

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

DAVID VITTURI DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DA TOLERÂNCIA DE POÁCEAS (GRAMÍNEAS) A ELEVADAS
CONCENTRAÇÕES DE SAIS EM DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO
HIDRÁULICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2016

DAVID VITTURI DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DA TOLERÂNCIA DE POÁCEAS (GRAMÍNEAS) A ELEVADAS
CONCENTRAÇÕES DE SAIS EM DIFERENTES TEMPOS DE DETENÇÃO
HIDRÁULICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami

LONDRINA

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Avaliação da Tolerância de Poáceas (gramíneas) a Elevadas Concentrações de Sais em Diferentes Tempos de Detenção Hidráulico

por

David Vitturi de Carvalho

Monografia apresentada no dia 27 de junho de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Profa. MsC. Raquel Jaqueline Ratz
(UTFPR)

Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de ser grato a Deus, que sempre tem se feito presente na minha vida, mesmo nos momentos que não consigo vê-lo. Mas no fim, provando que vê e entende toda dor e toda dificuldade, me ensinando a viver em sabedoria e alegria, aprendendo amar, superar as adversidades e sempre se manter em paz. Um versículo que gosto muito diz: “Não sejas demasiadamente justo, nem te mostres excessivamente sábio; por que te destruirias a ti mesmo? (Eclesiastes 7:16).”

Agradeço ao meu orientador Dr. Marcelo Hidemassa Anami pela orientação, paciência e oportunidade de realização desse trabalho. As professoras Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro e MsC. Raquel Jaqueline Ratz por se disponibilizarem em avaliar esse trabalho.

Ao meu avô Leosé Pinho de Carvalho, que após o falecimento de meu pai, o substituiu em parte, permitindo que eu concluísse o curso. Ao meu pai Hamilton Justi de Carvalho que foi o precursor desta história, foi dele que partiu a ideia de cursar Engenharia Ambiental. E por fim a minha família, principalmente minha mãe Dulce Maria Vitturi de Carvalho, minha tia Marta Sandra Vitturi que nunca deixaram de me incentivar, principalmente quando pensei em desistir. Minhas irmãs Hellen Foor e Raffaella Stock, mesmo morando tão longe sempre fizeram o mesmo.

Aos meus colegas André Abou Faissal, Maik Mauro e Rafael Koyashiki que colaboraram comigo durante o período de análises químicas realizadas nesse trabalho.

E a todos amigos que fizeram parte dessa caminhada, direta ou indiretamente.

RESUMO

CARVALHO, David. Vitturi de. Avaliação da tolerância de poáceas (gramíneas) a elevadas concentrações de sais em diferentes tempos de detenção hidráulico. 2016. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

Grande quantidade de solos no mundo são influenciados por sais, além das causas naturais como o intemperismo de materiais de origem e sua posterior deposição na solução dos solos, a salinização antrópica é responsável por uma grande parte do processo de salinização, principalmente através das atividades agroindustriais, que geram excessivas quantidades de efluentes contendo altas concentrações de sódio e potássio. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a tolerância de poáceas aquáticas a elevadas concentrações de sais, em “*wetlands*” construídos com diferentes tempos de detenção hidráulico (TDH). Foram utilizadas duas espécies da família Poaceae, *Hemarthria altissima* (*H. altissima*) e a *Brachiaria subquadripata* (*B. subquadripata*), o efluente foi sintetizado com Razão de Adsorção de Sódio (RAS) aproximadamente $10,5 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ e os TDH estabelecidos foram de 2,5 e 5,0 dias. Foram avaliados teores de Sódio e Potássio. Os resultados demonstraram que as plantas obtiveram melhores resultados em 100% do TDH, com remoção de sódio e potássio de 47,06% e 90,00% para *H. altissima* e 55,88% e 90,00% para *B. subquadripata*, respectivamente para 2,5 dias de TDH. Também remoção de sódio e potássio de 90,50% e 95,00% para *H. altissima* e 70,59% e 90,00% para *B. subquadripata*, respectivamente para 5,0 dias de TDH. Porém em 250% do TDH as plantas reduziram muito a absorção de sódio, enquanto para que a redução atingisse o mesmo patamar de redução de absorção de potássio foi necessário 650% do TDH. Assim, conclui-se que estas plantas apresentam reduzida absorção de sódio e potássio ao longo do tempo, porém muito promissoras no que tange a tolerância a salinidade e utilização em processos de sistema de tratamento de efluentes, principalmente com ênfase para absorção do potássio.

Palavras-chave: Efluentes agroindustriais. Razão de adsorção de sódio. Tratamento de águas residuárias. *Wetlands* construídos.

ABSTRACT

CARVALHO, David Vitturi de. Tolerance evaluation of the poaceae grass to elevated salt concentration during various hydraulic retention times (HRT). 2016. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

A great part of the Earth's soil is influenced by salt concentrations, along with other natural causes like weathering source materials and its subsequent deposition in the soil solution, the anthropic salinization is responsible for a large part of the salinization process, primarily occurring in agro-industrial activities, which produce excessive quantities of effluents highly concentrated in sodium and potassium. The goal of this research was to evaluate the tolerance of aquatic Poaceae grass to elevated salt concentrations, at "wetland environments" built to accommodate various hydraulic retention times. During this research two different species of Poaceae grass were tested, *Hemarthria altissima* (*H. altissima*) and *Brachiaria subquadripara* (*B. subquadripara*). The Effluent was synthesized with an approximately $10,5 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ sodium adsorption ratio and the hydraulic retention times established were of 2,5 days as well as 5 days. The concentration of sodium and potassium were also evaluated. The results demonstrated the plants performed best under the 100% HRT. The results for the 2,5 days HRT cycle showed a sodium reduction level of 47,06% and 90,00% of potassium reduction for the *H. altissima* and for the *B. subquadripara* the sodium reduction level was of 55,88% and 90,00% of potassium reduction. The results for the 5 days HRT cycle showed a sodium reduction level of 90,50% and 95,00% of potassium reduction for the *H. altissima* and for the *B. Subquadripara* the sodium reduction level was of 70,59% and 90,00% % of potassium elimination. The sodium absorption by the plants took an average of 250% of the HRT tested while the potassium levels required 650% of the HRT to reach similar reduction levels. Therefore, the research concluded the evaluated grasses presented a reduced ability to absorb sodium and potassium overtime; however they showed to be a promising solution to effluent treatment systems due to their high salt toleration and would be specifically beneficial to absorb potassium from the soil.

Keywords: Agro-industrial effluents. Sodium adsorption ratio. Wastewater treatment. Man made wetland environments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Richards - classificação da água para irrigação	23
Figura 2 – Fluxograma das etapas do projeto	29
Figura 3 – Sistema de tratamento <i>wetlands</i>	30
Figura 4 – <i>B. subquadripa</i>	31
Figura 5 – <i>H. altissima</i>	31
Figura 6 – Agitador em funcionamento	31
Figura 7 – Frascos utilizados para nas coletas	33
Figura 8 – Titulação da amostra	35
Figura 9 – Fotômetro de chama do IFPR	36
Figura 10 – Armazenamento das amostras em estufa à 60 ⁰ C	37
Figura 11 – Higienização das amostras, separados em talos e folhas	38
Figura 12 – Amostras antes do forno-mufla e após 3 horas	38
Figura 13 – Disposição dos cadinhos no forno-mufla	39
Figura 14 – Amostras em manta aquecedora à 60 ⁰ C	39
Figura 15 – Filtragem das cinzas	40
Figura 16 – (A) Plantas antes do contato com efluente sintético e (B) plantas após um mês em contato com efluente sintético	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Eficiência de remoção de sódio, leitos 1 e 2	42
Gráfico 2 – Eficiência de remoção de sódio, leitos 3 e 4	42
Gráfico 3 – Eficiência de remoção de potássio, leitos 1 e 2	44
Gráfico 4 – Eficiência de remoção de potássio, leitos 3 e 4	44
Gráfico 5 – RAS, leitos 1 e 2	46
Gráfico 6 – RAS, leitos 3 e 4	46
Gráfico 7 – Variação da CE x TDH, leitos 1 e 2.....	48
Gráfico 8 – Variação da CE x TDH, leitos 3 e 4.....	48
Gráfico 9 – Correlação CE x Na, ambos os leitos	49
Gráfico 10 – Correlação CE x K, ambos os leitos.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Horário das coletas das amostras	33
Quadro 2 – Teste de decaimento da CE com tempo	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Compatibilidade entre fertilizantes utilizados na fertirrigação	16
Tabela 2 – Valores limites de CE do extrato saturado do solo para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas	26
Tabela 3 – Reagentes utilizados no preparo das soluções	32
Tabela 4 – Interpretação da Qualidade da Água de Irrigação	41
Tabela 5 – Teores de Nutrientes do Efluente Sintético	41
Tabela 6 – Análise Química Compartmentada de Folhas e Talos.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

$\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$	Milimoles de Carga por Decímetro Cúbico
μS	microSiemens (múltiplo de 10^{-6})
ANA	Agência Nacional das Águas
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
B	Brachiaria
Ca	Cálcio
CE	Condutividade Elétrica ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
dS	deciSiemens (múltiplo 10^{-1})
F d	Fator de Diluição
H	Hermathria
K	Potássio
Mg	Magnésio
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
mS	miliSiemens (múltiplo 10^{-3})
Na	Sódio
P. A.	Pronto para Análise
P. M.	Peso Molar em g/mol
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes por Milhão
RAS	Razão de Adsorção de Sódio ($\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$)
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico (dias)
WEF	Wafer Environment Federation

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 CONSUMO DE RECURSOS HÍDRICOS PELA AGRICULTURA	14
3.2 FERTIRRIGAÇÃO	14
3.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	17
3.3.1 Problema de Excesso de Sais no Solo	19
3.3.2 Razão de Adsorção de Sódio.....	20
3.3.3 Classificação da Água para Irrigação	20
3.3.3.1 Perigo de Salinização.....	21
3.3.3.2 Problema Alcalinização ou Sodicidade.....	22
3.4 <i>WETLANDS</i>	23
3.5. ANÁLISE QUÍMICA EM ÁGUA	24
3.5.1 Potencial Hidrogeniônico.....	24
3.5.2 Condutividade Elétrica.....	25
3.5.3 Sódio	26
3.5.4 Cálcio, Magnésio e Potássio	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 CONSTRUÇÃO DE <i>WETLANDS</i> E AFERIMENTO DA VAZÃO	29
4.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES E REALIZAÇÃO DAS COLETAS.....	32
4.3 ANÁLISES QUÍMICAS	34
4.3.1 Preparo de Reagentes para as Análises Químicas.....	34
4.3.2 Potencial Hidrogeniônico e Condutividade Elétrica	35
4.3.3 Método Complexométrico com Emprego de EDTA para Análise de Cálcio e Magnésio.....	35
4.3.4 Fotometria de Chama para Análise de Sódio e Potássio	36
4.3.5 Digestão das Plantas.....	37
4.4 Razão de Adsorção	40
4.4.1 Escolha do Razão de Adsorção de Sódio Inicial	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SÓDIO	42
5.2 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE POTÁSSIO.....	44
5.3 RAZÃO ADSORÇÃO DE SÓDIO	46
5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - CORRELAÇÕES.....	48
5.5 ANÁLISE QUÍMICA, COMPARTIMENTADA EM FOLHAS E TALOS	50
6. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICES	60

1 INTRODUÇÃO

As atividades agroindustriais geram excessivas quantidades de águas residuárias, com altas concentrações de sais nas atividades que exercem, um verdadeiro problema quanto a sua destinação. Por outro lado a crescente demanda por alimentos, sobretudo em países em desenvolvimento, torna necessário não apenas incorporar novas áreas de processo produtivo, mas também de aumentar os índices de produção atuais. Nesse contexto, a agricultura irrigada condiciona uma ótima alternativa, não apenas no aumento de índices de produtividade, mas também como uma forma de desenvolvimento sustentável para as águas residuárias (GHEYI, QUEIROZ, MEDEIROS, 1997).

