

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LARISSA DE ALMEIDA

FITORREMEDIAÇÃO DE REJEITO SALINO PROVENIENTE DA OSMOSE REVERSA  
EM SISTEMA HIDROPÔNICO DE CULTIVO DE MUDAS DE *EUCALYPTUS DUNNII*

PONTA GROSSA – PR

2020

LARISSA DE ALMEIDA

FITORREMEDIAÇÃO DE REJEITO SALINO PROVENIENTE DA OSMOSE REVERSA  
EM SISTEMA HIDROPÔNICO DE CULTIVO DE MUDAS DE *EUCALYPTUS DUNNII*

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Giovana Katie Wiecheteck.  
Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa

PONTA GROSSA – PR

2020

A447 Almeida, Larissa de  
Fitorremediação de rejeito salino proveniente da osmose reversa em sistema hidropônico de cultivo de mudas de *Eucalyptus dunnii* / Larissa de Almeida. Ponta Grossa, 2020.  
55 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental - Área de Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Giovana Katie Wiecheteck.  
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa.

1. Água salobra. 2. Espécie florestal. 3. Sustentabilidade. I. Wiecheteck, Giovana Katie. II. Barbosa, Eduardo Augusto Agnellos. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. IV.T.

CDD: 628.4

**CERTIFICADO - 02/2020 - PPGESA****PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL  
Certificado nº 02/2020 PPGESA****CERTIFICADO DE APROVAÇÃO - DISSERTAÇÃO DE MESTRADO****Título da Dissertação: "Fitorremediação de rejeito salino proveniente da osmose reversa em sistema hidropônico de cultivo de mudas de eucalyptus dunnii"****Nome: Larissa de Almeida****Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Giovana Kátie Wiecheteck****Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa****Aprovado pela Comissão Examinadora:****Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Giovana Kátie Wiecheteck****Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG****Prof. Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa****Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG****Prof. Dr<sup>ª</sup>. Ana Carolina Barbosa Kummer****Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná****Prof. Dr. Daniel Rodrigues Cavalcante Feitosa****Instituto Federal do Sertão Pernambucano****Ponta Grossa, 26 de agosto de 2020.****Documento assinado eletronicamente por Giovana Katie Wiecheteck, Professor(a), em 01/09/2020, às 11:14, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.****Documento assinado eletronicamente por Ana Carolina Barbosa Kummer, Usuário Externo, em 02/09/2020, às 23:15, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.****Documento assinado eletronicamente por Eduardo Augusto Agnellos Barbosa, Professor(a), em 03/09/2020, às 13:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.**[https://sei.uepg.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=3527848&intra\\_sistema=...](https://sei.uepg.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=3527848&intra_sistema=...) 1/2**Documento assinado eletronicamente por Daniel Rodrigues Cavalcante Feitosa, Usuário Externo, em 11/09/2020, às 08:21, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.****A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador 0295184 e o código CRC 8099A8B6.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por conseguir concluir mais uma etapa em minha vida. Muitas vezes precisei respirar fundo para não enlouquecer e pedi muita força a Ele. Gratidão.

Quero agradecer a minha família, Carmen, Lauro, Luiz Eduardo e Pedro Henrique por me apoiarem do início ao fim. Eles me ajudaram financeiramente, além de cobrir os tubetes, carregar litros e litros de água destilada do bloco até a estufa, compareceram aos fins de semana na Universidade para que eu não fosse sozinha e me auxiliaram na montagem e desmontagem do experimento. Neste mesmo tópico, agradeço ao Peterson, meu namorado, pelas várias caronas nos domingos de manhã para Universidade, a fim de medir todos os parâmetros diários.

Entrando no tópico: pessoas da Universidade, quero começar pela minha orientadora Giovana W. por me auxiliar neste trabalho, se dispor a comprar materiais para que eu conseguisse iniciar os experimentos e mesmo de longe, estar sempre acompanhando meu desenvolvimento. A Taiana C. que foi mais do que uma amiga, foi uma mãe de laboratório, análises, auxílio nos resultados e discussão, estufa, buscar mudas de eucalipto e toda trajetória. Obrigada de coração, Taiana. Ao professor Eduardo A., que auxiliou com ideias, acompanhou na estufa, e de tanto contribuir acabou se tornando meu co-orientador. Ao Heder e Carlos que me ajudaram no laboratório, na estufa além do horário de trabalho e nas férias. Obrigada meninos, sem vocês eu ainda estaria realizando análises laboratoriais. Neste momento, vou citar alguns nomes, mas não quero que sintam-se menos importantes, apenas porque não posso escrever 10 páginas de agradecimentos. Portanto, obrigada Mariana, Juliane, Cícero, Fábio, Sabrina, Moisés, Paulo, Prof. Rafael, Gabriel, José Brasília e o pessoal do laboratório de agronomia (Giovana, Vanderson, Angelo). Eu preciso agradecer as pessoas da limpeza, manutenção, marcenaria, C-LABMU e seguranças do Campus. Provavelmente esqueci alguém, pois tive ajuda de pessoas desde a entrada do Campus até a saída pelo Colégio Agrícola. A todos os meus amigos do Mestrado.

Agradeço a Capes pela bolsa de mestrado com duração de 12 meses.

Por fim, agradeço aos membros da banca, por ter aceitado o convite de ler e contribuir com o meu trabalho.

## RESUMO

O sistema de osmose reversa é uma alternativa utilizada para suprir a elevada demanda de água potável em locais que sofrem com crises hídricas. Este processo produz um resíduo denominado concentrado salino onde possui elevadas concentrações de sólidos dissolvidos totais. A fim de remover os sais presentes no concentrado salino por fitorremediação, mudas de eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) foram mantidas em sistema hidropônico em bancada dentro da casa de vegetação. Os parâmetros monitorados diariamente nos tratamentos em diferentes concentrações de condutividade elétrica do concentrado salino (7,6, 12 e 16,1 mS cm<sup>-1</sup>) foram pH, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, salinidade, temperatura do líquido e condutividade elétrica. Após 50 dias de experimento, os dados foram registrados para avaliar o desempenho de crescimento das mudas (altura da parte aérea da planta, número de folhas, diâmetro do caule e área foliar), atributos fisiológicos (clorofila, condutância estomática, fotossíntese, transpiração foliar e concentração de carbono no mesófilo) e análises físico-químicas do líquido (entrada e saída). O tratamento que recebeu concentrado salino com menor concentração de condutividade elétrica (7,6 mS cm<sup>-1</sup>) apresentou remoção de sais superior a 60% durante o primeiro mês, assim como no controle. As mudas com concentrações acima de 7,6 mS cm<sup>-1</sup> apresentaram plantas mortas a partir do 25º dia de experimento e baixo desenvolvimento morfológico em relação ao controle e ao tratamento de menor concentração. A sobrevivência das mudas com concentração de 16,1 mS cm<sup>-1</sup> apresentaram tolerância ao sal.

**Palavras-Chave:** Água Salobra. Espécie Florestal. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

The reverse osmosis system is an alternative used to supply the high demand for drinking water in places with hydric stress. This process produces a residue called brine which has high concentrations of total dissolved solids. In order to remove the salts, we treated the brine by phytoremediation with eucalyptus seedlings (*Eucalyptus dunnii*) which were kept in a hydroponic system on a bench scale, inside a greenhouse. pH, dissolved oxygen, total dissolved solids, salinity, temperature and electrical conductivity were the parameters monitored daily, for the treatments using brine with different concentrations of electrical conductivity (7.6, 12 and 16.1 mS cm<sup>-1</sup>). Results about seedling growth performance (plant shoot height, number of leaves, stem diameter and leaf area), physiological attributes (chlorophyll, stomatal conductance, photosynthesis, leaf transpiration and concentration carbon in the mesophyle) and physical-chemical analyzes of the liquid (input and output), after 50 days of the experiment, were collected and analyzed. The treatment which received brine with the lowest electrical conductivity concentration (7.6 mS cm<sup>-1</sup>) presented salts removal greater than 60% during the first month, as well as in the control treatment. The brine treatment with electrical conductivity concentrations above 7.6 mS cm<sup>-1</sup> presented dead plants from the 25<sup>th</sup> day and low morphological development compared to the control and the lowest concentration treatments. The survival of the eucalyptus seedlings in the brine treatment with electrical conductivity concentration of 16.1 mS cm<sup>-1</sup> shows tolerance of the species to the salt.

**Keywords:** Brackish Water. Forest Species. Sustainability.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	Boro
Ca	Cálcio
CE	Condutividade Elétrica
Cl <sup>-</sup>	Íon Cloreto
Cu	Cobre
Fe	Ferro
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NaCl	Cloreto de Sódio
OD	Oxigênio Dissolvido
OR	Osmose Reversa
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
S	Enxofre
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
UF	Ultrafiltração
Zn	Zinco



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
3.1 DISPONIBILIDADE ATUAL DE ÁGUA NO BRASIL .....	11
3.2 TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO .....	12
3.2.1 Osmose Reversa .....	13
3.2.1.1 Definição do sistema de osmose reversa .....	13
3.2.1.2 Caracterização e tratamento do concentrado .....	14
3.3 FITORREMEDIAÇÃO .....	15
3.4 <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	16
3.4.1 Características Físicas.....	16
3.4.2 Tolerância à Salinidade .....	16
3.5 HIDROPONIA .....	17
3.5.1 Tipos de Hidroponia.....	19
3.5.2 Solução Nutritiva.....	20
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE EXPERIMENTO .....	23
4.2 SISTEMA DE TRATAMENTO .....	23
4.2.1 Sistema Hidropônico.....	23
4.2.2 Concentrações dos Tratamentos no Sistema Hidropônico .....	24
4.2.3 Solução Nutritiva de Hoagland; Arnon (1950).....	25
4.2.4 Origem das Mudanças de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	26
4.2.5 Concentrado Salino de Osmose Reversa.....	27
4.3 ANÁLISES E MONITORAMENTO DO CONCENTRADO SALINO E DAS MUDAS DE EUCALIPTO .....	28
4.3.1 Caracterização do Concentrado Salino e da Planta .....	28
4.3.2 Monitoramento do Concentrado Salino.....	30
4.3.3 Monitoramento das Mudanças de Eucalipto.....	30
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONCENTRADO BRUTO DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA.....	33
5.2 EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS EM SISTEMA HIDROPÔNICO .....	34
5.2.1 Parâmetros Monitorados.....	34
5.2.2 Análises Físico-Químicas do Líquido.....	37
5.3 ANÁLISE NUTRICIONAL NA PLANTA.....	39
5.4 SUBSTRATO .....	42
5.5 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS .....	43
5.6 ANÁLISES FISIOLÓGICAS .....	46
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A dessalinização não é uma solução para a falta de água no Brasil, mas uma alternativa para utilização da água do mar, principalmente em cidades costeiras. A dessalinização de água do mar tem sido uma alternativa para produção de água potável, principalmente em cidades costeiras e em ilhas. Em Fernando de Noronha, no nordeste do Brasil, já existe um sistema de dessalinização de água do mar que abastece a população da ilha.

