ⁻¹
Nitrato	42,6	6,6	10 mg.L ⁻¹
Nitrito	6	5	1 mg.L ⁻¹
Nitrogênio Amoniacal	98	79,52	0,1 mg.L ⁻¹
NTK–Nitrogênio Orgânico + Amoniacal	29,4	19,6	0,1mg.L ⁻¹
pH	6,85	7,57	5,0 – 9,0
Potássio	0,25	0,12	
Zinco	1,17	0,996	0,1mg.L ⁻¹

Os parâmetros em negrito acima encontram-se fora de conformidade com os padrões do CONAMA (2011).

4.3.5 Análises laboratoriais de solo

A Tabela 4.20 mostra a média a análise do solo após a colheita do rabanete em cada um dos tratamentos realizados. As letras que seguem os valores das médias representam a análise estatística realizada a partir do teste Tukey com 5% de probabilidade, na qual as letras iguais na mesma linha indicam que esses valores não diferem estatisticamente.

De acordo com a Tabela 4.20 é possível observar que, comparado à análise da terra padrão PAD, ocorreu variação de alguns elementos químicos. Entre os que sofreram maiores variações, encontrou-se uma diminuição considerável do alumínio e um acréscimo importante de fósforo, supostamente devido à fertilização NPK. Os demais elementos sofreram pequenas variações porém, tanto o efluente bruto como o tratado, indicam presença dos elementos, os quais, entende-se, que foram transferidos para as folhas conforme o estudo feito da parte aérea das plantas a seguir. Castilhos *et al.* (2002) verificaram que as folhas dos rabanetes absorveram os resíduos químicos presentes no lodo de curtume de forma bem mais significativa que as raízes.

Tabela 4.20 – Valores da análise de solo após a colheita dos rabanetes.

Determinação	T1	T2	T3	T4	PAD
Cálcio (cmol.dm ⁻³)	4,64 a	4,492 a	4,572 a	4,42 a	4,46
Magnésio (cmol.dm ⁻³)	0,838 a	0,784 ab	0,714 bc	0,682 c	0,63
Potássio (cmol.dm ⁻³)	0,262 a	0,362 b	0,280 a	0,212 c	0,2
Alumínio (cmol.dm ⁻³)	0,138 a	0,096 b	0,266 c	0,206 c	0,38
H+Al (cmol.dm ⁻³)	5,272 a	4,96 b	5,596 c	5,32 a	5,76
SB (cmol.dm ⁻³)	5,740 a	5,638 a	5,566 b	5,314 b	5,29
CTC (cmol.dm ⁻³)	11,012 ab	10,598 a	11,162 b	10,876 ab	11,05
Carbono (g.dm ⁻³)	6,500 a	6,552 a	6,188 a	6,422 a	8,32
MO (g.dm ⁻³)	11,182 a	11,270 a	10,642 a	11,046 a	14,31
Alumínio (%)	2,342 a	1,686 b	4,578 c	3,756 c	6,7
Sat. de base (%)	52,11 ab	53,182 a	49,842 b	49,106 b	47,87
Fósforo (mg.dm ⁻³)	25,074 a	19,864 a	20,854 a	2,98 b	1,67
Ferro (mg.dm ⁻³)	34,956 a	31,012 b	33,178 ab	31,166 b	34,91
Manganês (mg.dm ⁻³)	43,010 a	43,566 a	36,138 b	36,106 b	56,38
Cobre (mg.dm ⁻³)	10,768 a	11,394 a	10,988 a	11,052 a	10,24
Zinco (mg.dm ⁻³)	1,722 a	1,712 a	1,650 a	1,730 a	0,98
pH	4,68 a	4,74 b	4,6 c	4,62 c	4,5
Pre (mg.dm ⁻³)	15,848 ab	17,63 a	17,298 a	15,704 b	10,54
NCP (mg.dm ⁻³)	10,700 a	10,845 a	10,717 a	10,195 a	8,221
PR (mg.dm ⁻³)	234,0528 a	182,1648 a	194,2078 a	29,0876 b	20,314