Batista et al. (2014) destaca que a utilização de águas residuárias na irrigação e na fertirrigação de culturas, pode acarretar sérios problemas a estas culturas e aos diferentes tipos solo, quanto as características físicas, químicas e biológicas. Mas também cita como alternativa o uso de sistemas alagados construídos, conhecidos como *wetlands*.

Esses sistemas que visam melhorar a qualidade dos efluentes, de modo a serem lançados nos corpos d'água receptoras ou na irrigação de campos e culturas, constituem uma importante vantagem econômica para os pequenos agricultores, uma vez que os nutrientes também servem como fertilizantes para o crescimento das plantas (SILVA, 2007 apud BIRD, 2004) ¹.

Neste contexto o uso de águas residuárias com objetivo de fertilizar o solo, associadas a sistemas de tratamento biológicos, como os *wetlands*, torna-se uma ótima alternativa de sustentabilidade ambiental e econômica para agricultura de modo geral.

¹BIRD, S. Constructed *Wetlands*: a watershed Assessment a Viable Alternative for Treatment Of Urban and Agricultural Wastewater. Vermont: ENSC, 2004.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a tolerância de poáceas aquáticas (*H. altissima* e *B. subquadripara*) à elevadas concentrações de sais, provenientes de efluente líquido sintético, em “*wetlands*” construídos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir *wetlands*, com diferentes TDH;
- Avaliar a taxa de remoção de sódio e potássio no sistema.
- Comparar resultados monitorados das diferentes concentrações de sais, utilizando metodologia baseada na Razão de absorção de Sódio (RAS);
- Verificar a absorção do sódio e potássio pelas plantas através da análise de caule, folhas e raízes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONSUMO DE RECURSOS HÍDRICOS PELA AGRICULTURA

A agricultura irrigada no Brasil, é o setor que mais desvia água do meio ambiente para produção de alimentos, segundo dados publicados no relatório de Recursos Hídricos no Brasil, pela Agência Nacional do Meio Ambiente - ANA (2015) cerca de 65% da vazão retirada total é destinada para irrigação e se analisada dentro do aspecto da vazão consumida total 75% é destinado para irrigação.

O Brasil conta com 12% de toda água doce do planeta, no qual 70% dessa quantidade está localizada na bacia Amazônica, o restante dessa água (30%) corresponde em 93% do abastecimento das regiões brasileiras, na qual a agricultura irrigada consome mais da metade deste recurso (MMA/ANA, 2007).

Espera-se que ao longo do tempo a demanda per capita e a qualidade da água irão se deteriorar, ocasionando conflitos pelo uso da água, uma vez que a água de qualidade inferior tende a se delimitar seus usos, e muitas vezes se fazendo necessário tratamento adequado para sua reutilização (BICUDO; TUNDISI E SCHEUENSTUHL, 2010). Nunes (2001) afirma que para garantir a demanda de alimentos, a área irrigada no planeta deve crescer de 20% a 30% até o ano de 2025.

3.2 FERTIRRIGAÇÃO

O processo de fertirrigação, é a maneira mais simples e econômica de se aplicar fertilizantes no solo, principalmente em regiões de climas áridos e semiáridos, onde se faz necessário a irrigação. Aplicar fertilizantes em menores concentrações e com maior frequência, produz resultados mais significativos do que se aplicar uma grande quantidade de uma vez, assim é possível manter um teor mais uniforme de

nutrientes no solo durante o ciclo da cultura, conseqüentemente gera maior produtividade (BASSO et al., 2010).

Segundo Souza et al. (2011) uma das maiores vantagens da fertirrigação é a facilidade de se aplicar nutrientes de forma parcelada, mas essa deve ser feita segundo a capacidade de absorção de nutrientes de cada cultura, em seus diferentes estágios de desenvolvimento.

Haruvy (1997) afirma que o emprego de efluentes no processo de fertirrigação de culturas agrícolas, promove economia nos custos de aplicação de fertilizantes no solo, e também com o próprio tratamento do efluente, já que estes são ricos em nutrientes e o solos e as plantas funcionam como biofiltros naturais. Desta forma Haruvy argumenta de modo geral que o tratamento de efluentes pode se tornar mais brando, já que terá uma utilidade ao invés de ser descartado em corpo receptor por exemplo, onde talvez fosse necessário maior dispêndio de custo para fazer o tratamento.

A utilização de efluentes irá depender muito de alguns aspectos: as características do solo, a capacidade de tolerância da cultura ao efluente, que pode se fazer necessário um pré-tratamento para ser aplicado nesse contexto. É o que Bernardo (1982) afirma: “para que se possa fazer a correta interpretação da qualidade da água de irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com seus efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação”.

Bertoncini (2008) afirma que o reúso de efluentes sanitários na cultura de café pode suprir as necessidades de água da cultura, mas cuidados devem ser tomados quanto a elevação do teor de sódio e a desequilíbrios nutricionais desencadeados no solo, frisa ainda que o uso de resíduos em solos, devem ser constantemente monitorados, para que não ocorra contaminação no sistema solo-água-planta.

Ribeiro (2013) afirma que o uso de esgotos domésticos, basicamente constituídos de matéria orgânica e mineral, são fontes de nutrientes para as plantas. mas que alguns cuidados devem ser tomados quanto aos organismos patogênicos presentes nesses tipos de efluente.

Outro problema da fertirrigação está na associação de fertilizantes, alguns tipos de fertilizantes são incompatíveis, e quando associados podem, por exemplo, provocar

entupimento nas tubulações dos emissores, principalmente quando alguns micronutrientes reagem com os sais presentes na água de irrigação, como zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn). Isso ocorre porque a solubilidade se reduz muito com mistura (BASSO et al, 2010). Para evitar esse tipo de situação Souza et al. (2011) sugere uma Tabela de compatibilidade entre os fertilizantes (Tabela 1).

	Ureia	Nitrato de amônio	Sulfato de amônio	Nitrato de cálcio	Nitrato de potássio	Cloreto de potássio	Sulfato de potássio	Fosfato de amônio	Fe, Zn, Cu e Mn sulfato	Fe, Zn, Cu e Mn quelato	Sulfato de magnésio	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido nítrico
Ureia	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Nitrato de amônio	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Sulfato de amônio	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Nitrato de cálcio	Compatível	Compatível	Incompatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Nitrato de potássio	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Cloreto de potássio	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Sulfato de potássio	Compatível	Compatível	Solubilidade reduzida	Incompatível	Solubilidade reduzida	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Fosfato de amônio	Compatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Fe, Zn, Cu e Mn sulfato	Compatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Solubilidade reduzida	Incompatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Fe, Zn, Cu e Mn quelato	Compatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Solubilidade reduzida	Incompatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Sulfato de magnésio	Compatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Solubilidade reduzida	Incompatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível	Compatível
Ácido fosfórico	Compatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Solubilidade reduzida	Incompatível	Compatível	Incompatível	Solubilidade reduzida	Compatível	Compatível	Compatível
Ácido sulfúrico	Compatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Solubilidade reduzida	Incompatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Compatível	Compatível
Ácido nítrico	Compatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Solubilidade reduzida	Incompatível	Compatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Incompatível	Compatível

Incompatível
 Solubilidade reduzida
 Compatível

Tabela 1 – Compatibilidade entre fertilizantes utilizados na fertirrigação.
 Fonte: Adaptado de Souza et al. (2011).

Basso et al. (2010) afirma que a aplicação de fertilizantes deve ser feita de acordo com as características de cada cultura, visando sempre atender as necessidades dos principais elementos envolvidos: sistema de irrigação, textura do

solo, qualidade da água, exigências nutricionais da planta e o custo do processo. Ainda comenta que existem diversos tipos de sistema de irrigação, com diferentes eficiências de acordo com cada necessidade de aplicação, e para que seja associado a fertilização é necessário a presença de injetores de produtos químicos, que variam de acordo com a forma de energia utilizada para seu funcionamento, podendo ser caracterizados dentro de 3 grupos (PINTO, 2008):

- Aqueles que utilizam pressão efetiva positiva, como a bomba injetora e a injeção feita por gravidade;
- Os que utilizam diferença de pressão, como o tanque de derivação e o injetor tipo Pitot;
- Aqueles que utilizam diferença de pressão efetiva negativa, a exemplo o injetor de Venturi e da sucção realizada pela própria bomba de irrigação.

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Os estudos da qualidade da água, se baseiam na necessidade de indicar a conveniência ou limitação do seu uso para fins de irrigação. No entanto a limitação do uso da água para fins de irrigação não depende apenas das suas condições químicas propriamente ditas, mas também das propriedades físico-químicas de cada solo onde serão aplicadas, assim como a suscetibilidade e/ou a resistência das culturas a serem irrigadas, características do emissor hidráulico e do método de irrigação (CORDEIRO, 2001).

A qualidade da água para irrigação está diretamente relacionada com sua salinidade, e deve ser avaliada em três critérios básicos: salinidade em sentido restrito, sodicidade e toxicidade. O critério salinidade avalia o risco de que a água contenha altas concentrações de sais, que possam afetar o fator osmótico e o rendimento da cultura. O critério sodicidade avalia o risco de indução de alta porcentagem de sódio

trocável, ocasionando deterioração do solo. O critério toxicidade avalia o problema que determinados íons podem provocar ao tecido das plantas (ALMEIDA, 2010).

Além dos três critérios básicos apresentados por Almeida (2010), Bernardo (1982) apresenta mais dois: a concentração de bicarbonatos e o aspecto sanitário. Ainda segundo Bernardo (1982) solos com elevada concentração de bicarbonatos possuem tendência na precipitação de cálcio e magnésio, sob forma de carbonatos, reduzindo a suas respectivas concentrações no solo e conseqüentemente aumentando a proporção de sódio, já que a solubilidade do carbonato de sódio é superior que a dos carbonatos de cálcio e magnésio. Em relação ao aspecto sanitário, Bernardo (1982) argumenta dois casos a considerar, a contaminação do irrigante durante a condução da irrigação e a contaminação dos usuários dos produtos irrigados. No primeiro caso a doença mais comum é a esquistossomose, e no segundo é a verminose que se dá, em geral pelo consumo de hortifrutigranjeiros.

A adequação da água para irrigação depende tanto da sua própria qualidade quanto de fatores relacionados com as condições de uso. Uma mesma água pode ser perfeitamente adequada para um determinado tipo de solo e uso, mas inviável para outros. Não é possível desenvolver um sistema de classificação universal da qualidade da água que possa ser utilizado sob todas as circunstâncias (GHEYI, DIAS E LACERDA, 2010).

Dentro desse contexto, outros parâmetros são comumente abordados como critério de qualidade da água para irrigação, como, por exemplo: sólidos suspensos e dissolvidos, turbidez, CE, pH, cálcio, magnésio, dureza e ferro total (FRANCO e HERNANDEZ, 2009).

Endler et. al (2013) avaliou a qualidade da água de irrigação utilizada em propriedades rurais de Toledo-PR, seguindo os seguintes parâmetros: pH, CE, oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio amoniacal, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), mesófilos, psicrotróficos, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Para todo caso é importante verificar dentro da Resolução do CONAMA nº 357/2005, os parâmetros a serem avaliados segundo ao uso da água.