A osmose reversa é um dos processos mais utilizados na dessalinização de água salina ou salobra. É um processo que remove grande parte de contaminantes orgânicos e cerca de 99% de íons no permeado (FERRARO, 2008). O sistema de osmose reversa gera um resíduo conhecido como *concentrado salino*. Este pode conter poluentes que ficam retidos na membrana e é caracterizado pela elevada presença de compostos orgânicos, como matéria orgânica e sais (SILVA, 2009). Quando não disposto adequadamente, o concentrado salino gerado em sistemas de dessalinização pode contaminar o meio onde foi lançado, seja devido à presença de metais pesados ou da elevada concentração de sal (LIN et al., 2014).

A prática comumente utilizada para descarte do concentrado salino é o lançamento em oceanos, mas há alternativas como a deposição no solo e recirculação do concentrado para o início do processo. Muitas vezes se lançado no solo este concentrado pode aumentar os níveis de sais do meio, aumentando a retenção de água e prejudicando os parâmetros fisiológicos e morfológicos de espécies vegetais presentes no local, onde estas não são tolerantes à salinidade (MICKLEY, 2006). Desta forma, existem estudos focados em tratar poluentes presentes no meio ambiente por meio de plantas tolerantes ao contaminante, este processo é chamado de fitorremediação (MENDONÇA et al., 2010). A tolerância da planta à salinidade aumenta de acordo com a capacidade desta em se ajustar à elevada pressão osmótica (MARTINS; SILVA, 2008). O gênero *Eucalyptus* sendo estudado por ser considerado tolerante à salinidade (MENDONÇA et al., 2010).

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade (tolerância à salinidade e capacidade de remoção de sais) de *Eucalyptus dunnii* para tratar o concentrado de osmose reversa enquanto cultivado em sistema hidropônico.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Estudar o desempenho de um sistema de fitorremediação de concentrado salino de osmose reversa por meio de hidroponia com mudas de eucalipto (*Eucalyptus dunnii*).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Instalar e monitorar um sistema hidropônico com eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) em ambiente controlado;
- Monitorar no meio líquido, sólidos dissolvidos totais, salinidade, pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido;
- Avaliar o desenvolvimento e o comportamento das mudas de eucalipto quanto às diferentes concentrações de concentrado salino adicionadas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 DISPONIBILIDADE ATUAL DE ÁGUA NO BRASIL

A água é o elemento essencial para a vida. Esta fornece dois elementos: hidrogênio e oxigênio. Os demais nutrientes necessitam da água para serem acondicionados e direcionados às plantas, como a entrada de carbono (transpiração) e a absorção radicular ou foliar dos demais nutrientes. Desta forma, a água é fundamental para a vida vegetal e animal (SOARES, 2007).

A água pode ser obtida a partir de precipitações, retornando à atmosfera através dos processos de evaporação de corpos d'água e da transpiração dos vegetais. A disponibilidade de água superficial no Brasil supera muitos países, no entanto com a falta de gestão dos recursos hídricos, a qualidade da água exige tratamentos onerosos.

O Brasil possui a maior reserva de água no mundo, contando com 12% da água disponível no Planeta, sendo obtida superficialmente, por reservatórios de água subterrânea e pela umidade atmosférica. Porém, estes componentes hidrológicos não são uniformemente distribuídos, afetando a disponibilidade hídrica em todo país. As zonas semiáridas possuem escassez de água devido à distribuição irregular de chuvas, gerando estiagens e/ou enchentes. Se nenhuma ação em relação às ameaças sofridas pelas matas e florestas for tomada, em 2030, a demanda de água terá acréscimo de 2000% em relação aos últimos 100 anos, gerando uma crise hídrica (PIRES et al., 2020).

Para garantir acesso à água no país, a tecnologia terá um papel muito importante especialmente em zonas urbanas e na região semiárida, onde a quantidade requerida é maior que a ofertada. Técnicas de dessalinização ainda são pouco desenvolvidas no país, mas estudos recentes apresentam um bom potencial para o seu uso. A construção de poços para armazenamento não suprem a necessidade de água no Nordeste, precisando utilizar a dessalinização, pois a água dos poços é salobra. A Agência Nacional de Águas é responsável por monitorar os níveis dos reservatórios e a qualidade de água contida (PIRES et al., 2020).

Mesmo que o sistema de dessalinização seja mais utilizado na região semi-árida do Brasil, futuramente pode ser uma alternativa para outros lugares do país, devido à crise hídrica. O Governo do Estado do Paraná decreta situação de emergência hídrica no Estado do Paraná pelo período de 180 dias, por meio do Decreto nº 4.626 de 7/05/2020. Este decreto foi criado devido a severa estiagem em todo território, mananciais com níveis

muito abaixo dos níveis prudenciais, anomalias negativas de precipitação há mais de seis meses (PARANÁ, 2020).

### 3.2 TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO

A dessalinização é um processo físico químico que tem como finalidade a remoção de sais diluídos nas águas, tornando-a adequada para consumo humano (MOURA, 2008).

Em 1867, Moritz Traube desenvolveu a primeira membrana sintética dando início ao processo de dessalinização de água. Em 1953, Reid e Breton elaboraram membranas de acetato de celulose. Estas tinham bom desenvolvimento, porém apresentavam baixa taxa de rejeição de sais e baixo fluxo de permeado. Por fim, surgiram membranas de poliamida aromática com melhores taxas de rejeição de sais e resistentes à degradação (MOURA, 2008).

Das tecnologias mais utilizadas para dessalinizar águas salgadas ou salobras, destacam-se os processos térmicos (destilação solar e destilação multi-estágios) e a tecnologia de membranas (eletrodialise e osmose reversa). Ainda possuem processos em desenvolvimento como a destilação a vácuo e o congelamento (CELLI, 2017).

No processo térmico de destilação solar a água passa a vapor através da energia solar e se torna doce após a condensação. Semelhante à destilação multi-estágios, onde a água é aquecida até seu estado de vapor e depois resfriada para sua condensação. Os processos de dessalinização por meio de membranas fazem-se através de um sistema de cátodo e ânodo (pilha de membranas), onde são separados os sais como na eletrodialise ou através de uma pressão aplicada na água, onde os sais ficam retidos na membrana e a água pura ultrapassa como na osmose reversa. O processo de destilação a vácuo submete a água salgada ao vácuo, reduzindo a temperatura de ebulição e condensando-se a seguir sem os sais antes presentes. Por fim, o processo de congelamento consiste em congelar a água formando cristais de gelo, separando a água pura do concentrado (CELLI, 2017).

Nesse trabalho foi utilizado o processo de dessalinização de água salina por sistema de osmose reversa com foco no concentrado salino gerado nesse tipo de sistema.

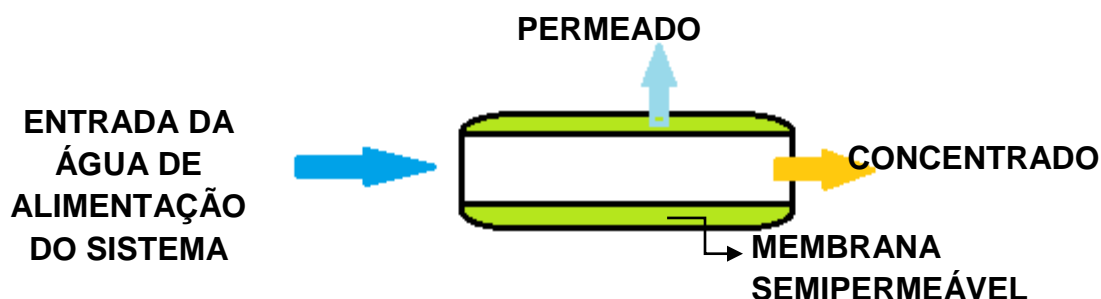
### 3.2.1 Osmose Reversa

#### 3.2.1.1 Definição do sistema de osmose reversa

A osmose surgiu em 1798 por Jean Antone Nollet que constatou uma alteração de concentração entre fluidos separados por uma membrana semipermeável. A ação da água quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana semipermeável ocorre desta forma: a água pura fluirá através da membrana, da solução mais concentrada em direção a menos concentrada (SOUZA, 2014). Para a produção de água pura são removidos sólidos inorgânicos dissolvidos entre 90 a 99%. A produção da água pura gera um resíduo fortemente concentrado salino.

A bomba de alta pressão injeta continuamente água nas membranas com energia suficiente para superar a pressão osmótica. A solução que alimenta o sistema divide-se em dois fluxos, um de permeado (água dessalinizada) e outro de concentrado (resíduo salino) (MOURA, 2008). A Figura 1 mostra o fluxograma do processo de osmose reversa composto pela entrada da água de alimentação, o permeado e concentrado, sendo que apenas o permeado passa através da membrana semipermeável.

**Figura 1:** Fluxograma do processo de osmose reversa



Fonte: A autora.