Extrator Melich: K, P, Fe, Mn, Cu e Zn; Extrator KCl: Mg e Al; Extrator HCl 0,05 N: B; Extrator Fosfato de Cálcio: S; H+Al: H+ Alumínio; SB: Soma das bases; T: CTC, capacidade de troca de cátions; MO: Matéria orgânica; V: Saturação de bases; Pre: Fósforo remanescente; NCP: Nível crítico de fósforo; PR: fósforo relativo (%); PAD: solo padrão, sem tratamento algum.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey com 5% de probabilidade (p<0,05). DP: Desvio padrão da média.

5 CONCLUSÃO

Como parâmetros ótimos para o tratamento do efluente de frigorífico para os valores analisados obteve-se 52,42 min para o tempo de tratamento e, como a corrente elétrica não foi significativa no processo de tratamento, a mesma foi fixada no valor mínimo testado no processo, de 0,8 A.. Os resultados obtidos mostraram que a condição ótima estabelecida pelo método analisado correspondeu a uma redução de 81,6 % da DQO. Com as reduções da DQO, acidez, nitrato e nitrito pode-se favorecer a utilização de um maior volume de efluente eletrofloculado aplicado na agricultura.

De acordo com o plantio 1, foi possível verificar que a aplicação de efluentes eletrofloculados, no cultivo do rabanete vermelho, não afetou significativamente o perfil do solo padrão, nem o desenvolvimento aéreo do rabanete vermelho, independente da quantidade que foi aplicada. Todas as plantas irrigadas com efluentes eletrofloculados tiveram o mesmo perfil de crescimento, diferenciando apenas da taxa de desenvolvimento das plantas que receberam dosagem extra de nutrientes, tanto químico quanto do próprio efluente bruto.

No plantio 2, os tratamentos T1 e T2, fertilizados com adubação química complementar e efluente tratado e bruto, respectivamente, apresentaram uma melhor qualidade dos bulbos em comparação com os demais tratamentos, tendo uma maior média de massa e diâmetro. Porém, no tratamento T2, 25% dos bulbos sofreram algum tipo de dano na sua aparência, prejudicial ao comércio. Além do mais, foi possível destinar um volume maior de efluente tratado no solo em comparação ao efluente bruto.

Os resultados do tratamento T1 do plantio 2 foram os de melhor qualidade, não apresentando rachaduras tampouco isoporização, e uma economia de 119,48 kg de sulfato de amônio.

Diante das pressões ambientais, econômicas e sociais que têm fomentado inúmeras discussões em favor de uma sociedade que prima pela sustentabilidade, buscar a utilização de recursos naturais finitos como a água, através da descoberta de formas de reúso desse recurso deve permear o propósito dos pesquisadores da contemporaneidade. Nesse sentido, os resultados dessa pesquisa, como um todo, vêm contribuir para que se possa, no futuro, chegar a uma condição economicamente viável, para que as necessidades dos projetos agrícolas, como a irrigação, sejam parcialmente supridas com água de reúso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELLAH, A.R.; ASHBOLT, T.N. *Innovative production treatment hydroponic farm for primary sewage utilization Water Resource*. Bethesda, v. 34 p 825-834, 2000.

APHA - *American Public Health Association*; AWWA - *American Water Works Association*; WEF - *Water Environment Federation*. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21ed. Washington: APHA, 1600p, 2005.

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P.R. *Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 53-62, 1999.

BATISTA, M.A.V.; BEZERRA, NETO F; AMBROSIO, M.M.Q.; GUIMARÃES, L.M.S.; SARAIVA, J.P.B.; SILVA, M.L.. 2013. *Atributos microbiológicos do solo e produtividade de rabanete influenciados pelo uso de espécies espontâneas*. Horticultura Brasileira 31: 587-594.

BERNARDO, L. D.; *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*, 1ª ed., ABES: Rio de Janeiro, 1993.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. *Seeds: physiology of development and germination*. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

BIGGS, T.W.;JIANG, B.;*Soil salinity and exchangeable cations in a wastewater irrigated area India*. Journal of Environmental Quality, Madison, v. 38,p887-896, 2009.