3.3.1 Problemas de Excesso de Sais no Solo

Um dos principais problemas do excesso de salinidade no solo segundo Nascimento (2015) é o decaimento da produtividade das culturas agrícolas, especialmente aquelas mais sensíveis, o que pode prejudicar a segurança alimentar de várias regiões no mundo e segundo Ukcer et al. (2013) um dos fatores que levam a essa situação se deve ao fato dos solos se tornarem improdutivos.

Essa improdutividade do solo está ligada a redução do potencial osmótico, isso faz com que a disponibilidade de água diminua e também acentue o potencial tóxico de certos íons às plantas (BERNARDO, 1982). Assim, os sais transportados pela água de irrigação tendem a se concentrar à medida que a água evapora e é consumida pela cultura, reduzindo a disponibilidade de água para as plantas.

Brady e Weil (2013) explicam que as moléculas dos solutos e/ou íons se aglomeram em volta das moléculas de água e por tanto a facilidade de circulação da água é reduzida, sendo assim quanto mais concentrado for a solução, menor será o potencial osmótico.

A água sempre tenderá a se deslocar ao ponto onde seu nível de energia é menor, ou seja, para zona onde a concentração de soluto é maior, para forçar as moléculas de água se deslocarem ao sentido contrário seria necessário adicionar uma membrana semipermeável, entre as zonas de alto e baixo potencial osmótico, permitindo que somente a água passe pela membrana (BRADY E WEIL, 2013).

Nem todas as culturas respondem do mesmo modo à salinidade, algumas respondem bem a altos níveis de salinidade, outras já são muito sensíveis a pequenas alterações. A resposta mais adequada para essa situação se deve ao poder de adaptação de cada cultura (AYERS e WESTCOT, 1991). O que acontece de fato, é que o excesso de sais na solução do solo modifica as atividades metabólicas das células no processo de alongamento celular, com isso diminuindo a elasticidade da parede da mesma, por isso afeta o crescimento da planta (FOLEGATTI e BLANCO, 2000).

3.3.2 Razão de Adsorção de Sódio

A sodicidade da água é dada pelo conteúdo de cátions de sódio (Na^+) presentes no solo ou em uma dada solução. Como já mencionado, o excesso de sódio apresenta efeito sobre a permeabilidade do solo, nutrição e toxicidade das plantas. O sódio é utilizado como parâmetro de qualidade das águas para irrigação. Tal parâmetro sofreu alteração com tempo, as primeiras classificações utilizavam a quantidade de cátions de sódio em relação ao total de cátions presentes na água.

Pesquisadores do laboratório de salinidade dos Estados Unidos sugeriram uma outra relação, o RAS. Este índice denota a proporção relativa de íons de Na^+ presentes, em relação aos cátions divalentes de Ca^{++} e Mg^{++} , que competem com o sódio pelos espaços de intercambio do solo (ALMEIDA, 2010).

3.3.3 Classificação da Água para Irrigação

Em relação ao estudo da qualidade da água para irrigação Cordeiro (2001) afirma que importantes contribuições tem sido dadas por diversos pesquisadores do mundo, e ainda que haja algumas diferenças entre os métodos de classificação, todas concordam de forma razoável com os critérios de classificação e aos limites estabelecidos.

Gheyi, Queiroz e Medeiros (1997) apresentam dois pontos importantes para classificação das águas para irrigação, quanto ao perigo de salinização e ao perigo de alcalinização ou sodificação. Tal classificação foi proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (*U.S Salinity Laboratory Staff*), se baseia na CE, como indicadora do perigo de salinização do solo, e na RAS, como indicadora do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

3.3.3.1 Perigo de Salinização

Richards (1954) dividiu as águas são divididas em 4 classes, segundo sua CE, ou seja, em função de sua concentração total de sais solúveis:

C1 – Água de salinidade baixa ($CE < 0,25 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, a 25°C). Pode ser usada para irrigação para maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muita pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. Se necessário alguma lixiviação moderada de sais, está é conseguida em condições normais de irrigação, exceto em solos de muito baixa permeabilidade.

C2 – Água de salinidade média (CE entre $0,25 - 0,75 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, a 25°C). Pode ser usada sempre e quando tiver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos se adequa ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.

C3 – Água de salinidade alta (CE entre $0,75 - 2,25 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, a 25°C). Não pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada pode ser necessário práticas especiais de controle de salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância a sais. Os riscos apresentado por esta classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido.

C4 – Água de salinidade muito alta ($CE > 2,25 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, a 25°C). Não é apropriada para irrigação sobre condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas totalmente tolerante a sais.

3.3.3.2 Perigo de Alcalinização ou Sodicidade

A classificação das águas de irrigação com respeito a RAS, se baseiam essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade. Richards (1954) dividiu as águas em 4 classes, tomando por base valores limites da RAS, em função da CE com as seguintes interpretações:

S1 – Água com baixa concentração de sódio ($RAS < 18,87 - 4,44\log CE$). Pode ser usada para irrigação, em quase todos os solos, com pequenas possibilidades de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

S2 – Água com concentração média de sódio ($18,87 - 4,44\log CE < RAS \leq 31,31 - 6,66\log CE$). Só pode ser usada em solo de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade. Ela representa um perigo de sodificação considerável, em solos de textura fina, com alta capacidade de troca catiônica, especialmente sob baixa condição de lixiviação, a menos que haja gesso no solo.

S3 – Água com alta concentração de sódio ($18,87 - 4,44\log CE < RAS \leq 31,31 - 6,66\log CE$). Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo: boa drenagem, alta lixiviação e condicionadores químicos ou orgânicos (corretivos de solo).

S4 – Água com concentração muito alta de sódio ($RAS > 43,75 - 8,87\log CE$). É imprópria para irrigação exceto quando a salinidade é baixa ou média e quando a dissolução do cálcio do solo e a aplicação de condicionadores não se torna antieconômica.

Por fim, Richards (1954) propõem um diagrama de classificação de água para irrigação. Estabelecido o grau, quanto ao perigo de salinização e ao perigo de sodicidade, o diagrama torna possível identificar a classe exata da água para irrigação e por fim tomar os cuidados e procedimentos adequados a ela (Figura 1).

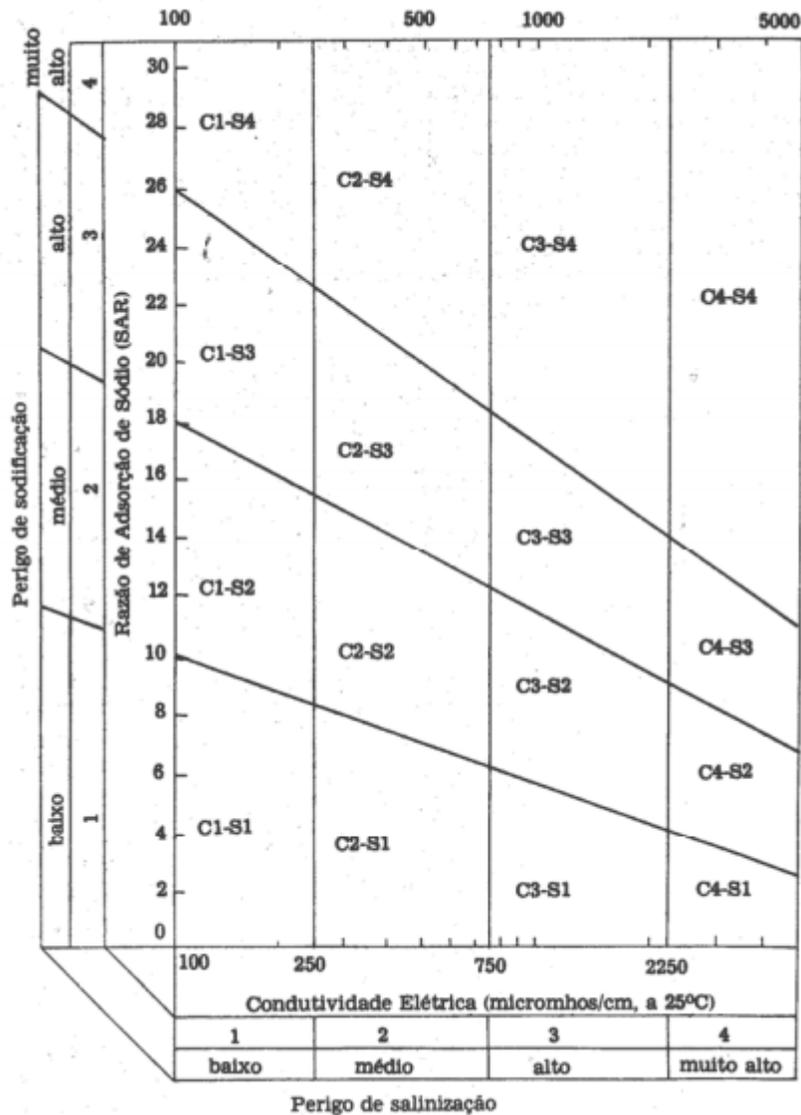


Figura 1 – Diagrama de Richards - classificação da água para irrigação.
Fonte: Bernardo (1982).

3.4 WETLANDS

O termo *wetlands*, derivado do inglês, significa áreas alagadas, que por si só tem um papel importante dentro das funções dos ecossistemas naturais. As funções que se destacam são: capacidade de regularização do fluxo de água, capacidade de modificar e controlar a qualidade da água, ambiente propício para reprodução e

alimentação da fauna aquática, proteção à biodiversidade como área de refúgio da fauna terrestre, controle de erosão prevenindo assoreamento e muitos outros benefícios (SALATTI, 2003).

Devido à grande importância desses sistemas para os ecossistemas, modelos construídos artificialmente, que proporcionem uma simulação do que ocorre na natureza tem sido utilizados. Desde então o uso desses sistemas tem aumentado (SALATTI, 2003).

O dimensionamento e o tipo de *wetland* dependerá das características do efluente a ser tratado, da eficiência desejada de remoção de nutrientes, contaminantes e outros poluentes, do interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico (SALATTI, 2003).

3.5. ANÁLISE QUÍMICA EM ÁGUA

3.5.1 Potencial Hidrogeniônico

O pH é um parâmetro muito utilizado em vários tipos de análises de soluções, no qual representa as concentrações de íons de hidrogênio e seus valores variam de 0 à 14,0, sendo valores menores que 7,0 considerados ácidos e valores acima de 7,0 alcalinos. Em relação a água residuária, para fins de uso agrícola Hespanhol (2002) recomenda que os valores permaneçam dentro da faixa de 6,0 à 8,5.

Gheyi, Dias e Lacerda (2010) afirmam que, para reduzidas concentrações de sais na água o pH pode ser elevado, e para altas concentrações de sais este tende a diminuir. Este parâmetro deve ser avaliado segundo seu uso, por exemplo, para águas de sistemas distribuição, o ministério da saúde pela portaria nº 2914/2011 recomenda que seja mantido na faixa de 6,0 à 9,5 (BRASIL/MS, 2011)

3.5.2 Condutividade Elétrica

Devido a sua facilidade de determinação, a CE é usada como parâmetro de potencialidade de salinizar o solo. Ela determina o valor total de sais dissolvidos na solução, mas sem especificá-los, sua unidade é dada em $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Usada também como critério de classificação da água para irrigação (ALMEIDA, 2010). Silva (2005) afirma que águas acima de $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ podem diminuir a permeabilidade do solo, acentuar a concentração de sais e assim reduzir a produtividade de grãos.