As principais aplicações da osmose reversa são (MOURA, 2008):

- Produção de água dessalinizada;
- Produção de água para indústrias de bebidas;
- Produção de água ultrapura;
- Tratamento da água na produção de papel e celulose;
- Produção de água de reuso.

Segundo a resolução CONAMA n° 357/2005, são estabelecidos padrões de lançamentos de efluentes em corpos d'água baseados em concentrações de diferentes

poluentes. O processo de osmose reversa pode concentrar diversos poluentes já existentes em corpos d'água e mananciais naturais, porém quanto mais eficiente o processo de dessalinização por membranas, menor a quantidade do concentrado gerado, porém com maior concentração de sólidos dissolvidos e sais (PEIG; RAMOS, 2010).

A destinação, tratamento ou reaproveitamento deste concentrado depende da caracterização físico-química do mesmo.

### 3.2.1.2 Caracterização e tratamento do concentrado

Cada sistema de dessalinização possui características exclusivas e específicas, tornando impossível a existência de uma única solução possível. Porém é realizada uma separação com base na qualidade da água de alimentação do sistema, fonte de origem, processo de tratamento e tecnologias utilizadas para determinar diferentes alternativas de manejo do concentrado.

Se ocorrer lançamento do concentrado no solo, o descarte incorreto do concentrado pode causar impactos negativos no meio e à vegetação presente no local. Devido ao excesso de salinidade, o concentrado pode causar o aumento do potencial osmótico no solo, aumento da retenção de água e dificultando a absorção pela planta. Quando a concentração de sais é elevada, a planta pode perder água para o solo e ainda sofre com o risco de toxicidade podendo causar danos fisiológicos e morfológicos (BEZERRA et al., 2019).

A prática mais utilizada para a destinação do concentrado de osmose reversa devido ao baixo custo e local dos sistemas já instalados no Brasil é a emissão direta no mar, podendo conter sais em concentrações tóxicas impactando negativamente a vida marinha (PEIG; RAMOS, 2010).

Quando o concentrado gerado provém da dessalinização de água salobra, é inviável o descarte em oceanos. Para realizar o descarte em águas superficiais, depende diretamente das legislações locais ao considerar a classe do rio a receber o concentrado.

Desta forma, uma alternativa é a injeção em poços profundos sem que haja risco de contaminação do lençol freático ou alterar os padrões de qualidade segundo a resolução CONAMA n° 396/2008. Outra forma de descarte aplicada em baixas vazões no nordeste brasileiro é a utilização do concentrado líquido para criação de tilápia, cultivo da erva-sal e retorno do concentrado ao poço de abastecimento (PEIG; RAMOS, 2010).



Nos últimos anos a técnica de fitorremediação vem sendo estudada devido ao baixo custo e à alta eficiência de remoção de poluentes presentes no solo ou na água. As plantas a serem utilizadas devem ser estudadas, conforme o poluente a ser removido do solo ou da água e a sua tolerância a ele.

### 3.3 FITORREMEDIAÇÃO

Em busca de alternativas para despoluir áreas contaminadas com técnicas simples e de baixo custo, utilizam-se organismos vivos como microrganismos e plantas para descontaminar o solo e a água. A fitorremediação é um ramo da biorremediação, onde as plantas utilizadas com práticas agronômicas imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (PIRES et al., 2003).

A fitorremediação pode ser utilizada em solos contaminados com diversos poluentes orgânicos ou inorgânicos, como metais pesados e subprodutos de indústrias. Devido à diversidade molecular de compostos orgânicos e constantes transformações, a remoção torna-se mais complexa de análise, podendo ter custos elevados devido a esta dificuldade. Na planta, assim que estes compostos orgânicos são translocados para o tecido, sofre uma transformação dentro das células antes de serem isolados em vacúolos ou ligar-se a estruturas celulares insolúveis, como a lignina (SALT; SMITH; RASKIN, 1998).

Para a implantação da fitorremediação é necessário conhecer as características físico-químicas do solo ou do ambiente contaminado, assim como as suas concentrações. As plantas para serem utilizadas, devem possuir capacidade de absorção, concentração e metabolização e tolerância ao contaminante, retenção do contaminante nas raízes transferindo para a parte aérea, alta taxa de crescimento, capacidade transpiratória elevada, fácil remoção da área contaminada, resistência a pragas e doenças, fácil aquisição, capacidade de se desenvolver em ambientes diversos e ocorrência natural em áreas poluídas. A planta a ser escolhida para este fim deverá alcançar o número máximo de características possíveis para melhores resultados (PIRES et al., 2003).

Apresenta algumas vantagens como o menor custo em técnicas, economia em equipamentos comumente utilizados na agricultura, muitas vezes as plantas não precisam ser retiradas do local contaminado, fácil monitoramento em relação a microrganismos, fixação de nitrogênio atmosférico, auxílio no combate à erosão local e estética. Porém, assim como todos os sistemas, há desvantagens como encontrar uma planta que se

adapte às características para fitorremediação, contaminantes dentro da zona radicular, necessidade de disposição da biomassa vegetal e, adequações do solo para facilitar a absorção dos contaminantes (VIEIRA; SILVEIRA, 2011).

### 3.4 *Eucalyptus dunnii*

#### 3.4.1 Características Físicas

É originário da Austrália, restrito a florestas fechadas no nordeste do estado de New South Wales e ao sudeste do estado de Queensland. As áreas pertencem a altitudes entre 150 e 800 m e a precipitação anual varia entre 1000 e 1500 mm, com três meses de seca durante a estação mais fria. As temperaturas estão entre 8°C e 28°C, sendo a mais fria e mais quente, respectivamente. Sua ocorrência resiste a leves geadas e em pequena quantidade (DOBNER Jr; HIGA; SEITZ, 2009).

O *E. dunnii*, conhecido como Eucalipto-cidra é uma árvore perenifólia com altura entre 30 e 50 metros. Possui tronco ereto e cilíndrico, com casca lisa (rosa-acizentada na base e verde-acizentada na região superior) que descama em placas longas, finas e enroladas. As folhas jovens são alternas e opostas, pecioladas de cor cinza-esverdeada, mas quando mais velhas tornam-se verde escuras, espessas e brilhantes, com comprimento entre 10 e 20 cm (BENITEC, 2020).

Esta árvore fornece madeira de boa qualidade e fibras para poupa celulósica. Sua madeira é muito semelhante a do *E. grandis*, podendo ter as mesmas utilizações (MENDES e PONTES, 2016). É cultivada no sul do Brasil, principalmente nas regiões do planalto catarinense e paranaense. Possui rápido crescimento e rusticidade, tolerante ao frio (BENITEC, 2020).

#### 3.4.2 Tolerância à Salinidade

Segundo Oliveira (2018), a salinidade é caracterizada pela presença de elevadas concentrações de cátions como sódio ( $\text{Na}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) e de ânions como cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a salinidade é considerada no caráter sálico ( $\text{CEes} \geq 7 \text{ dS.m}^{-1}$ , a 25°C) e no caráter salino ( $4 \geq \text{CEes} < 7 \text{ ds.m}^{-1}$ , a 25°C) (EMBRAPA, 2006).

Em relação a clones de eucalipto, o aumento da salinidade no solo (acima de 4,5 dS.m<sup>-1</sup>) pode causar danos na altura da planta, diâmetro do caule, massa seca total e área foliar (LOPES; KLAR, 2009).

As características fisiológicas da planta, como a fotossíntese e o teor de clorofila, são usadas para identificar diferenças nas respostas fisiológicas de espécies ou cultivares sob estresse salino. A atividade fotossintética da planta é reduzida com o aumento da ocorrência da salinidade (NaCl) no solo ou meio líquido, diminuindo o crescimento da muda e a área foliar (MENDONÇA, 2010).

Sun (1993) analisou o comportamento de 16 espécies de *Eucalyptus* com diferentes concentrações de salinidade (50, 75, 100, 150 e 200 mM). A espécie *E. grandis* foi considerada moderadamente tolerante ao sal, sendo mais tolerante nas concentrações de 50, 100 e 150 mM. Por meio das características morfológicas foi possível verificar o efeito da salinidade nas mudas de eucalipto. Nawaz (2016) verificou em seu trabalho que as mudas de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) são tolerantes à alta salinidade do NaCl. Porém, acima de 200 mM pode afetar a produção de biomassa das mudas.

Quando realizada a micropropagação do eucalipto, é imprescindível clonar espécies ou híbridos que possuam tolerância a salinidade, baixas temperaturas, além do bom desenvolvimento da muda do eucalipto e resistência a pragas e doenças (DUTRA; WENDLING; BRONDANI, 2009). Além do tempo de exposição ao sal, a proporção que a salinidade afeta o eucalipto está relacionada com a espécie utilizada e a idade do mesmo (MENDONÇA, 2010). Segundo Oliveira et al. (2018) o estresse salino pode reduzir a absorção de nutrientes do solo e comprometer o estado nutricional dos vegetais.

Apesar disto, a micropropagação de espécies de eucalipto faz parte do processo de produção de mudas em empresas florestais. Este processo inclui as fases de desinfestação (principalmente quando as mudas são provenientes do campo), multiplicação, alongamento, enraizamento e aclimatização (DUTRA; WENDLING; BRONDANI, 2009).

### 3.5 HIDROPONIA

A palavra hidroponia vem do grego: *hydro*: água e *ponos*: trabalho, sendo denominado como cultivo sem solo. Este sistema auxilia na otimização da produção de maiores safras durante o ano comparado com o sistema convencional. É normalmente utilizado para culturas de pequeno porte como hortaliças, flores, entre outros. No cultivo

comercial pode agregar valor às hortaliças quando livres de defensivos agrícolas (PRADO, 2010).