BORBA, F. H. *Aplicação dos processos foto – fenton e eletrofloculação no tratamento de efluente de curtume*. 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Pós - Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrão de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente*

BREGONCI, I.S.; ALMEIDA, G.D.; BRUM, V.J.; ZINI J'UNIOR, A.; REIS, E.F. *Desenvolvimento do sistema radicular do rabanete em condições de estresse hídrico*. Revista Idesia, v.26, n.1, p.33-38, 2008.

CAMARGO, G.A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I.C.S.; MIELI, J.; SASSAKI, E.K. *Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais*. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 1, p. 181- 195, 2007.

CAPRA, A.; SCICOLONE. B. *Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation*. Agricultural Water Management. Amsterdam v. 68, p.135-149, 2004.

CASTILHOS, D.D.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C.; *Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e crômio hexavalente*. Rev. Brasileira de Ciências do Solo., 26:1083-1092, 2002

CERQUEIRA, A.A., *Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis*. Rio de Janeiro. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006 111p, Dissertação de Mestrado;

CHRISTOFIDIS, D. *Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo*. Revista Item Irrigação e Tecnologia, Brasília v. 49 p 8-13, 2001.

COSTA CC; OLIVEIRA CD; SILVA CJ; TIMOSSI PC; LEITE IC. 2006. *Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos*. Horticultura Brasileira, 24: 118-122.

CRESPILHO, F.N., REZENDE, M.O. *Eletrofloculação, Princípios e Aplicações* Editora Rima, São Carlos 1ª Edição 96p; 2004.

CUSTÓDIO, A.M., *Teor de vitamina , acúmulo de minerais e produção de rabanetes submetidos a diferentes adubações*. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*. Viçosa, MG, 2014

CUNHA, F. F.; SOARES, A. A.; PEREIRA, O. G.; LAMBERTUCCI, D. M.; ABREU, F. V. S. *Características morfogênicas e perfilhamento do Panicum maximum Jacq. cv. Tanzânia irrigado*. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 31, n. 3, p. 628-635, 2007.

CUNHA, T;J.F., BASSOI L.H.,SIMÕES, M.L., ,MARTIN-NETO, L.M., PETRERE, V.G.,RIBEIRO., P.R.A., *Ácidos húmicos em solo fertirrigado no Vale do São Francisco* Ver Brasileira Ciência do Solo, 33:1583-1592, 2009.

DROGUI, P.; ASSELIN, M.; BRAR, S.K.; BENMOUSSA, H.; BLAIS, J.F. *Electrochemical removal of pollutants from agro-industry wastewaters. Separation and Purification Technology*, volume 61 Issue (3):301-310, 2008.

DURLI, E., *Tratamento de Efluente de Indústria de Laticínios Utilizando Lipases de Burkholderia cepacia LTEB 11* Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal do Paraná, 111p, 2007.

ECKENFELDER, W. W. *Industrial Water Pollution Control* Ed McGraw-Hill 400 p.1989.

EMBRAPA. Circular Técnica, nº 47. *Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar*. Brasília, 2007. http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2007/ct/ct_47.pdf. Acessado em 25-08-2014.

FILGUEIRA, F.A.R., *Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa, UFV, 2000, 402 p.

FORNARI, M. M. T. *Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes de curtume*. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2007.

FRANCO, A.L.C.;LÔBO, I.P.;CRUZ, R.S., *Biodiesel de microalgas: avanços e desafios* Ed. Química Nova Vol.36, Nº 3,437-448, 2013.

FREIRE, R.S., PELEGRINI, R., DURAN, N., PERALTA-ZAMORA, P. G. *Novas Tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas* Ed. Química Nova, v 23, p 504-511, 2000.

HARUVY, N. *Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis*. Agriculture, Ecosystems and Environment Amsterdam, v. 66 p. 133-119, 1997.