As espécies vegetais apresentam ampla faixa de tolerância ao estresse salino, onde se destacam dois grandes grupos: as glicófitas e as halófitas. As glicófitas apresentam menor tolerância a salinidade, já as halófitas são caracterizadas pela sua alta tolerância a salinidade, sobrevivendo e reproduzindo nesses ambientes. (NASCIMENTO et al., 2015).

A tolerância de plantas a salinidade, expressa pelo o efeito generalizado de sais sobre as plantas, na qual a CE é utilizada como critério é apresentada por Gheyi, Dias e Lacerda (2010) na Tabela 2.

Nome	Nome científico	CEes (dS m ⁻¹)	Nome	Nome científico	CEes (dS m ⁻¹)
Abacate	<i>Persea americana</i>	1,3	Damasqueiro	<i>Prunus armeniaca</i>	1,6
Abobrinha	<i>Cucumis sativus</i>	2,5	Elimo	<i>Elymus triticoides</i>	2,7
Abobrinha	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>	3,2	Ervilha	<i>Pisum sativum L.</i>	2,5
Abobrinha italiana	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>	4,7	Espinafre	<i>Spinacia oleracea</i>	2,0
Aipo, salsão	<i>Apium graveolens</i>	1,8	Feijão fava	<i>Vicia faba</i>	1,6
Alface	<i>Lactuca sativa</i>	1,3	Feijoeiro	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1,0
Alfafa	<i>Medicago sativa</i>	2,0	Festuca	<i>Festuca elatior</i>	3,9
Algodoeiro	<i>Gossypium hirsutum</i>	7,7	Figo	<i>Ficus carica</i>	2,5
Ameixa	<i>Prunus domestica</i>	1,5	Framboesa	<i>Rubus idaeus</i>	1,0
Amêndoa	<i>Prunus dulcis</i>	1,5	Laranja	<i>Citrus sinensis</i>	1,7
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	3,2	Limão	<i>Citrus limon</i>	1,7
Amoreira	<i>Rubus ursinus</i>	1,5	Linho	<i>Linum usitatissimum</i>	1,7
Amoreira preta	<i>Rubus spp.</i>	1,5	Maçã	<i>Malus sylvestris</i>	1,7
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	3,0	Melão cantaloupe	<i>Cucumis melo</i>	2,2
Azeitona	<i>Olea europaea</i>	2,7	Milho doce	<i>Zea mays</i>	1,7
Azevém	<i>Lolium perenne</i>	5,6	Milho forrageiro	<i>Zea mays</i>	1,8
Batata	<i>Solanum tuberosum</i>	1,7	Milho grão	<i>Zea mays</i>	1,7
Batata doce	<i>Ipomoea batatas</i>	1,5	Morango	<i>Fragaria spp.</i>	1,0
Beterraba	<i>Beta vulgaris</i>	4,0	Nabo	<i>Brassica rapa</i>	0,9
Beterraba açucareira	<i>Beta vulgaris</i>	7,0	Noz	<i>Junglans regia</i>	1,7
Brócolis	<i>Brassica oleraceae botrytis</i>	2,8	Pêra	<i>Pyrus communis</i>	1,5
Cana de açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	1,7	Pêssego	<i>Prunus pérsica</i>	1,7
Capim bermuda	<i>Cynodon dactylon</i>	6,9	Pimentão	<i>Capsicum annum</i>	1,5
Capim doce	<i>Phalaris tuberosa</i>	4,6	Pomelo (grapefruit)	<i>Citrus paradisi</i>	1,8
Capim dos pomares	<i>Dactylis glomerata</i>	1,5	Rabanete	<i>Raphanus sativus</i>	1,2
Capim mimoso	<i>Eragrostis spp.</i>	2,0	Repolho	<i>Brassica oleracea capitata</i>	1,8
Capim sudão	<i>Sorghum sudanense</i>	2,8	Romã	<i>Punica granatum</i>	2,5
Cártamo	<i>Carthamus tinctorius</i>	5,3	Sesbânia	<i>Sesbania exaltata</i>	2,3
Caupi	<i>Vigna unguiculata</i>	1,3	Soja	<i>Glycine Max</i>	5,0
Cebola	<i>Allium cepa</i>	1,2	Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	4,0
Cenoura	<i>Daucus carota</i>	1,0	Tamareira	<i>Phoenix dactylifera</i>	4,0
Cevada (forragem)	<i>Hordeum vulgare</i>	6,0	Tomateiro	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	2,5
Cevada (grão)	<i>Hordeum vulgare</i>	8,0	Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	6,0
Cornichão	<i>Lotus uliginosus</i>	2,3	Vagem	<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	1,5
Couve-flor	<i>Brassica oleracea</i>	2,5	Videira	<i>Vitis spp.</i>	1,5

Tabela 2 – Valores limites de CE do extrato saturado do solo para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas.

Fonte: Gheyi, Dias e Lacerda (2010)

3.5.3 Sódio

O sódio considerado tóxico as plantas, afeta a estrutura dos solos pela interação eletroquímica com a argila, o excesso de sódio trocável promove a expansão da argila quando úmida e contração quando seca. Se a expansão for exagerada provocará fragmentação da argila, ocasionando dispersão das argilas e modificando as características dos solos. Os solos sódicos de modo geral apresentam problemas de permeabilidade e qualquer excesso de água causará encharcamento na superfície do solo, impedindo a germinação das sementes e o crescimento das plantas por falta de

aeração (GHEYI, DIAS E LACERDA, 2010). Por estes e outros motivos, o sódio juntamente com a CE é considerado como um dos critérios para classificação das águas de irrigação.

3.5.4 Cálcio, Magnésio e Potássio

O cálcio está relacionado com a dureza da água, Almeida (2010) afirma que águas duras são pouco recomendáveis para solos pesados e compactos, mas muito útil para recuperação de solos com excesso de sódio, caso seja possível o emprego de águas duras. Pedrotti et al. (2015) também observa que os sais de cálcio solúvel (cloreto de cálcio, CaCl_2) e o gesso (sulfato de cálcio hidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) são uma ótima alternativa no processo de recuperação de solos salino-sódicos, já que esses podem ser forçados a substituir o sódio. Souza (1995), por exemplo, observou que o feijoeiro apresenta danos maiores quando irrigado com teores de cloreto de sódio do que cloreto ou sulfato de cálcio. O cálcio ainda é conhecido pelo seu alto poder de floculação, agregando argilas com cargas negativas, melhorando assim as condições de fertilidade do solo (GHEYI, DIAS E LACERDA, 2010).

Gheyi, Dias e Lacerda (2010) afirmam que a sodicidade não só reduz a disponibilidade de cálcio, mas também seu transporte e redistribuição para as plantas, afetando os órgãos vegetativos e reprodutivos. Dessa forma a salinidade pode afetar a absorção de nutrientes, ou seja, o Na^+ reduz a absorção de K^+ , Cl^- e NO_3^- (nitrato).

Allison, (1964)² e Fuller, (1967)³ apud Cordeiro (2001) afirmam que as águas com alta proporção Na em relação ao Ca e o Mg, facilitam o deslocamento do Ca e o Mg adsorvidos, causando a dispersão dos coloides. Willadino e Camara (2010) explicam que elevadas concentrações de íons específicos, sobretudo o Na^+ e o Cl^- podem provocar desequilíbrio nutricional nas plantas, sendo frequente a deficiência de

²ALLISON; Lowell. E. Salinity in relation to irrigation. Reimpresso de Adelantos in Agronomy. Salinity Laboratory: Riverside, California. p. 139-180, 1964.

³ FULLER, Wallace.H. Water, soil and crop management principles for the control of salts. Tucson: The University of Arizona, Bulletin, A-43. 1967. 21p.

íons K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , P e NO_3^- .

Dentre esses efeitos o mais acentuado é a redução da concentração de K^+ , porém algumas plantas possuem a capacidade de fazer a seleção do K^+ e suprimir o Na^+ .

4 MATERIAL E MÉTODOS

As etapas que configuram o presente trabalho estão representadas na Figura 2.

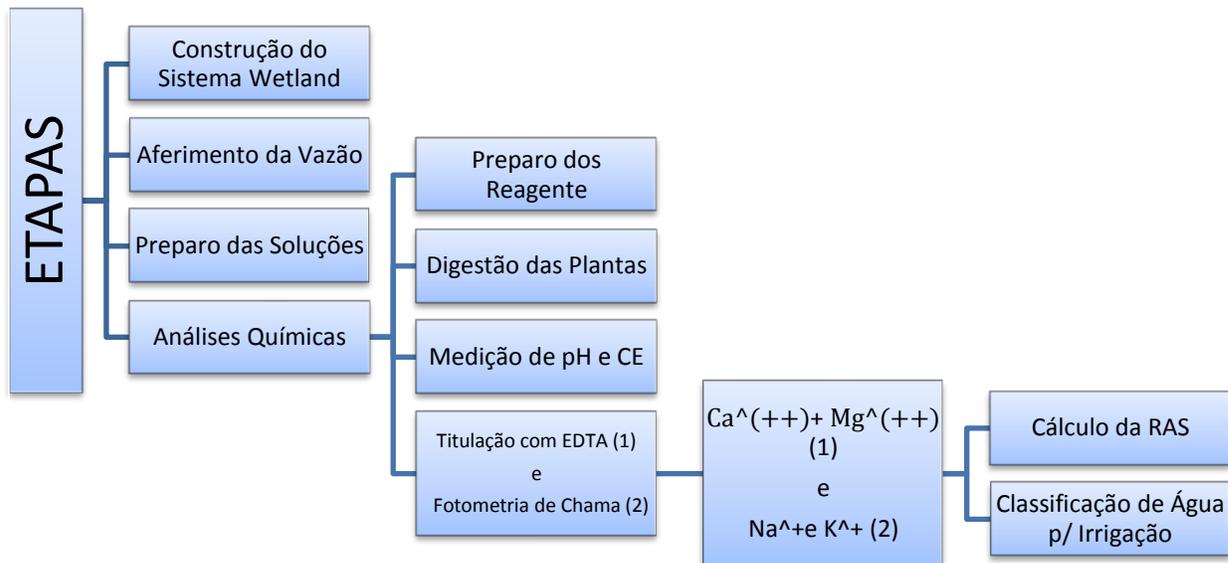


Figura 2 – Fluxograma das etapas do projeto.
Fonte: Autoria própria.

4.1 CONSTRUÇÃO DE *WETLANDS* E AFERIMENTO DA VAZÃO

A construção do sistema *wetlands* ocorreu nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, na Avenida dos Pioneiros, 3131, Jardim Morumbi, Município de Londrina. Mais especificamente na estufa agrícola, ambiente coberto com intuito de evitar a incidência de águas pluviais no experimento.

O sistema de tratamento construído está apresentado na Figura 3-a constituiu-se de dois tanques de alimentação (onde a solução era inserida), um tanque de 200L e outro tanque de 100L, interligado a 4 leitos (Figura 3-b). Os Leitos 1 e 2 ligados ao tanque de 200 L e o leitos 3 e 4 ligados ao tanque de 100 L. Os tanques de alimentação

foram fixados em suporte de madeira, aproximadamente a um metro e meio de altura do solo, de modo a funcionar por gravidade, tendo sua vazão controlada por registros de gaveta, gerando um TDH de 2,5 dias para os leitos 1 e 2, e TDH de 5,0 dias para os leitos 3 e 4.



Figura 3 – Sistema de tratamento *wetlands*, a) Leitos; b) Tanques.
Fonte: Autoria própria.