Assim como todos os sistemas, o cultivo hidropônico apresenta vantagens e desvantagens (PRADO, 2010):

**Vantagens:**

- Menor trabalho operacional;
- Eliminação do preparo do solo, custos com máquinas e combustível;
- Reutilização do meio de cultivo;
- Sem a competição por nutrientes e água ocorre aumento na produção;
- Plantas com desenvolvimento uniforme;
- Melhor desenvolvimento radicular;
- Maior aproveitamento da área agrícola;
- Imune a adversidades climáticas, como geadas.

**Desvantagens:**

- Elevados custos e trabalhos iniciais;
- Riscos de perda da produção gerada pela falta de energia;
- Exigência de conhecimento sobre o sistema e fisiologia da planta;
- Perda de produtividade com balanço inadequado da solução nutritiva;
- Água contaminada afeta todo o sistema.

Antes da utilização do sistema hidropônico para cultivar mudas de eucalipto, utilizava-se a propagação vegetativa via estaquia, onde as estacas eram plantadas em touças com espaçamento de 3 x 3 m. Com o passar dos anos, com novas técnicas como a erradicação de plantas invasoras, o espaçamento reduziu para 0,5 x 0,5 m. A partir de 1996, iniciaram-se técnicas de microestquia em ambiente protegido utilizando o sistema hidropônico fechado. Foram testados sistemas: flutuante floating, calha de fibra de vidro com substrato do tipo resina fenólica, tubos de PVC com substrato do tipo areia grossa (SILVEIRA et al., 2001).

Segundo Bezerra Neto; Barreto (2012), a hidroponia pode ser classificada em:

1. **Hidroponia Didática:** é utilizada apenas para demonstração do funcionamento do sistema, desta forma faz-se necessária uma pequena infraestrutura com uma ou duas plantas.
2. **Hidroponia Científica:** a infraestrutura é maior que a didática, mas menor que a comercial. É utilizada para estudos de técnicas, nutrientes, importância dos

mesmos, portanto utilizam-se reagentes puros (Reagentes P.A.), uso de água destilada ou deionizada, controle de fatores como pH, condutividade elétrica e período de substituição da solução nutritiva.

3. **Hidroponia ornamental:** utilizada para decoração de ambientes evitando o solo, com infraestrutura semelhante à hidroponia didática.
4. **Hidroponia comercial:** necessita de grande infraestrutura com intuito de gerar lucros. Utilizam-se reagentes comerciais e água potável, viabilizando menores custos. É necessário conhecimento em solução nutritiva, questões ambientais como temperatura, umidade e luminosidade nas estações do ano, desenvolvimento das espécies vegetais e possíveis doenças. Por fim, determinar possíveis compradores, custo de produção e venda.

### 3.5.1 Tipos de Hidroponia

O cultivo hidropônico pode ser classificado em aberto ou fechado em relação ao reaproveitamento da solução nutritiva. Quando aberto, a solução nutritiva é aplicada uma vez no meio líquido e após um determinado tempo é descartada, ao contrário do fechado que a solução nutritiva é corrigida com a inserção de nutrientes, sendo reutilizada. Destacam-se os tipos: hidroponia de aeração estática (*floating*), técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes, aeroponia, cultivo por submersão e drenagem (*flood and drain*) e cultivo com substratos (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012).

- A. Hidroponia de aeração estática (*floating*):** As plantas são colocadas em vasos sem a presença de solo ou substrato, com as raízes completamente submersas na solução nutritiva e um sistema de aeração para manter o oxigênio disponível.
- B. Técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes:** As plantas ficam com as raízes parcialmente submersas na solução nutritiva, onde o líquido com solução nutritiva circula em canais de cultivo a fim de manter a oxigenação das raízes. Este sistema não utiliza substrato e é considerado fechado, com a reutilização da solução nutritiva.
- C. Aeroponia:** As raízes das plantas ficam suspensas no ar e recebem nebulizações intermitentes de solução nutritiva. Nesta técnica, as plantas precisam ser protegidas da luz para evitar o desenvolvimento de algas. O custo de implantação e operação é alto, portanto é pouco utilizado.

- D. Cultivo por submersão e drenagem (*flood and drain*):** As plantas são colocadas em vaso sem substrato, assim como a técnica de aeração estática. A diferença entre os sistemas é que no cultivo por submersão e drenagem a solução nutritiva é drenada para o depósito e depois bombeada novamente para encher os vasos onde estão sendo cultivadas. Não é necessária a inserção de oxigênio, pois ocorre quando a solução nutritiva é drenada e depois bombeada.
- E. Cultivo com substratos:** Cultivam-se as plantas em vasos com substratos inertes a fim de manter uma sustentação, como areia lavada, cascalho e argila expandida. Outros substratos que podem ser usados que auxiliam na reserva de nutrientes é a casca de pinho, vermiculita, fibra de coco e casca de arroz. A escolha do substrato depende da finalidade do plantio, custos e disponibilidade do mesmo.

### 3.5.2 Solução Nutritiva

Para que ocorra alta produtividade, o cultivo hidropônico precisa do uso adequado de solução nutritiva. A solução nutritiva possui nutrientes em proporções e quantidades adequadas de forma homogênea no meio, dispersos e disponíveis para as plantas geralmente na forma iônica. Assim que os nutrientes entram em contato com as raízes das plantas, os nutrientes são transformados pela atividade microbiana (decomposição dos fragmentos das raízes) (PRADO, 2010). Em cultivos sem solos há dois fatores importantes para produtividade (COMETTI et al., 2006):

- Ambiente: forma de proteção das plantas, utilizando a cobertura com filmes plásticos transparentes e telas de sombreamento;
- Solução nutritiva: que pode estar livre ou dispersa em um substrato.

Quando a solução nutritiva está desbalanceada, a planta em deficiência nutricional começa apresentar alguns sintomas biológicos como: redução da velocidade dos processos metabólicos, paralisação dos processos biológicos, alteração de membranas, parede celular e organelas, alteração das células e dos tecidos. Porém, as mudanças morfológicas na planta dependem do nutriente em deficiência (PRADO, 2010).

A composição da solução nutritiva vem sendo estudada desde 1865, com uma solução produzida por Knopp. Mas, a partir de 1933 as soluções começaram a conter micronutrientes, desta forma Hoagland; Arnon (1950) desenvolveram uma solução nutritiva com base em seus estudos em nutrição mineral de plantas, atualmente muito utilizada pelo mundo todo (COMETTI et al., 2006). A partir desta solução nutritiva, outras

foram desenvolvidas. A Tabela 1 apresenta as soluções estoques utilizada para o preparo de um litro de solução nutritiva.

**Tabela 1:** Soluções estoque utilizadas para composição dos nutrientes da solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950)

Solução estoque	Concentração
Monoamônio fosfato ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) – 1,0 M	115 g L <sup>-1</sup>
Fosfato monobásico de potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) – 1,0 M	136 g L <sup>-1</sup>
Nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) – 1,0 M	101 g L <sup>-1</sup>
Nitrato de Cálcio [ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ] – 1,0 M	236 g L <sup>-1</sup>
Sulfato de Magnésio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) – 1,0 M	246 g L <sup>-1</sup>
Fe-EDTA <sup>1</sup>	-
Micronutrientes <sup>2</sup>	-

<sup>1</sup>Fe-EDTA (13% de Fe) em água destilada em 1 litro. <sup>2</sup>Solução de Micronutrientes sem Fe: utiliza-se ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), cloreto de manganês tetra hidratado ( $\text{MnCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), sulfato de zinco heptahidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) e molibdato de sódio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ).

**Fonte:** BEZERRA NETO; BARRETO, 2012.

Segundo Cometti et al. (2006) não existe uma solução nutritiva ideal para todas as culturas, dependendo da espécie da planta, estágio fenológico da planta e época do ano (duração do período de luz), fatores ambientais (temperatura, umidade e luminosidade). Há aspectos que podem alterar a composição, como o pH, força iônica, temperatura e presença de moléculas orgânicas.

Os nutrientes são absorvidos em velocidades diferentes. Os de rápida absorção são nitrogênio na forma de nitrato e amoniacal, fósforo, potássio e manganês. Em seguida, magnésio, enxofre, ferro, zinco, cobre e molibdênio são nutrientes de absorção intermediária e cálcio e boro de absorção lenta. Uma das formas de repor os nutrientes é pelo monitoramento da condutividade elétrica, quando estiver inferior a 1 mS cm<sup>-1</sup> recomenda-se recompô-la ou trocá-la (COMETTI et al., 2006).

O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas na forma de gás nitroso ( $\text{N}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3^+$ ), inserido por meio da uréia. Em meio líquido, será inicialmente absorvido o  $\text{NH}_3^+$  e logo em seguida  $\text{NO}_3^-$ , ambos podem reduzir o pH do meio.

Segundo Prado (2010) após adaptação da planta no meio líquido, esta inicia uma rápida absorção e acúmulo de nutrientes e elevado crescimento. A absorção pela planta reduz quando o acúmulo de nutrientes, como N e K, se estabiliza ou reduz devido a perda das folhas. As concentrações dos nutrientes utilizados por Hoagland; Arnon (1950) pode

ser visto na Tabela 2. Quando os macronutrientes e micronutrientes são adicionados nessas concentrações, diz-se que estão sendo inseridos com 100% de força iônica.

**Tabela 2:** Composição da Solução Nutritiva com 100% de força iônica adicionada no meio líquido

<b>Nutrientes</b>	<b>Solução Nutritiva de Hoagland; Arnon (1950)</b>
Nitrogênio	210 mg L <sup>-1</sup>
Fósforo	31 mg L <sup>-1</sup>
Potássio	234,6 mg L <sup>-1</sup>
Cálcio	200,4 mg L <sup>-1</sup>
Magnésio	48,6 mg L <sup>-1</sup>
Enxofre	64,2 mg L <sup>-1</sup>
Ferro	5022 µg L <sup>-1</sup>
Manganês	502 µg L <sup>-1</sup>
Boro	500 µg L <sup>-1</sup>
Cobre	20 µg L <sup>-1</sup>
Zinco	50 µg L <sup>-1</sup>
Molibdênio	11 µg L <sup>-1</sup>
Íon Cloreto	648 µg L <sup>-1</sup>

Fonte: Hoagland; Arnon (1950).