GENENA, A. K. *Tratamento de efluente agroindustrial contendo compostos persistentes por meio dos processos de coagulação - floculação, fenton, foto-fenton, foto-peroxidação e ozonização*. 2009. 139f Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Pós - Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

GRATTAN, S.R., and GRIEVE, C.M., *Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops*. Sci. Hort. 78:127-157 1999.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREALL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils. Canadian Journal of Soil Science 74: 367-385, 1994.

HESPANHOL, I. *Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos*. Revista Bahia Análise e Dados, Salvador, v. 13, n. especial, 2003.

HOLT, P. K; BARTON, G. W; WARK, M; MITCHELL, C. A. *A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation*. Colloids and Surfaces, v.211, n.1, p.233- 248, 2002.

IAGREGA, M.D.; PHILLIP, I.B.; JEFFREY, C.E. *Hazardous Waste Management*. 2 ed. New York, McGraw-Hill, 1202 p, 2001.

ITO, H.; HORIE, H.A. *A Chromatographic Method for Separating and Identifying Intact 4-Methylthio-3-Butenyl Glucosinolate in Japanese Radish (Raphanus sativus L.)*. Revista Japan Agricultural Research Quarterly, v. 42, n. 2, p. 109- 114, 2008.

KUNZ, A; ZAMORA, P. P; MORAES, S. G; DURÁN, N. *Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis*. Química Nova, v.25, n.1, p.78-82, 2002.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Editora RIMA, 2000. 531p.

LEAL, C. M.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SOUSA, V. F.; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A. *Qualidade da água subterrânea para fins de irrigação na microrregião de Teresina, Piauí*. Revista Irriga, Botucatu, v.14, n.3, p.276-288, 2009.

LINHARES, P.C.F.; PEREIRA, M.F.S.; OLIVEIRA, B.S.; HENRIQUES, G.P.S.A.; MARACAJÁ, P.B.; *Produtividade de rabanete em sistema orgânico de produção*. Rev. Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.5, p.94 - 101 (Numero Especial) dezembro de 2010 <http://revista.gvaa.com.br>

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. *Irrigação por aspersão em hortaliças/qualidade da água, aspectos dos sistemas e método prático de manejo*. Brasília, DF; Embrapa Informações tecnológicas, , 141 p. 2001.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. *Profundidade de instalação da linha de em tomateiro para processamento industrial*. Revista Horticultura Brasileira, Brasília, v.20, p.206-210, 2002

MARQUES, P.A.A.; SANTOS, *Efeito de diferentes níveis de irrigação baseada sem frações do tanque classe A sobre produção de rabanete (Raphanus sativusL)*. Revista Colloquium Agrariae, v. 1, n.2, p.23-27, dez. 2005.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. *O estado da arte da irrigação por gotejamento subperifical*. Colloquium Agrariae, Presidente Prudente, v.2, n.1, p.17-31, 2006.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. *Crop salt tolerance - Current assessment*. Journal of Irrigation and Drainage Division, v.103, n.1r2, p.115-134, 1977.

MEDEIROS, S. de S.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. *Uso de água residual de origem urbana no cultivo de Gérberas: Efeito nos componentes de produção*. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.2, p.569-578, 2007.

MOLLAH, M. Y. A.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L. *Electrocoagulation (EC) science and applications*. Journal of Hazardous Materials, v.84, n.1, p.29-41, 2001.

MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J.A.G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D.L. 2004. *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation*. Journal of Hazardous Materials, 114(1-3):199-210.

MOTA, J.A. *O valor da Natureza: economia e política dos recursos naturais*. Rio de Janeiro. Ed. Garamond. 200 p. 2006.

MUMIDOVIC, J. *Genetic diversity in germplasm of cornsalad (Valerianella locusta L.), radish (Raphanus sativus L.) and celeriac (Apium graveolens L. var. rapaceum) investigated with PCR-based molecular markers*. 84 f. PhD Dissertation, the Faculty of Agricultural Sciences at the University of Hohenheim, 2004.