As poáceas mostradas nas Figuras 4 e 5, foram coletadas as margens do Rio Tibagi, Município de Jataizinho-PR. Os tratamentos consistiram das espécie *B. subquadripara* nos leitos 1 e 3 e a espécie *H. altissima* nos leitos 2 e 4. Preenchidos com brita nº 3, cada leito com aproximadamente 15L de espaço vazios dos 25L disponíveis.



Figura 4 – *B. subquadripara*.
Fonte: Autoria própria.



Figura 5 – *H. altissima*.
Fonte: Autoria própria.

Com intuito de manter a solução homogênea em todos pontos do tanque, evitando a sedimentação de sais no fundo, foram instalados agitadores, compostos por hélices de fluxo invertido. Acoplados a um timer, os agitadores eram acionados em tempos pré-determinados. Para mais detalhes quanto ao tempo de acionamento dos agitadores ver Apêndice A.



Figura 6 – Agitador em funcionamento.
Fonte: Autoria própria.

4.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES E REALIZAÇÃO DAS COLETAS

As soluções foram preparadas utilizando fertilizante comercial, cloreto de sódio P.A. (NaCl), cloreto de cálcio P.A. (CaCl_2), cloreto de magnésio P. A. (MgCl_2) e água fornecida pela rede pública. Desta forma, através de cálculos que serão descritos na Tabela 3, foram preparados duas soluções, uma para o galão de 200 litros e outro para o de 100 litros, com devida proporção utilizada para cada reagente (com fator multiplicativo de 2do galão 100l para o de 200L).

Tabela 3 – Reagentes utilizados no preparo das soluções.

Reagentes	Galão 100L (g)	Galão 200L (g)
Fertilizante	150	300
NaCl	120,13	240,26
CaCl_2	50,7	101,4
MgCl_2	28,23	56,46

Com o sistema em funcionamento, as coletas foram realizadas dentro dos dias 09/03/2016 à 10/04/2016 (Quadro 1).

TDH %	Leito 1 e 2		Leito 3 e 4	
	Data	Hora	Data	Hora
0	09/03/2016	07:00:00	09/03/2016	07:00:00
6,25	09/03/2016	10:45:00	09/03/2016	14:30:00
12,5	09/03/2016	14:30:00	09/03/2016	22:00:00
25	09/03/2016	22:00:00	10/03/2016	13:00:00
50	10/03/2016	13:00:00	11/03/2016	19:00:00
100	11/03/2016	19:00:00	14/03/2016	07:00:00
150	13/03/2016	01:00:00	16/03/2016	19:00:00
200	14/03/2016	07:00:00	19/03/2016	07:00:00
250	15/03/2016	13:00:00	21/03/2016	19:00:00
300	16/03/2016	19:00:00	24/03/2016	07:00:00
350	18/03/2016	01:00:00	26/03/2016	19:00:00
400	19/03/2016	07:00:00	29/03/2016	07:00:00
450	20/03/2016	13:00:00	31/03/2016	19:00:00
650	25/03/2016	13:00:00	10/04/2016	19:00:00

Quadro 1 – Horário das coletas das amostras.

Fonte: Autoria própria.

As amostras foram armazenadas em frascos estéreis de 120 mL, com dosador e lacre, para evitar evaporação da amostra e vazamento durante transporte (Figura 7)



Figura 7 – Frascos utilizados nas coletas.

Fonte: Autoria própria.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS

As análises químicas das amostras foram adaptadas, seguindo metodologia adaptada sugerida metodologia adaptada por Silva (2009), APHA (1998) e CLAESSEN et al. (1997).

Após a etapa de preparo das soluções e realizadas as coletas nos períodos já mencionados, foram executadas análises químicas das amostras, de modo a quantificar as concentrações dos cátions presentes.

4.3.1 Preparo de Reagentes para as Análises Químicas

Todos os reagentes utilizados foram preparados nos laboratórios da UTFPR-Londrina, com auxílio do professor Marcelo Hidemassa Anami. Os reagentes também seguiram metodologia adaptada por Silva (2009), APHA (1998) e CLAESSEN et al. (1997). Os reagentes foram:

- Solução de cianeto de potássio (KCN) a 10%;
- Solução tampão: cloreto de amônio (NH_4Cl), hidróxido de amônio concentrado (NH_4OH), sulfato de magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético);
- Coquetel tampão: solução tampão, trietanolamina e solução KCN 10%;
- Solução de EDTA a $0,0125 \text{ mol. L}^{-1}$;
- Solução carbonato de cálcio (CaCO_3) a $0,05 \text{ mol. L}^{-1}$;
- Indicador de negro-de-ericromo-T.

4.3.2 Potencial Hidrogeniônico e Condutividade Elétrica

O pH e a CE foram as primeiras medidas a serem determinadas. Foram utilizados pHmetro e condutímetro de bancada, calibrados com solução padrão.

4.3.3 Método Complexométrico com Emprego de EDTA para Análise de Cálcio e Magnésio

O método Complexométrico com emprego de EDTA consiste na determinação de cálcio e magnésio, na qual por meio de titulação, a quantidade de EDTA gasto até a viragem de cor vermelho-arroxeadada para azul puro ou esverdeada (Figura 8) se obtém a quantidade de cátions de Ca^{++} mais Mg^{++} presentes nas amostras, em $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$.

Para realização da titulação, pipetou-se, sem filtrar, 25 mL do extrato (amostras coletadas). Transferido essa quantidade para um erlenmeyers de 125 mL, adicionou-se 4 mL da coquetel tampão, aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico e 3 gotas do indicador negro-de-eriocromo-T, imediatamente antes do início da titulação.



Figura 8 – Titulação da amostra.
Fonte: Autoria própria.

4.3.4 Fotometria de Chama para Análise de Sódio e Potássio

Indicado por Silva (2009) e CLAESSEN et al., a extração de potássio (K^+) e sódio (Na^+) utilizando fotômetro de chama (Figura 9), foi realizada no Instituto Federal do Paraná – Câmpus Londrina (IFPR), localizado na rua João XXIII, 600, jardim Dom Bosco, município de Londrina-PR.



**Figura 9 – Fotômetro de chama do IFPR.
Fonte: Autoria própria.**

Com auxílio de uma micropipeta foram retiradas 5mL do extrato e transferido para copo plástico descartável, de modo a realizar a leitura no equipamento. As amostras dos extratos com $CE \geq 2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ foram diluídas com água deionizada em fator 0,5/5,0 mL, 0,3/5,0 mL ou 0,2/5,0 mL, de acordo com a necessidade, para que leitura do aparelho não ultrapassasse o padrão do equipamento. As leituras de Na^+ e K^+ são dadas em partes por milhão (ppm), se fazendo necessário a conversão dessa unidade para $\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$. É importante destacar que, para que fosse possível obter valores coerentes, ao realizar a diluição, se fez necessário multiplicar o fator de diluição pelo valor obtido na leitura, tal fator é estabelecido pela Equação (1):

$$\text{Fator de diluição (Fd)} = \frac{\text{quant. de água deionizada} + \text{quant. de extrato}}{\text{quant. de extrato}} \quad (1)$$

4.3.5 Digestão das Plantas

Também foi realizado análise química das amostras dos talos e folhas das poáceas, antes e depois do acréscimo da solução. Para que fosse possível realizar os procedimentos analíticos, as amostras foram digeridas segundo metodologia sugerida por Carneiro, Reissmann e Marques (2006) adaptada de Jones & Case (1990) e Perkin-Elmer (1973). As amostras coletadas foram armazenadas dentro sacos de papel kraft e acondicionadas em estufa à 60^oC (Figura 10), separadas em talos e folhas, por leitos. Antes da secagem, as amostras foram higienizadas com água destilada e ácido clorídrico (HCl) 3% para remoção total de qualquer resquício de partículas cujo a presença não fosse desejada (Figura 11).



Figura 10 - Secagem das amostras em estufa à 60^oC.

Fonte: A autoria própria.



Figura 11 – Higienização das amostras, separadas em talos e folhas.
Fonte: Autoria própria.

Pesou-se as 1,0g ($\pm 0,001$) de material seco da amostra em cadinhos de porcelana. Os cadinhos foram levados ao forno-mufla ainda frio, sendo a temperatura elevada gradativamente à 500⁰C, na qual permaneceram por aproximadamente 3 horas. Após esfriamento natural em estufa de secagem, foram adicionadas 5 gotas de HCl 3 mol.L⁻¹ em cada cadinho, para auxiliar na decomposição. Em seguida os cadinhos voltaram ao forno-mufla por mais 3 horas, para assegurar a completa decomposição do material. Após novo esfriamento em estufa de secagem, foram adicionados 10 mL de HCl 3 mol.L⁻¹ e aquecimento à 80⁰C em manta aquecedora por 15 minutos, para completa solubilização das cinzas (Figuras 12, 13 e 14).



Figura 12 – Amostras antes do forno-mufla e após das 3 horas.
Fonte: Autoria própria.



Figura 13 – Disposição dos cadinhos no forno-mufla.
Fonte: Autoria própria.



Figura 14 – Amostras em manta aquecedora à 60°C.
Fonte: Autoria própria.

Posteriormente foi feita a filtragem das cinzas com papel filtro em balões volumétricos de 100 mL, completando o volume com água deionizada (Figura 15).



Figura 15 – Filtragem das cinzas.
Fonte: Autoria própria.

4.4 RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO

O cálculo das RAS se deu pela Equação (2) proposta por Richards (1954), empregada para discutir, em condições de equilíbrio, a relação existente entre cátions adsorvidos e cátions solúveis. As concentrações de Na^+ , Ca^{++} e Mg^{++} são dadas em meq. L^{-1} .

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad (2)$$

4.4.1 Escolha da Razão de Adsorção Inicial

A RAS inicial foi estabelecida segundo critério proposto por Cordeiro (2001), esta sendo maior que $9,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ apresenta grande problemática quando irrigada nos solos, considerada de grau severo. A Tabela 4 apresenta diversos parâmetro, e essa informação é dada em Sódio (RAS aj).

Tabela 4 – Interpretação da Qualidade da Água de Irrigação.

Efeito Considerado	Grau de Problema		
	Nenhum	Crescente	Severo
Salinidade			
CE mmhos/cm ou dS/m	< 0,75	0,75 – 3,00	> 3,00
Permeabilidade			
CE mmhos/cm ou DS/m	> 0,5	0,5 – 0,2	< 0,2
RASaj			
Montmorilonita (2:1)	< 6,0	6,00 – 9,00	> 9,0
Ilita vermiculita (2:1)	< 8,0	8,00 – 16,0	> 16,0
Kaolinita (1:1)	< 16,0	16,0 – 24,0	> 24,0
Toxidez do ion específico			
Sódio (RAS aj.)	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Cloreto (meq/L)	< 4,0	4,0 – 10,0	> 10,0
Boro (meq/L)	< 0,75	0,75 – 2,0	> 2,0
Outros efeitos			
HCO ₃ (meq/L)	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH	Faixa normal		6,5 a 8,4

Fonte: Cordeiro (EMBRAPA, 2001).

Por esse motivo o presente trabalho delimitou valores de Na⁺, Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ que pudessem ser superiores a este valor. As concentrações utilizadas desses sais proporcionaram RAS inicial de 10,46 mmol_cdm⁻³. Como já descrito na seção 4.2, foi utilizado fertilizante comercial para o preparo do efluente sintético (Figura 5), corrigindo as quantidades de cálcio, magnésio e sódio segundo proposto pelo fornecedor do fertilizante. Os cálculos das quantidades de nutrientes utilizados e teores do efluente sintético podem ser consultados no apêndice B.

Tabela 5 – Teores de Nutrientes do Efluente Sintético.