Portanto, por meio das soluções estoques apresentadas na Tabela 1 obtêm-se as concentrações dos nutrientes com 100% de força iônica (Tabela 2).

O concentrado salobro proveniente do sistema de osmose reversa contém nutrientes já disponíveis em sua composição. Desta forma, a solução nutritiva foi inserida para completar os nutrientes requeridos pela cultura do eucalipto.



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE EXPERIMENTO

O experimento foi instalado e conduzido em escala de bancada, em casa de vegetação, pertencente ao Setor de Ciências Agrárias e de Tecnologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Ponta Grossa – PR, situado entre as coordenadas geográficas 25°13' S de latitude e 49°9' O de longitude, com altitude de 975m acima do nível do mar.

O clima do município, de acordo com a classificação climática de Koppen, é do tipo Cfb, com temperatura média anual entre 17,1 e 18°C e precipitação média anual de 1.400 a 1.600 mm (NITSCHKE et al., 2019).

A casa de vegetação utilizada é do modelo “teto em arco”, no formato de parábola invertida, com pé direito de 3 m. A cobertura e o cortinamento lateral são de filme agroplástico de polietileno transparente de baixa densidade (PEBD), com espessura de 150 micra, que permite a passagem de luz solar para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

### 4.2 SISTEMA DE TRATAMENTO

#### 4.2.1 Sistema Hidropônico

Para o tratamento do concentrado salino foi utilizado o sistema hidropônico em cultivo com substrato com mudas de *E. dunnii*. Dentro da estufa, foram dispostos aleatoriamente 12 caixas de plástico (40,7 x 28,6 x 12,5 cm de comprimento, largura e altura, respectivamente) em bancada conforme apresentado na Figura 2. Cada caixa representou um sistema de tratamento, todos sem recirculação do concentrado.

**Figura 2:** Foto com os sistemas de hidroponia para as diferentes concentrações de CE para os diferentes sistemas de tratamentos



Fonte: A autora.

Nota: Controle com três repetições (C1R1-C1R2-C1R3), **T1** com CE = 7,6 mS cm<sup>-1</sup> (T50R1-T50R2-T50R3), **T2** com CE = 12 mS cm<sup>-1</sup> (T100R1-T100R2-T100R3) e **T3** com CE = 16,1 mS cm<sup>-1</sup> (T150R1-T150R2-T150R3).

Em cada sistema de hidroponia foram colocadas 20 mudas de eucalipto em tubetes de polipropileno de 50 cm<sup>3</sup>, apoiados em placas de isopor de 3 cm de espessura. Para que os tubetes ficassem apoiados, a placa de isopor foi perfurada em orifícios. O isopor permitiu que os tubetes permanecessem com a altura da lâmina d'água em  $\frac{1}{3}$  do seu comprimento total (12 cm). Os tubetes eram preenchidos com substrato composto por vermiculita e casca de pinus, auxiliando na sustentação da mudas. A lâmina d'água atingia 5 cm de altura dentro da caixa, com volume de 4 litros de concentrado salino mais a solução nutritiva em cada sistema, assim como para o controle preenchido com 4 litros de água destilada com solução nutritiva. Em todos os tratamentos, este volume era completado com água destilada semanalmente ou quando ocorresse maior evapotranspiração e a altura da lâmina d'água atingisse 2 cm. A altura da lâmina d'água abaixo deste valor dificultava a absorção da água pelas raízes das plantas. O sistema hidropônico utilizado no presente trabalho foi o cultivo com substratos de sistema fechado, portanto não houve recirculação da lâmina líquida.

#### 4.2.2 Concentrações dos Tratamentos no Sistema Hidropônico

As concentrações de condutividade elétrica de estudo foram obtidas por meio da diluição do concentrado salino com água destilada (com exceção do controle que não recebeu concentrado salino) e adição da solução nutritiva. Todos os tratamentos receberam solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950). Para cada tratamento (T) utilizaram-se três repetições, a fim de obter um delineamento inteiramente casualizado como apresenta a Tabela 3.

**Tabela 3:** Variação das concentrações de condutividades elétricas estudadas presentes no meio líquido e número de repetições de cada tratamento

Tratamentos (T)	Repetições
2,6 mS cm <sup>-1</sup> – Controle	3
7,6 mS cm <sup>-1</sup> – T1	3
12,0 mS cm <sup>-1</sup> – T2	3
16,1 mS cm <sup>-1</sup> – T3	3

Fonte: A autora.

#### 4.2.3 Solução Nutritiva de Hoagland; Arnon (1950)

Além do concentrado salino, a lâmina líquida continha solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950), sendo adicionada conforme os nutrientes já disponíveis no concentrado bruto. Desta forma, se determinado nutriente já tivesse sua quantidade total na concentração de condutividade elétrica, não era adicionado. Assim como o magnésio para os tratamentos T2 e T3.

As concentrações dos macronutrientes adicionados em cada tratamento são apresentadas na Tabela 4. Nota-se que no 1º dia foram inseridos os nutrientes com 100% de força iônica e no 23º dia com 50 % de força iônica.

**Tabela 4:** Variação das concentrações dos macronutrientes adicionados em cada tratamento.

Tratamentos / Dia em que foi inserida a solução nutritiva		Nitrogênio (mg L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Controle</b>	1º	210	31	200,4	234,6	48,6
	23º	105	15,5	100,2	117,3	24,3
<b>T1</b>	1º	210	31	184,4	195,5	23,1
	23º	105	15,5	92,2	97,7	11,5
<b>T2</b>	1º	210	31	168,3	160,3	-
	23º	105	15,5	84,2	80,15	-
<b>T3</b>	1º	210	31	144,3	105,5	-
	23º	105	15,5	72,2	57,7	-

Fonte: A autora

As mudas de eucalipto com 60 dias de idade permaneceram nos sistemas de hidroponia durante 50 dias, sendo novembro/2019 a janeiro/2020. Portanto, as mudas totalizaram 110 dias de idade. No viveiro, as mudas são vendidas após quatro meses de idade.

#### 4.2.4 Origem das Mudanças de *Eucalyptus dunnii*

As mudas de eucalipto (*E. dunnii*) foram cedidas pelo Viveiro Santo Antônio, localizado no município de Piraí do Sul – PR. No Viveiro as mudas são produzidas por meio de sementes peletizadas, em substrato composto por casca de pinus compostada, vermiculita e osmocote (fertilizante químico). Estas sementes são colocadas em tubetes de polipropileno de 50 cm<sup>3</sup>, podendo permanecer no mesmo até seis meses, após o plantio. Quando estas mudas estão no viveiro, podem ser vendidas ao atingir quatro a seis meses, ou até atingir altura mínima de 25 cm.

No viveiro, as mudas permanecem nas estufas com sombrite (Figura 3) até completarem um mês (30 dias) e depois são colocadas ao ar livre (Figura 4), recebendo solução nutritiva pelo método de aspersão. No presente experimento, foram utilizadas mudas com dois meses (60 dias) por apresentar maior resistência as mudas mais novas, que estão mais susceptíveis a doenças.

**Figura 3:** Mudanças de eucalipto dentro da estufa com sombrite, onde permanecem até atingirem 30 dias após a semeadura das sementes, localizadas no Viveiro Santo Antônio no Município de Piraí do Sul - PR



Fonte: A autora.



**Figura 4:** Mudas de eucalipto com idade superior a 60 dias no Viveiro Santo Antônio, localizado no Município de Piraí do Sul – PR



Fonte: A autora.

#### 4.4.5 Concentrado Salino de Osmose Reversa

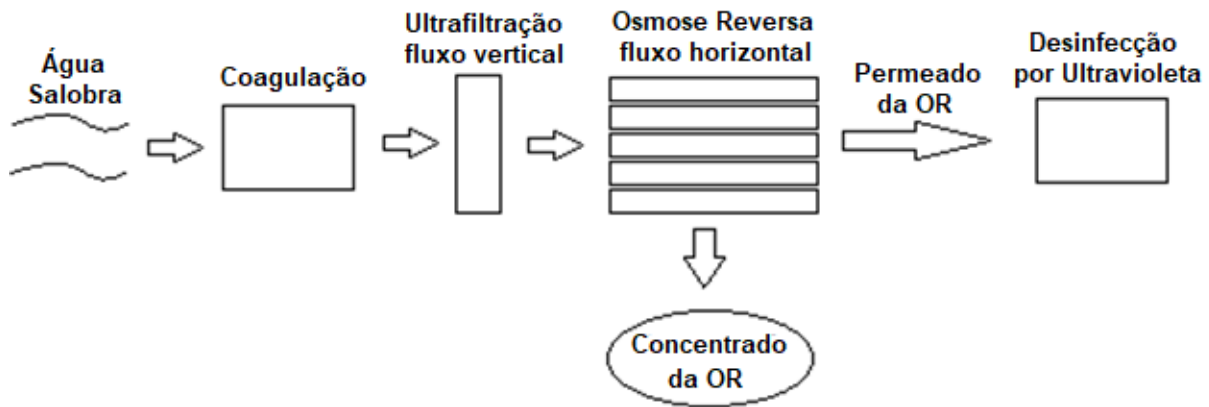
O efluente tratado foi o concentrado salino gerado no sistema piloto de dessalinização de água salobra instalado na estação de tratamento de água da Sanepar, localizado em balneário de Praia de Leste, litoral do Paraná. A água salobra utilizada como água de alimentação do sistema era proveniente da mistura da água bruta do Rio das Pombas, manancial de abastecimento do balneário, com água do mar. Fernandes Jr. (2019) utilizou concentrações de sólidos dissolvidos totais (SDT) entre 3.541 a 7.028 mg L<sup>-1</sup>. No presente trabalho, o concentrado foi homogeneizado e caracterizado com relação à concentração de SDT entre 2.920 a 8.770 mg L<sup>-1</sup>.