OLIVEIRA, F.R.A.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; SOUZA, V.F.L.; FREIRE, A.G. *Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete*. Rev. Ciência Agrônômica, v.41, n 4, p 519-526, out-dez, 2010. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

PEREIRA AJ; BLANK AF; SOUZA RJ; OLIVEIRA PM; LIMA LA. 1999. *Efeitos de níveis de reposição e frequências de irrigação sobre a produção e qualidade do rabanete*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 3: 117-120.

PIMENTEL, C. *A relação da planta com a água*. Seropédica, RJ: Editora EdurUFRJ, 2004. 191p.

PULITI, J.P.M.; REIS, H.B.; PAULINO, H.D.M.; RIBEIRO, T.C.M.; TEIXEIRA, M.Z.; CHAVES, A.S.; RIBEIRO, B.R.; MACIEIRA, G.A.A.; YURI, J.E. *Comportamento da cultura do rabanete em função de fontes e doses de cálcio*. Revista Horticultura Brasileira, v. 27, p. 3003- 3008, 2009.

RODRIGUEZ, J.; STOPIÉ, S.; KRAUSE, G.; FRIEDRICH, B.. *Feasibility assessment of electrocoagulation towards a new sustainable wastewater treatment*. Environmental Science and Pollution Research, 14(7):477–482. 2007.

SALGADO, A.S., GUERRA, J.G.M., ALMEIDA, D.L., RIBEIRO, R.L.D., ESPÍNDOLA, J.A.A., SALGADO, J.A.A. *Consórcios alface-cenoura e alface-rabanetes, o manejo orgânico*. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol.41 nº7 Brasília, 2006.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. *Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, n.6, 2009.

SATYNARAYAN, S., RAMAKAN, T., VANEKAR, A.P. *Conventional approach abattoir wastewater treatment*. Environ technol 26;441-447 2005

SHEN, F. CHEN, X, GAO, P, CHEN, G, *Eletrchemical removal of fluoride ions from industrial wastewater*. Chemical Engineering Science, v. 58, p987-993, 2003

SHIBLI, R. A.; SAW WAN, J.; SWAIDAT, I.; TAHAT, M.; *Increased phosphorus mitigates the adverse effects of salinity in tissue culture*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 32, n. 03/04, p. 429-440, 2001.

SILVA F. C.. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Comunicação para a Transferência de Tecnologia. 370p. 1999.

SILVA, A. L. C. *Processo eletrolítico: Uma alternativa para o tratamento de águas residuárias*. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) em Química Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, da C. J.; CAVALCANTI, C.C.; DUDA, C.; TIMOSSI, P.; LEITE, I. C. *Crescimento e produção de rabanete cultivado com diferentes doses de húmus de minhoca e esterco bovino*. Revista Ceres, vol. 53, núm. 305, pp. 25-30, 2006.

SILVA, R.T.; SOUZA, A.A.T.; OLIVEIRA, F.A.; TARGINO I.S.O.; SILVA, M.L.N.; *Tolerância do rabanete ao encharcamento do solo*. Revista Verde, Mossoró, RN, v.7, n.1, p. 25 - 33 janeiro março de 2012.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. *Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos*. Anais Manejo de irrigação Lavras: UFLA; SBEA, p.311-351. 1998.

SROKA, E.; KAMIŃSKI, W.; BOHDZIEWICZ, J. *Biological treatment of meat industry wastewater*. Desalination, v. 162, p. 85-91, 2004.

VILAS-BOAS, E. V. B. *Qualidade de alimentos vegetais*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

YAMAGISHI, H.; TERACHI, T. *Multiple origins of cultivated radishes as evidenced by a comparison of the structural variations in mitochondrial DNA of Raphanus*. Revista Genome, v. 46, p. 89–94, 2003.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture: report of a WHO scientific group Geneva, 1989*. 74p(WHO Technical Report Series, 778).

WIENDL, W.G. *Processo Eletrolítico no Tratamento de Esgotos Sanitários*. Rio de Janeiro RJ. Ed ABES, 368 p., 1998.