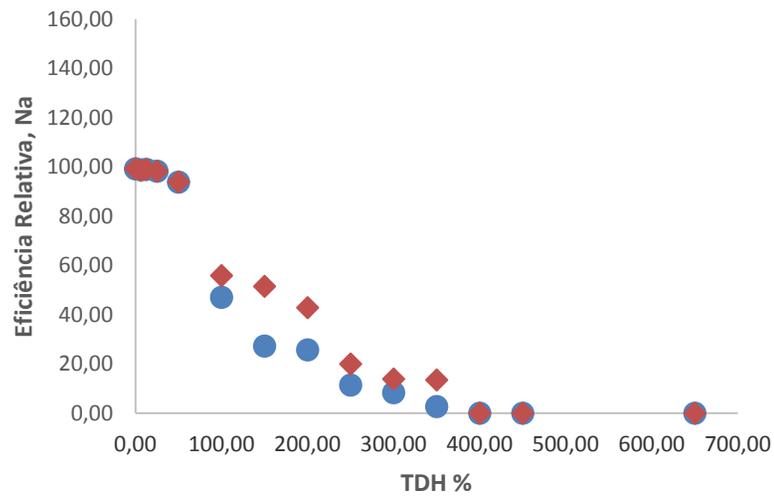
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Ca	Mg	Na
g. L ⁻¹				mmol _c dm ⁻³ .		
10	2	30	3	25,3	23,29	51,58

Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

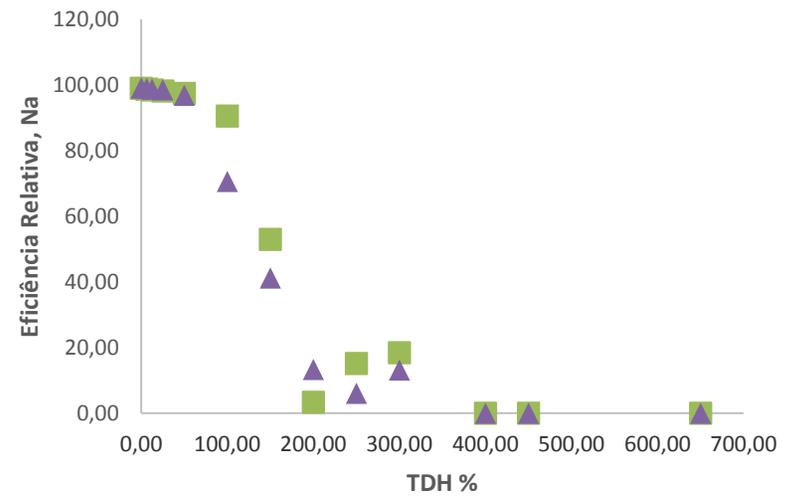
5.1 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SÓDIO

Os Gráficos 1 e 2 apresentam as eficiências de remoção de sódio em seus respectivos leitos.



● H. Altíssima - TDH 2,5 (L1) ◆ B. Subquadrípara - TDH 2,5 (L2)

Gráfico 1 – Eficiência de remoção de sódio, leitos 1 e 2.



■ H. Altíssima - TDH 5,0 (L3) ▲ B. Subquadrípara - TDH 5,0 (L4)

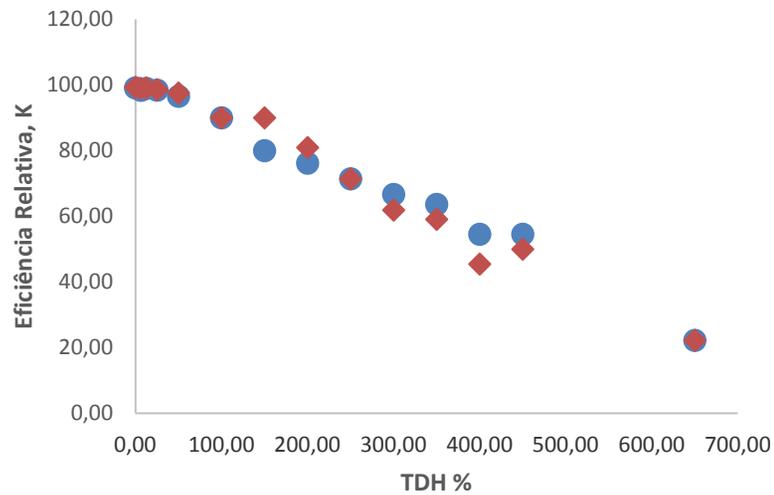
Gráfico 2 – Eficiência de remoção de sódio, leitos 3 e 4.

A eficiência de remoção de sódio nos leitos 1 e 2, foram bastante satisfatórias, com ligeira vantagem para espécie *B. subquadripa*, mantendo melhor rendimento na faixa de 100% até 350% do TDH. A partir daí a absorção de sódio já havia cessado. O melhor rendimento se deu em 100% do TDH para ambas as espécies, sendo de 47,06% para *H. altíssima* e 55,88% para *B. subquadripa*. Já nos leitos 3 e 4, onde o TDH era o dobro do leito 1 e 2, permitindo assim que a solução permanecesse mais tempo em contato com as raízes das plantas e por esse motivo era esperado que a absorção de sódio fosse maior que as dos leitos 1 e 2, e isso de fato ocorreu.

Mas nesses leitos a espécie *H. altíssima* desempenhou melhor rendimento em praticamente todos os TDH, apenas em 200% do TDH isso não ocorreu. O melhor rendimento para ambas as espécies foram em 100% do TDH, sendo 90,50% para *H. altíssima* e 70,59% para *B. subquadripa*. A faixa de 0 até 50% do TDH também apresentou ótimos valores, porém estes não foram considerados, já que não se pode afirmar, que dentro dessa faixa a solução permaneceu em contato direto com as plantas.

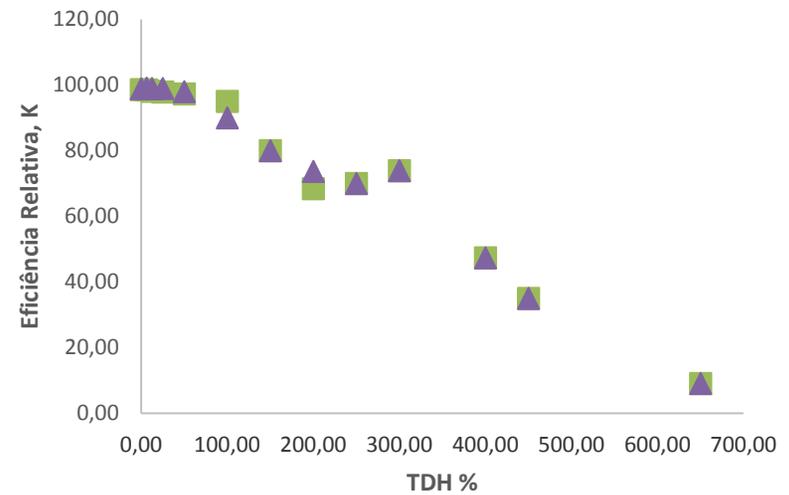
5.2 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE POTÁSSIO

Os Gráficos 3 e 4 apresentam as eficiências de remoção de potássio em seus respectivos leitos.



● H. Altíssima - TDH 2,5 (L1) ◆ B. Subquadrípara - TDH 2,5 (L2)

Gráfico 3 – Eficiência de remoção de potássio, leitos 1 e 2.



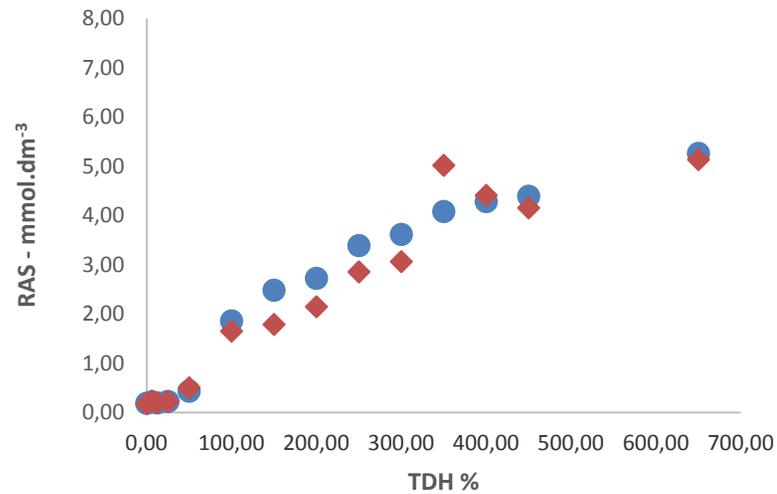
■ H. Altíssima - TDH 5,0 (L3) ▲ B. Subquadrípara - TDH 5,0 (L4)

Gráfico 4 – Eficiência de remoção de potássio, leitos 3 e 4

As plantas absorveram potássio por uma faixa muito maior que o sódio, até 650% do TDH. Não houve grande diferença significativa no rendimento entre as espécies, basicamente mantiveram a mesma tendência, sendo seus melhores rendimentos também em 100% do TDH, com 90% de remoção potássio para ambas espécies nos leitos 1 e 2. *H. altíssima* obteve eficiência de remoção de 95% e a espécie *B. Subquadripa* de 90% nos leitos 3 e 4. As espécies demonstraram preferência pelo potássio, o que demonstra serem plantas seletivas, que possuem mecanismos de tolerância fazendo a absorção seletiva do potássio e suprimindo o sódio.

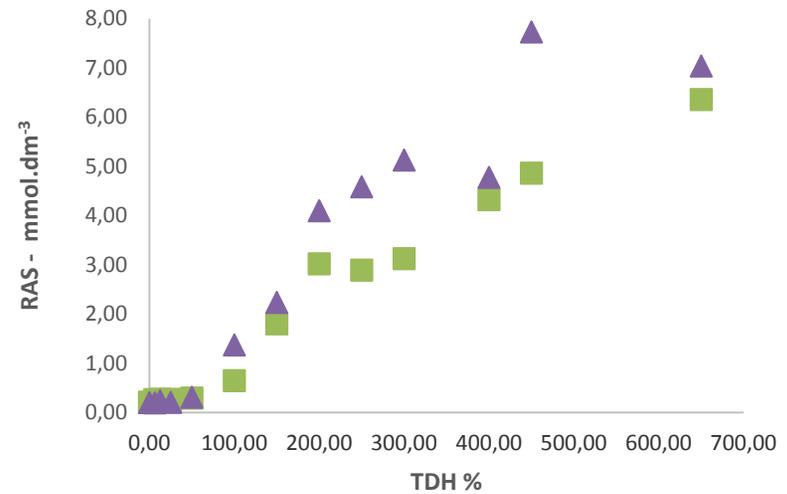
5.3 RAZÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO

Os Gráficos 5 e 6 apresentam as o comportamento da RAS em função ao TDH, em seus respectivos leitos.



● H. Altíssima - TDH 2,5 (L1) ◆ B. Subquadrípara - TDH 2,5 (L2)

Gráfico 5 – RAS, leitos 1 e 2.