O sistema piloto de dessalinização de água foi operado durante três meses (maio a julho) e era composto de pré-tratamento com coagulação e membrana de ultrafiltração (UF) de escoamento vertical ascendente. Após pré-tratada a água passava pelo sistema de abrandamento de troca iônica e na etapa final do tratamento, filtração através de cinco membranas de osmose reversa (OR) de escoamento horizontal com capacidade de produzir 1,0 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> de água tratada. No sistema de osmose reversa eram gerados dois líquidos: o permeado e o concentrado.

O permeado passava por ultravioleta (UV) e o concentrado salino era armazenado em tanque de 5.000 litros. A geração de concentrado variava em torno de 30 a 40% da

vazão total de alimentação do sistema (ZAIKA, 2018). Na Figura 5 está apresentado um esquema do sistema, mostrando as etapas do tratamento.

**Figura 5:** Fluxograma do sistema para obtenção do concentrado salino



Fonte: A autora

#### 4.3 ANÁLISES E MONITORAMENTO DO CONCENTRADO SALINO E DAS MUDAS DE EUCALIPTO

##### 4.3.1 Caracterização do Concentrado Salino e da Planta

Foram selecionados elementos químicos considerados como nutrientes essenciais para as plantas. Estes nutrientes são importantes para desempenhar funções significativas para o metabolismo, como a parte estrutural (PRADO, 2010).

Os nutrientes de maior importância para o consumo das mudas foram adicionados na solução nutritiva em maiores quantidades, como N, K e Ca. Segundo Silveira et al. (2001), a quantidade de N inserida é menor em relação ao Ca e K devido à rustificação (processo que a muda passa antes de ser plantada no campo, favorecendo o engrossamento do caule e aumento da resistência das mudas).

As características físico-químicas do concentrado analisado durante o período experimental de 50 dias foram sólidos dissolvidos totais, salinidade, oxigênio dissolvido, temperatura, pH e condutividade elétrica. A análise dos nutrientes presentes no concentrado salino foi realizada no primeiro dia de experimento e no último (50º dia). As características fisiológicas e morfológicas da planta foram analisadas no 1º e 50º dia de experimento, enquanto os nutrientes presentes na planta apenas no 50º dia de experimento. Na Tabela 5 estão apresentados os métodos utilizados para a caracterização dos tratamentos e da planta (sendo 240 plantas no total).

**Tabela 5:** Metodologias aplicadas para determinação das análises no meio líquido (antes e depois) e na planta após secagem e moagem do caule, raiz e das folhas

	<b>Parâmetro</b>	<b>Metodologia</b>
<b>Líquido</b>	Cloreto <sup>a</sup>	4500 Cl <sup>-</sup> B
	Sulfato <sup>a</sup>	4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E
	Nitrato <sup>a</sup>	4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B
	Nitrogênio Amoniacal <sup>a</sup>	4500 NH <sub>3</sub> F
	Fósforo <sup>a</sup>	ICP-OES
	Nitrogênio (NTK) <sup>a</sup>	ICP-OES
	Potássio <sup>a</sup>	ICP-OES
	Cálcio <sup>a</sup>	ICP-OES
	Magnésio <sup>a</sup>	ICP-OES
	Enxofre <sup>a</sup>	ICP-OES
	Ferro <sup>a</sup>	ICP-OES
	Boro <sup>a</sup>	ICP-OES
	Manganês <sup>a</sup>	ICP-OES
	Sódio <sup>a</sup>	ICP-OES
	Zinco <sup>a</sup>	ICP-OES
	Cobre <sup>a</sup>	ICP-OES
	SDT, pH, CE, salinidade e temperatura	Medido com sonda multiparâmetros – Marca Hach – Modelo HQ440d
	OD	Medido com sonda multiparâmetros – Marca Aquaread (GPS Aquameter) - Modelo AM-200
<b>Planta<sup>b</sup></b>	Nitrogênio	Semi Micro-Kjeldahl
	Fósforo	Colorimetria do metavanadato (fósforo total)
	Potássio e Sódio	Fotometria de chama de emissão
	Enxofre	Turbidimetria do sulfato de bário
	Cálcio, Magnésio, Cobre, Manganês e Zinco	Espectrometria de absorção atômica

<sup>a</sup>AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 22 ed. Washington: APHA, 2012.

<sup>b</sup>MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações.** 2 ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997.

As análises de sulfato, cloreto, nitrato e nitrogênio amoniacal foram realizadas no Laboratório de Saneamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Os minerais (potássio, cálcio, magnésio, enxofre e boro) presentes no concentrado bruto salino (líquido) foram analisados pela Fundação ABC. Em relação às análises da planta, todas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo (ou Nutrição de Plantas) da UEPG, com exceção de cálcio, magnésio, cobre, manganês e zinco que foram analisadas por espectrometria de absorção atômica no Complexo de Laboratórios Multiusuários da UEPG. A unidade de medida dos nutrientes foi em massa.

#### 4.3.2 Monitoramento do Concentrado Salino

Foram realizadas análises de N amoniacal, nitrato, cloreto e sulfato das soluções preparadas com concentrado salino para as diferentes concentrações de CE, no início dos experimentos e após 50 dias de monitoramento dos sistemas de hidroponia, quando os experimentos foram finalizados.

Foram monitorados pela manhã, em todos os sistemas de hidroponia, a concentração de SDT, pH, temperatura e salinidade com auxílio de uma sonda multiparâmetros, da marca Hach, modelo HQ440d. Quando o pH não apresentava valores entre 5,5 a 5,8, era feito o ajuste da solução com ácido sulfúrico (1N) ou hidróxido de sódio (1N) para não prejudicar a planta na absorção de nutrientes. O OD é outro parâmetro importante no cultivo hidropônico, a fim de promover o suprimento satisfatório de oxigênio do sistema radicular, portanto era medido diariamente, com auxílio de uma sonda multiparâmetros, da marca Aquaread (GPS Aquameter), modelo AM-200. A falta de oxigenação da planta por meio das raízes prejudica a absorção de nutrientes, desta forma a lâmina líquida recebia aeração por meio da homogeneização utilizando um bastão de vidro durante 1 minuto e 20 segundos.

#### 4.3.3 Monitoramento das Mudanças de Eucalipto

Durante os experimentos foram realizadas análises morfológicas e fisiológicas da parte aérea da planta (Tabela 6). A fim de evitar o efeito de bordadura, onde mudas que estão dispostas nas laterais da caixa utilizada para a montagem do sistema hidropônico pudessem receber mais ventilação e luminosidade, foram utilizadas seis plantas localizadas na parte central do sistema para a realização dessas análises (Figura 6).



**Tabela 6:** Análises Morfológicas e Fisiológicas realizadas em mudas de eucalipto (*E. dunnii*) durante o período experimental

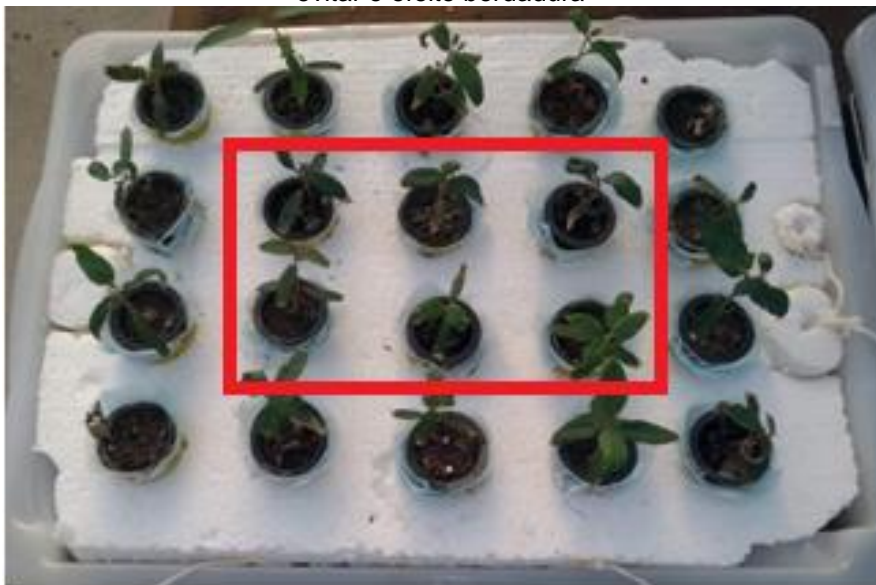
Análises	Descrição da Análise	Período da coleta de dados
<b>Morfológica</b>	Altura da parte aérea da planta, número de folhas, diâmetro do caule e área foliar	Após 25 e 50 dias de monitoramento experimental
<b>Fisiológica</b>	Clorofila, Condutância Estomática, Assimilação líquida de CO <sub>2</sub> , Transpiração Foliar e Concentração de Carbono no Mesófilo	Após 50 dias de monitoramento experimental

Fonte: A autora.

O índice de clorofila foi medido com auxílio do CLOROFILOG – CFL1030. A medição neste aparelho é unidimensional e o índice é chamado de ICF (Índice de clorofila Falker). As avaliações de trocas gasosas foram realizadas com analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), modelo LICOR (LI-6400 XT), com área de câmara de 0,0006 m<sup>2</sup>, densidade de fótons fotossinteticamente ativos fixados em 1.200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e taxa de fluxo de 500 μmol s<sup>-1</sup> e CO<sub>2</sub> local. Antes do início das medições realizou a calibração local do equipamento. Os parâmetros avaliados foram a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, transpiração foliar e concentração de carbono no mesófilo.

O número de plantas mortas foi coletado aos 25 e 50 dias de experimento, juntamente com as outras análises da planta.

**Figura 6:** Localização das mudas de eucalipto (*E. dunnii*) escolhidas para análises morfológicas a fim de evitar o efeito bordadura



Fonte: A autora.

Durante a fase experimental ocorreram problemas com pragas, como a infestação de mosca branca, onde foi utilizado um piretroide (composto químico sintético similar às substâncias naturais piretrinas produzidas pelas flores do "filo" *Pyrethrum* (*Chrysanthemum cinerariaefolium* e *C. coccineum* (GOTTEMS, 2013)) para mortalidade de adultos e ninfas. Teve ocorrência de oídio, doença foliar que prejudica a fotossíntese na planta. Para este, foi pulverizado um fungicida de jardim sobre as mudas. Tanto o piretroide quanto o fungicida foram aplicados quando ocorria o aparecimento dos mesmos. A aplicação era realizada no final da tarde, a fim de evitar a queima das folhas.

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi distribuído aleatoriamente. Após a obtenção de todos os dados, fez-se um levantamento dos mesmos e foi realizada análise estatística. Utilizou-se o software livre *PAST* versão 4.02 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001) para a análise de variância unidirecional (ANOVA). O teste de normalidade aplicado nos dados foi *Shapiro-Wilk*. A fim de verificar a diferença entre as médias dos tratamentos, utilizou-se o teste de Tukey. A análise de correlação ( $p < 0,05$ ) foi realizada entre os dados de SDT x CE e SDT x OD. Em todos os dados referentes às mudas de eucalipto (análises morfológicas e fisiológicas), fez-se o desvio padrão.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONCENTRADO BRUTO DO SISTEMA DE OSMOSE REVERSA

A Tabela 7 ilustra a caracterização do concentrado bruto (CB, rejeito salino) obtido no sistema de osmose reversa. Para análise da qualidade de água para irrigação e drenagem, a fim de verificar a salinidade, são realizadas análises de sódio, potássio, cálcio e magnésio (ZAMAN; SHAHID; HENG, 2018). Segundo Follett; Soltanpour (2002) e Bauder et al. (2011) a água com teor de sal entre 2000 e 5000 mg L<sup>-1</sup> pode ser utilizada para irrigação apenas em plantas tolerantes ao sal, assim como a cultura do eucalipto.

**Tabela 7:** Características do concentrado bruto do sistema de osmose reversa

<b>Parâmetro</b>	<b>Concentrado Bruto</b>
Sódio (mg L <sup>-1</sup> )	2077,93
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	2,77
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	129,39
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> )	177,11
Enxofre (mg L <sup>-1</sup> )	109,01
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> )	55,09
Boro (mg L <sup>-1</sup> )	0,62
N-amoniacal, Fósforo, Zinco, Selênio, Arsênio, Cádmiu, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Molibdênio e Níquel (mg L <sup>-1</sup> )	Não Detectável
pH	6,45
Oxigênio Dissolvido (OD) (mg L <sup>-1</sup> )	9,29
Turbidez (NTU)	0,84
SDT (mg L <sup>-1</sup> )	8900

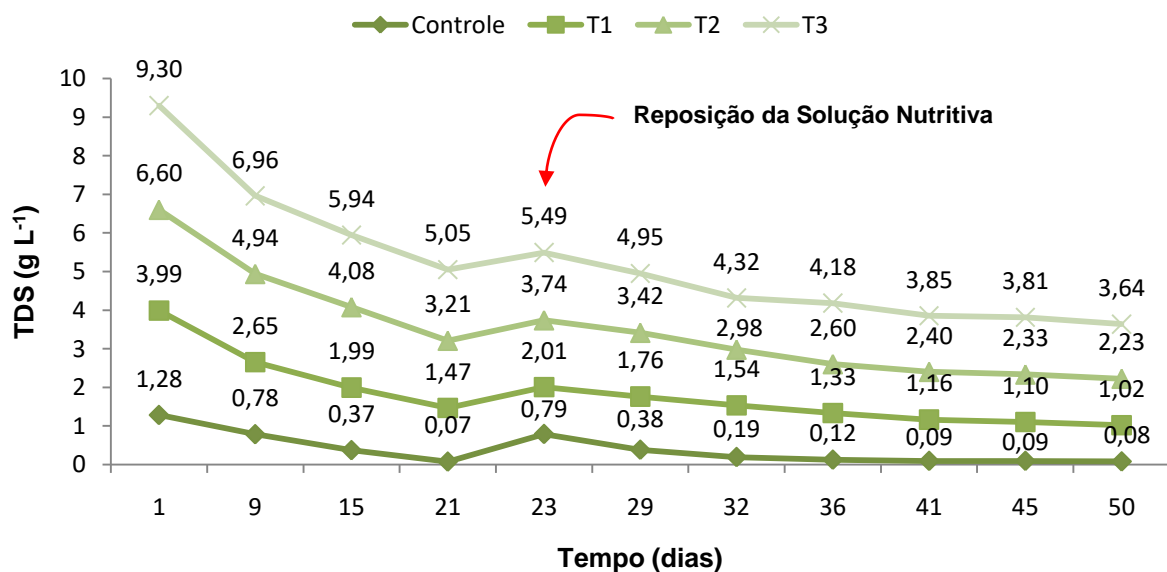
Fonte: A autora.

## 5.2 EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS EM SISTEMA HIDROPÔNICO

### 5.2.1 Parâmetros Monitorados

A Figura 7 apresenta a redução das concentrações de SDT durante o período monitorado. Durante as três primeiras semanas houve remoções de 94,6%, 63,2%, 51,4% e 45,7% para o controle, T1, T2 e T3, respectivamente. Após a adição da solução nutritiva, os valores de SDT aumentam devido aos sais presentes, como cloreto de manganês. Observa-se remoção de 70,3%, 55,8%, 48,2% e 46,7% para o controle, T1, T2 e T3, respectivamente, durante os primeiros 29 dias de monitoramento. Após este período as remoções foram de 78,9%, 42%, 34,8% e 26,4% para o controle, T1, T2 e T3, respectivamente. Portanto, as maiores remoções ocorreram no primeiro mês de experimento.

**Figura 7:** Variação da concentração de SDT nos sistemas de hidroponia, sendo T1, T2 e T3 referentes às diferentes concentrações de CE das soluções iniciais de concentrado salino estudadas, em função do tempo do monitoramento experimental

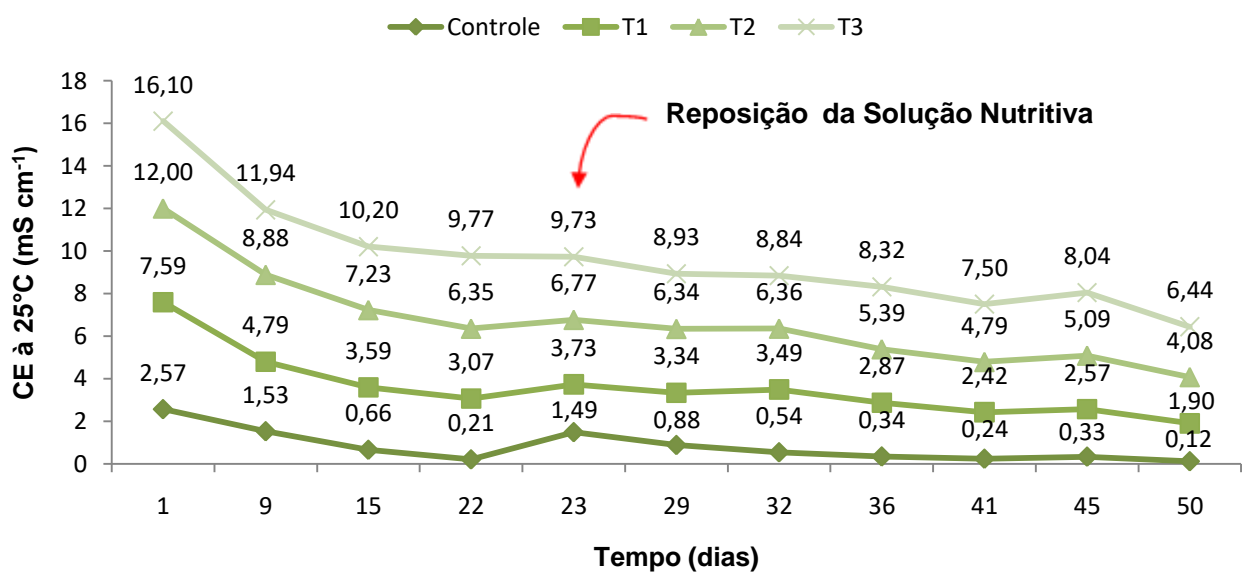


Fonte: A autora.

Adicionou-se solução nutritiva a 50% de força iônica no 23º dia de experimento, pois segundo Prado (2010) deve-se repor a mesma quando a CE reduzir em 50% do seu valor inicial. A Figura 8 ilustra os valores da CE em função do período monitorado. Da mesma forma ao observado no SDT, o valor da CE aumenta com a adição da solução nutritiva. A CE acima de 4 mS cm<sup>-1</sup>, é uma indicação de excesso de sais no meio líquido, influenciando na taxa de absorção de nutrientes (PRADO, 2010) e o potencial osmótico

da solução. Verifica-se que apenas os tratamentos com concentrado salino, T1 e T2, finalizaram o experimento com a  $CE \leq 4 \text{ mS cm}^{-1}$ . Portanto, é possível observar que o controle foi o único sistema que apresentou duas vezes a redução de 50% da CE durante o período de monitoramento do sistema. A fim de manter uma padronização da adição dos nutrientes em todos os tratamentos, não foi adicionada solução nutritiva, além das citadas anteriormente (no 1º e 23º dia de experimento) no controle.