■ H. Altíssima - TDH 5,0 (L3) ▲ B. Subquadrípara - TDH 5,0 (L4)

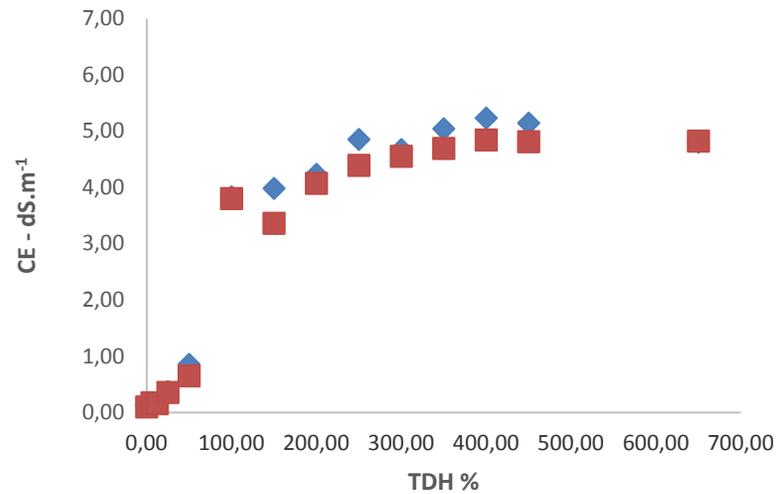
Gráfico 6 – RAS, leitos 3 e 4.

A RAS nos leitos 1 e 2 aumentaram gradativamente até chegar próximo de 8 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$, o que já era esperado, com uma ligeira vantagem para espécie *B. subquadripa*, mas para ambos os valores não excederam a RAS inicial de 10,46 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$. Isso significa que parte desse sódio foi absorvido pelo metabolismo das plantas e à medida que a necessidade por esse nutriente se satisfez, seus valores subiram. Provavelmente com maior tempo de contato das plantas com solução salina, seria o suficiente para obter valores bem próximos da RAS inicial, quando a planta atinge sua saturação máxima, ou seja, não tem capacidade de absorver mais os nutrientes. Nos leitos 3 e 4 onde o tempo de TDH era de 5,0 dias, ocorreu o inverso, a espécie *H. altissima* obteve ligeira vantagem sobre a *B. subquadripa* que chegou a atingir o valor de 7,72 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$, enquanto o valor máximo atingido pela *H. altissima* não ultrapassou aos 6,35 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$.

Os valores da RAS não excederam 10,0 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ como proposto no diagrama Richards (1954) ou pela equação ($\text{RAS} < 18,87 - 4,44\log \text{CE}$), enquadrando a água quanto ao perigo de sodicidade como S1 (água de baixa sodicidade).

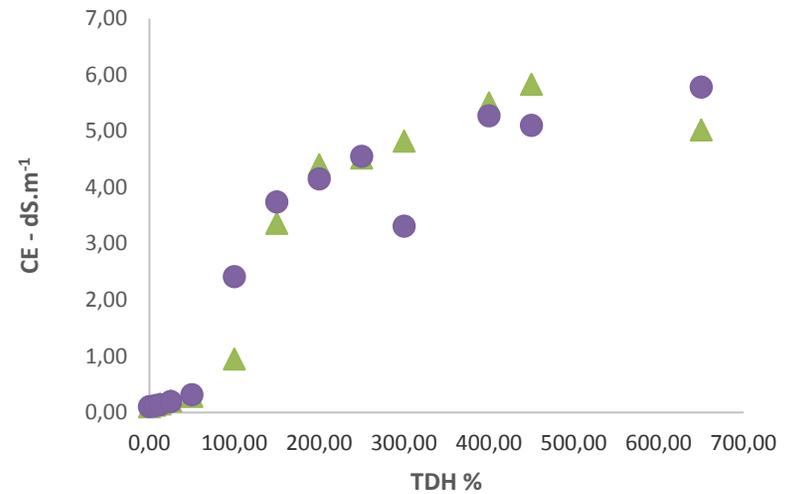
5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA – CORRELAÇÕES

Os Gráficos 7 e 8 apresentam as o comportamento da CE em função ao TDH, em seus respectivos leitos.



◆ H. Altíssima - TDH 2,5 (L1) ■ B. Subquadrípara - TDH 2,5 (L2)

Gráfico 7 – Variação da CE elétrica x TDH, leitos 1 e 2.



▲ H. Altíssima - TDH 5,0 (L3) ● B. Subquadrípara - TDH 5,0 (L4)

Gráfico 8 – Variação da CE x TDH, leitos 3 e 4.

A CE nos leitos 1 e 2 ao final do experimento (TDH 650%) ficou próxima de 5,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para ambas espécies, o que já a enquadra como C4, água de salinidade muito alta (valores $> 2,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Para os leitos 3 e 4 no mesmo TDH de 650% a CE ficou abaixo de 5,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para espécie *H. altíssima* e aproximadamente 6,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para *B. subquadripara*, o que também as enquadram como C4. Em aproximadamente 100% do TDH as CE chegaram a estar próximas da metade desses valores. Traçando uma relação de eficiência pode se considerar como uma faixa mais proveitosa para redução desses sais. Segue abaixo os Gráficos 7 e 8 para melhor conferência desses parâmetros. Em 100% do TDH os valores da CE ainda se encontravam muito baixos, o que sugere dois pontos, primeiro a solução ainda estava entrando em contato com as plantas, segundo as plantas estão com alta capacidade de absorção de nutrientes, fazendo assim que os valores de CE se mantenham baixos.

Os Gráficos 9 e 10 apresentam respectivamente o comportamento da Na e K em função CE, em seus respectivos leitos.

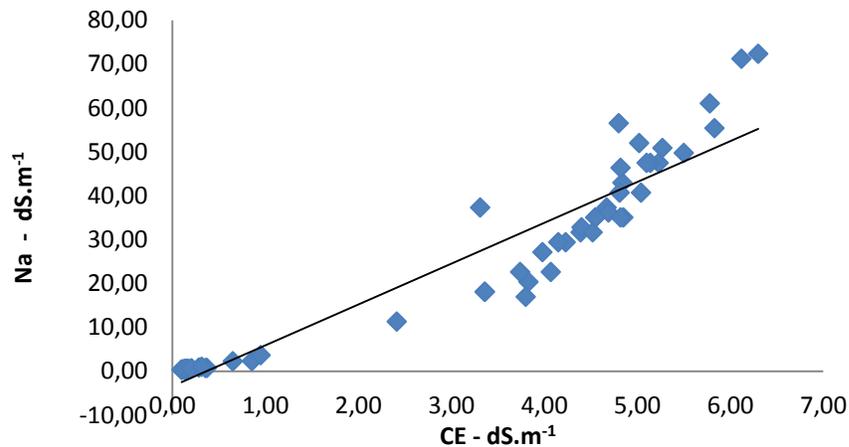


Gráfico 9 – Correlação CE x Na, ambos os leitos

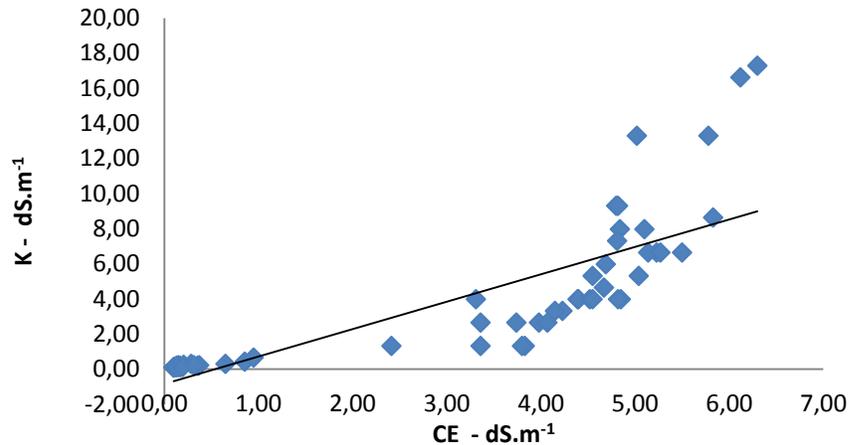


Gráfico 10 – Correlação CE x K, ambos os leitos.

Os sólidos dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-se num eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica. Devido a CE estar intimamente relacionada com a concentração total de eletrólitos dissolvidos (solutos iônicos) na solução, ela é comumente utilizada como parâmetro de quantificação da concentração de sais que compõe a amostra. A CE também pode sofrer interferência da temperatura, ou seja, conforme a temperatura aumenta, a condutividade elétrica também aumenta (GHEYI, QUEIROZ E MEDEIROS, 1997).

Sendo assim a condutividade elétrica, deve estar correlacionada com concentração de sódio e potássio. Através dos resultados obtidos percebe-se que a medida que a concentração de sais sobem com o decorrer do experimento, a CE também subiu. Isso se deve pelo fato que as plantas foram perdendo sua capacidade de absorção dos sais, saturando e entrando em estágio de equilíbrio.

5.5 ANÁLISE QUÍMICA, COMPARTIMENTADA EM FOLHAS E TALOS

O sódio, potássio, cálcio e magnésio importantes nutrientes presentes dentro das estruturas das plantas, sendo essenciais no seu desenvolvimento. Dessa maneira

são convertidos da forma de íons livres, presentes nas soluções salinas, a constituintes das plantas e, futuramente, em biomassa. A Tabela 6 apresenta os dados das análises químicas, compartimentada em talos e folhas.

Tabela 6 – Análise Química Compartimentada Folhas e Talos.

Amostras	<i>H. altissima</i> L 1			<i>B Subquadripa</i> L 2			<i>H. altissima</i> L 3			<i>B Subquadripa</i> L 4		
	Na	K	Ca+Mg	Na	K	Ca+Mg	Na	K	Ca+Mg	Na	K	Ca+Mg
	mg/g											
Talo - antes	0,006	0,338	0,322	0,026	0,234	0,386	0,026	0,234	0,386	0,016	0,286	0,419
Talo - depois	0,026	0,481	0,370	0,018	0,273	0,338	0,026	0,208	0,258	0,026	0,364	0,322
Folha - antes	0,006	0,286	0,419	0,010	0,208	1,062	0,004	0,247	0,483	0,012	0,234	1,030
Folha - depois	0,017	0,273	0,869	0,009	0,234	0,741	0,012	0,234	1,030	0,008	0,286	0,773

Fonte: Autoria própria

Os resultados apresentados demonstram que as plantas, não necessariamente seque uma tendência na absorção de sais. Alguns valores aumentaram, enquanto outros diminuíram, mas de certo modo se mantiveram no mesmo patamar.

Segundo Fernandes (2006) o Ca possui baixa mobilidade dentro das plantas e maior parte da proporção de Ca nas plantas está localizada nas paredes celulares, principalmente dentro nas folhas (60% do Ca nas folhas encontra-se dentro cloroplastos), onde permanece imóvel.

A grande proporção de Mg na planta está ligada na regulação de pH celular, seu excesso pode causar deficiência de K e Ca. Assim como Ca o Mg é encontrado na clorofila, como reserva nos vacúolos e constituinte da parede celular. A única diferença entre o Ca e o Mg está na sua mobilidade, nesse caso o Mg é muito móvel no floema (FERNANDES, 2006).

Os resultados de Ca + Mg não apresentaram a mesma tendência entre as espécies. Na espécie *H. altissima*, somente nas folhas, as concentrações aumentaram, praticamente dobraram, tanto nos leitões 1 e 3. Já na espécie *B. subquadripa*, somente nas folhas as concentrações diminuíram, em ambos leitões 2 e 4.

Desse modo as espécies *H. altissima* e *B. subquadripa* apresentaram reações inversas.

As concentrações encontradas de Na nos compartimentos talo e folha, foram inferiores as concentrações encontradas dos demais sais.

Dias e Blanco (2010) argumentam que a habilidade dos genótipos de certas plantas em manter altos teores de K e Ca, e baixos teores de Na dentro dos seus tecidos, é um dos mecanismos chaves que contribuem para expressar sua tolerância a salinidade.

O K é o cátion mais abundante nas plantas, sendo absorvido em grandes quantidades pelas raízes. Tem importante função no estado energético das plantas, e apesar de não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, exerce importante função de manutenção de água nos tecidos vegetais (FERNANDES, 2006).

Necessário para o crescimento das plantas, desenvolvimento e maturação de grãos e frutos dos vegetais, a quantidade de K^+ em solução depende de cada espécie, e do seu estágio de crescimento. As plantas têm a capacidade de absorver quantidades superiores as suas necessidades, efeito chamado por Fernandes (2006) de “consumo de luxo”. Isso explica porque o K foi encontrado em maiores concentrações nas análises químicas compartimentadas.

A Figura 16 (A) e (B) apresenta a evolução do desenvolvimento das espécies analisadas ao longo do período de um mês.



Figura 16 – (A) Plantas antes do contato com efluente sintético e (B) plantas após um mês em de contato com efluente sintético.
Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que as plantas obtiveram melhores rendimentos em 100% do TDH, e mais eficientes na remoção de potássio do que o sódio. Em relação ao sódio as plantas tiveram melhor rendimento em 5,0 dias de TDH, enquanto para o potássio não houve grande diferença o nos tratamentos, mas mantendo bom patamar de remoção.

Em 250% do TDH as plantas reduziram muito a absorção de sódio, enquanto para que a redução atingisse o mesmo patamar de redução de remoção do potássio foi necessário 650% do TDH.

Assim, conclui-se que estas plantas apresentam reduzida absorção de sódio e potássio ao longo do tempo, porém muito promissoras no que tange a tolerância a salinidade e utilização em processos de sistema de tratamento de efluentes, principalmente com ênfase para absorção do potássio.

REFERENCIAS

ALMEIDA, Otávio Á. de. **Qualidade da Água de Irrigação**. 1 ed. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010.

APHA - American Public Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington, DC: APHA, 2012.

ANA – Agência Nacional do Meio Ambiente. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2015**. Disponível em: < http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf/view>. Acesso em: 02 jul. 2016.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A Qualidade da Água na Agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.

BASSO, Luís H.; BRAGA, Marcos B.; CALGARO, Marcelo; SIMÕES, Welson L.; PINTO, José M. Cultivo da Videira: Irrigação e Fertirrigação. **EMBRAPA – Sistema de Produção**. Ago, 2010. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/CultivodaVideira_2ed/irrigacao.html#4>. Acesso em: 02 Junho de 2016.

BATISTA, Rafael O.; BATISTA, Raquel O.; FIA, Ronaldo; SILVA, Denise. **Qualidade das Águas Residuárias para Irrigação**. Lavras: UFLA, 2014.

BERNARDO, Salassier. **Manual de Irrigação**. 2 ed. Viçosa-MG:UFV, 1982.

BERTONCINI, Edna I. Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária. **Tratamento de Efluentes e Reúso de Águas no Meio Agrícola**. São Paulo: APTA, jun. 2008. p.152-169

BICUDO, Carlos E. M.; TUNDISI, José G.; SCHEUENSTUHL, Marcos C. B. **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências e Instituto de Botânica, 2010.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **A Natureza e Propriedades do Solo**. 3 ed. Bookman Editora Ltda. Porto Alegre- RS, 2013.

BRASIL/MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 2011.

CAMARA, Terezinha R.; WILLADINO, Lilia. **Tolerância das Plantas à Salinidade: Aspectos Fisiológicos e Bioquímicos**. Recife-PE: UFRPE, 2010. v.6, n.11,p.23.

CARNEIRO, Charles; REISSMANN, Charles B.; MARQUES, Renato. **Comparação de Métodos de Análise Química de K, Ca, Mg e Al, em Folhas de Erva-Mate**. Lavras: CERNE, 2006. V.12, n.2.

CLAESSEN, Marie E.C.; BARRETO, Washington O.; PAULA, José D.; DUARTE, Maria N. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

CORDEIRO, Gilberto G. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação (Conceitos Básicos e Práticos)**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001.

ENDLER, Dayandra. T., NOGUEIRA, Paula. C., SANTANA, Veronice. S., FIORESE, Monica. L., & HASAN, Salah. D. **Avaliação da Qualidade da Água de Irrigação Utilizada em Propriedades Rurais do Município de Toledo-PR**. Toledo-PR: Unioeste, 2013. p. 45-51.

FERNANDES, Manlio S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos, 2006.

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F. **Desenvolvimento Vegetativo do Pepino Enxertado Irrigado com Água Salina**. Piracicaba-SP: USP/ESALQ, 2000. V.57, n.3, p.451-457.

FRANCO, R. A., & HERNANDEZ, F. B. **Qualidade da Água para Irrigação na Microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo**. Campina Grande-PB: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2009. v.13, n.6, p.772-780.

GHEYI, Hans R.; QUEIROZ, José E.; MEDEIROS, José F. de. **Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997.

GHEYI, Hans R.; DIAS, Nildo. da S.; LACERDA, Claudivan F. de. Efeitos dos sais no solo e na planta. **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: INCTSal, v.1, p. 129-141, 2010.

HARUVY, Nava. Agriculture Ecosystems and Environment: **Agricultural Reuse of Wastewater: Cation-wide Cost-benefit Analysis**. Bet Dagan, Israel, mar. 1997. n. 66, p.112-123

HESPAHOL, I. **Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. Rev. Bras. Rec. Hidr., Porto Alegre-RS, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

JONES JUNIOR, J. B.; CASE, V. W. Sampling handling, and analyzing plant tissue samples. In: WESTERMAN et al. (Eds.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA Book, 1990. p. 389-427. (Series, 3).

MMA/ANA, Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas. **GEO Brasil - Recursos Hídricos: Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Brasília: ANA, 2007.

NASCIMENTO, Clístenes. W. A.; SOUZA JUNIOR, V.S.; FREIRE, Maria Betânia G. S.; RODRIGUES, Edivan R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2015. 1. ed. v. IX. 290p.

NUNES, Vania S. Agricultura Irrigada x Saúde Ambiental: Existe um Conflito. **EMBRAPA**. Corumbá, n.11, mai. 2001. Disponível em:<<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/ADM011.pdf>>. Acesso em: 02 de Junho de 2016.

PEDROTTI, Alceu; CHÁGAS, Rogério M.; RAMOS, Victor CALLEGARI; PRATA, Ana Paula N.; LUCAS, Ariovaldo T. A.; SANTOS, Priscila B. **Causas e Consequências de Processo de Salinização dos Solos**. Santa Maria-RS: REGET/UFSM, ago. 2015. v.19, n.2, p.1308-1324.

PINTO, José Maria. **Fertirrigação**. MA/EMBRAPA Semi-Árido: Petrolina-PE, 2008.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954.

RIBEIRO, Jaqueline C. **Reuso de Efluentes na Agricultura**. São Paulo: UNESP, 2013.

SALATTI, Eneida. **Utilização de *Wetlands* Construídas para Tratamento de Águas**. São Paulo, dez. 2003. v.65, n.1/2, p. 113-116.

SILVA, Edna L. da; MENEZES, Estera M. **Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3 ed. Florianópolis: UFSC, 2001.

SILVA, F. A. M. **Qualidade de Compostos Orgânicos produzidos com Processamento de Plantas Medicinais**. Tese do Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Energia e Agricultura. São Paulo-SP: UNESP, 2005. p.102.

SILVA, Fábio. C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2009.

SILVA, Selma. **“*Wetlands* Construídos” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgoto Doméstico**. Brasília: PT ARH.TD, 2007.

SOUZA, M. R. de. **Comportamento do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. CV Eriparza) Submetido a Diferentes Níveis de Salinidade da Água de Irrigação**. Lavras-MG: Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Lavras, 1995. 94 f.

SOUZA, Valdemício F.; MAUROELLI, Waldir A.; COELHO, Eugênio F.; COELHO, Maurício A. **Irrigação e Fertirrigação em Fruteiras e Hortaliças**. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, 2011.

UKCER, Fernando E.; LIMA, Paula B. S. O.; CAMARGO, Mariel F.; PENA, Diogo S.; CARDOSO, Cláudio F.; PÊGO, Adão W. E. **Elementos Interferentes na Qualidade da Água para Irrigação**. Cascavel-PR: REGET/UFSM, 2013. v.10, n.10, p. 2102-2111.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Teste de Condutividade para Programação do Timer

Para o acionamento automático dos agitadores, foi instalado um timer. Além disso foi necessário estabelecer os horários de acionamento do timer, para isso foi necessário realizar um teste. O teste basicamente se baseia na medição da CE em três pontos do tanque de alimentação (superfície, meio e fundo), logo após o agitador ser desativado. Utilizando um condutivímetro portátil foram feitas as medições nos pontos, a cada 15 minutos: $t_1 = 15$, $t_2 = 30$, $t_3 = 45$, $t_4 = 60$, $t_5 = 75$. O que se observou foi a necessidade de manter o timer acionada por 15 mim a cada 1h, durante todo o mês de coleta, assim a variação da CE era aceitável, evitando erros experimentais nesse aspecto. Segue Quadro 2 para melhor compreensão.

Tempo	Ponto	CE (mS. cm⁻¹)
t₀	S	5,46
	M	5,46
	F	5,47
t₁	S	5,46
	M	5,45
	F	5,45
t₂	S	5,45
	M	5,43
	F	5,42
t₃	S	5,44
	M	5,41
	F	5,39
t₄	S	5,42
	M	5,40
	F	5,39
t₅	S	5,41
	M	5,39
	F	5,38

Quadro 2 – Teste de decaimento da CE com tempo.
Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B – Detalhes dos Cálculos Realizados no Preparo das Soluções

Para o preparo das soluções foi utilizado 150g de fertilizante comercial, para cada 100L de água, segundo indicação do próprio fornecedor. Também foi necessário a realização de correção para as quantidades de cálcio, magnésio e sódio. Sendo acrescentado 18,3g de Ca para cada 100L de água, 7,2g de Mg para cada 100L de água e 47,25g de Na para cada 100L de água. A partir de tal informação foi possível calcular a quantidade que reagentes utilizados no preparo da solução, como segue os cálculos logo abaixo. Os reagentes utilizados foram: cloreto de magnésio P.A. (MgCl_2), cloreto de cálcio P.A. (CaCl_2) e cloreto de sódio P.A. (NaCl).

MgCl_2 (P. M. = $95,3\text{g. mol}^{-1}$), sendo peso molar do Mg P. M. = $24,3\text{g. mol}^{-1}$

$$95,3\text{g. mol}^{-1} \rightarrow 24,3\text{g. mol}^{-1}$$

$$X\text{g. mol}^{-1} \rightarrow 7,2\text{g. mol}^{-1}$$

$$\mathbf{X = 28,3\text{g}/100\text{L}}$$

CaCl_2 (P. M. = $111,1\text{g. mol}^{-1}$), sendo peso molar do Ca P. M. = $40,1\text{g. mol}^{-1}$

$$111,1\text{g. mol}^{-1} \rightarrow 40,1\text{g. mol}^{-1}$$

$$X\text{g. mol}^{-1} \rightarrow 18,3\text{g. mol}^{-1}$$

$$\mathbf{X = 50,7/100\text{L}}$$

NaCl (P. M. = $58,44\text{g. mol}^{-1}$), sendo peso molar do Na P. M. = $23,0\text{g. mol}^{-1}$

$$58,44\text{g. mol}^{-1} \rightarrow 23,0\text{g. mol}^{-1}$$

$$X\text{g. mol}^{-1} \rightarrow 47,5\text{g. mol}^{-1}$$

$$\mathbf{X = 120,13/100\text{L}}$$