**Figura 8:** Variação da concentração de CE nos sistemas de hidroponia, sendo T1, T2 e T3 referentes às diferentes concentrações de CE das soluções iniciais de concentrado salino estudadas, em função do tempo do monitoramento experimental



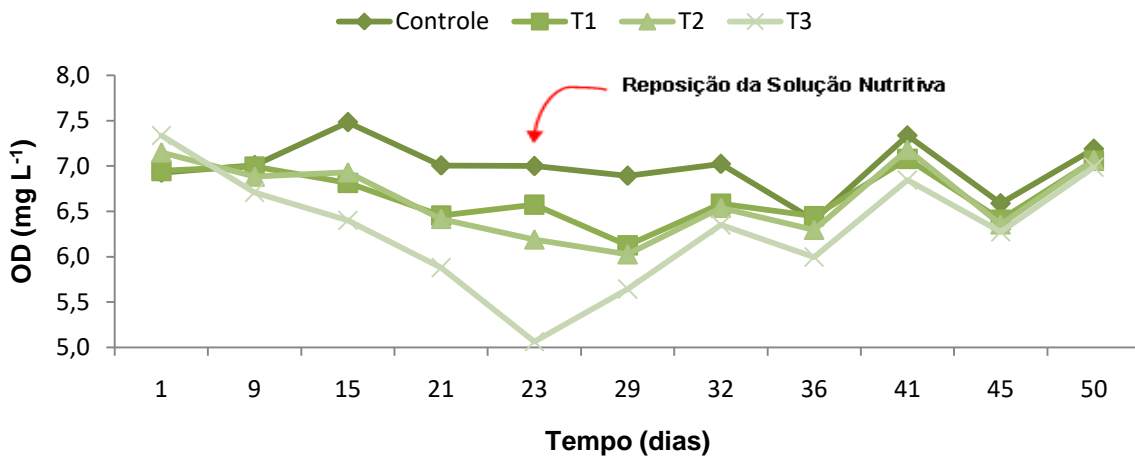
Fonte: A autora.

Tanto a CE quanto o pH interferem diretamente na absorção de nutrientes pela planta. Segundo Cometti et al. (2006) a faixa de pH deve ser mantida entre 5,5 a 5,8 para maior absorção de todos os nutrientes disponíveis no meio líquido. A correção do pH era feita com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1N) ou NaOH (1N) diariamente.

A oxigenação do meio líquido foi mantida entre 6 e 8  $\text{mg L}^{-1}$  (Figura 9), com exceção do tratamento T3 no 23º dia de experimento, onde apresentou uma redução abrupta no OD devido à exposição das mudas ao estresse salino. Segundo Embrapa (2001), a solubilidade dos gases aumenta com a diminuição da temperatura e redução da salinidade, portanto água salina contém menos oxigênio. Desta forma, a queda do OD do tratamento T3 até o 23º dia pode ser causada pela salinidade do meio, e conforme foi reduzindo a concentração do sal, o OD conseqüentemente aumentou. Estatisticamente, observa-se correlação entre SDT x OD ( $r = 0,90564$  e  $p < 0,05$ ). O meio líquido era homogeneizado com um bastão de vidro. Esta faixa de OD é importante para que os

processos vitais do sistema radicular, como a absorção de nutrientes e a manutenção do metabolismo basal, funcionassem adequadamente para melhor absorção dos nutrientes. A falta de OD prejudica a absorção, devido à falta de energia gerada no processo de respiração radicular. A quantidade de OD no meio líquido depende diretamente da temperatura da solução (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

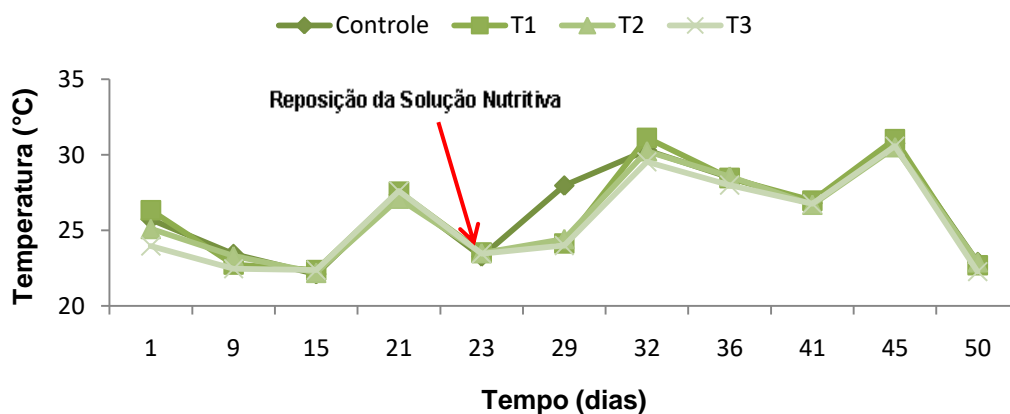
**Figura 9:** Variação de Oxigênio Dissolvido da água nos sistemas de hidroponia utilizados, em função do período de monitoramento experimental



Fonte: A autora.

A temperatura do meio líquido obteve valores entre 22 e 32°C durante o experimento. Bremenkamp et al (2012) verificou que temperatura entre 24 a 27°C não afeta o crescimento da alface em hidroponia. Valores de temperatura acima de 28°C em longo prazo podem reduzir o crescimento das plantas (ANDRIOLO et al., 2004). É possível observar (Figura 10) que ocorreram temperaturas acima de 28°C no 32°, 36° e 45° dia de experimento, devido à temperatura que estava fora da casa de vegetação.

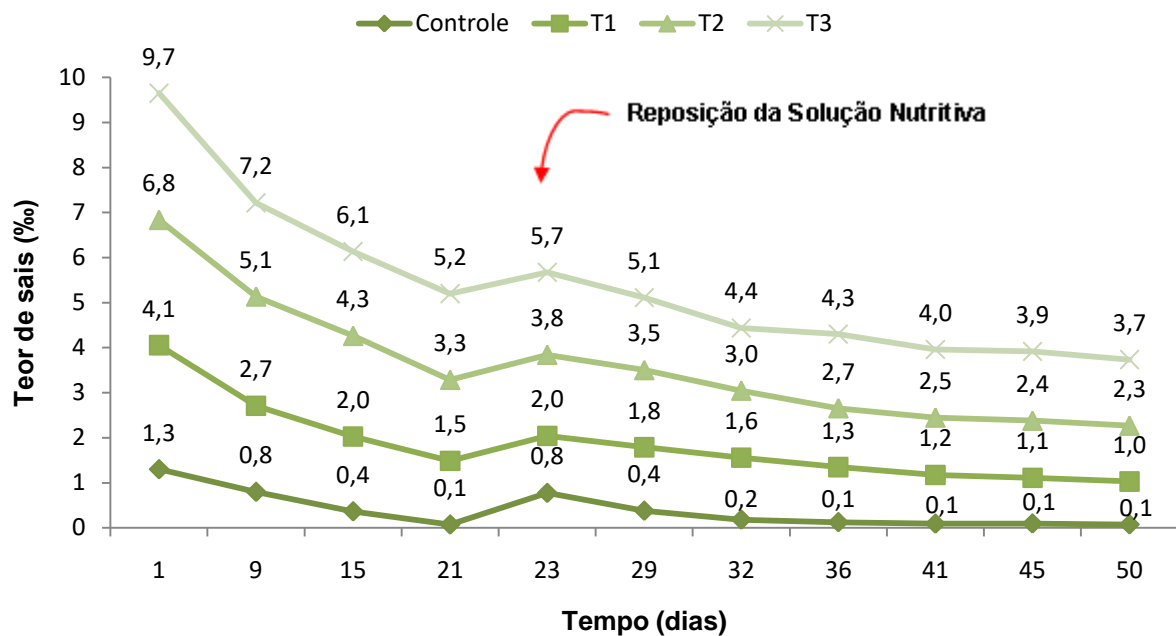
**Figura 10:** Variação da temperatura da água nos sistemas de hidroponia utilizados, em função do período de monitoramento experimental



Fonte: A autora.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução N° 357, de 17 de março de 2005, a água pode ser classificada como doce, salobra ou salina, se houver teor de sais igual ou inferior a 0,5 ‰, superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰ e igual ou superior a 30 ‰, respectivamente. Inicialmente, conforme observado na Figura 11, em todos os sistemas a água pode ser classificada como salobra. Após duas semanas de experimento, com a redução dos sais da solução nutritiva no controle, este passa a ser classificado como água doce, alterando sua classificação apenas no dia em que foi realizada a reposição da solução nutritiva. Os tratamentos T1, T2 e T3 não obtiveram mudanças em sua classificação.

**Figura 11:** Variação do teor de sais nos sistemas de hidroponia durante o período experimental



Fonte: A autora.

### 5.2.2 Análises Físico-Químicas do Líquido

Não foi possível realizar o balanço de massa, pois seriam necessárias análises do substrato antes de colocar as mudas em experimento, sendo que o mesmo possui um fertilizante químico chamado de “osmocote” com fontes de N, P e K em sua composição. Além disso, como as mudas foram retiradas do viveiro com 60 dias após o plantio, já haviam recebido solução nutritiva por meio de aspersão. Portanto, os nutrientes podem ter sido absorvidos pelas mudas de eucalipto, no substrato ou presente nas plantas e folhas mortas, que o absorveram inicialmente.

A Tabela 8 apresenta a entrada e saída dos nutrientes presentes na solução nutritiva, com o objetivo de verificar a absorção dos nutrientes pelas mudas de eucalipto em diferentes concentrações de CE. É possível observar que quanto menor a concentração de sal, maior a absorção dos nutrientes pelas mudas de eucalipto (OLIVEIRA et al., 2019). As mudas do controle absorveram teoricamente 95%, 97,6%, 95,3%, 97%, 33% e 97,4% para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Enquanto o tratamento com maior concentração de CE (T3) as mudas absorveram teoricamente 58,4%, 81,8%, 51,8%, 73,3%, 74,7% e 72,2% para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Para os micronutrientes, segue a mesma relação de redução referente ao controle e aos tratamentos T1, T2 e T3.

**Tabela 8:** Entrada e Saída dos nutrientes essenciais para desenvolvimento das mudas de eucalipto (*E. dunnii*) analisados no meio líquido

Nutrientes (mg L <sup>-1</sup> )	Controle 2,6 mS cm <sup>-1</sup>		T1 7,6 mS cm <sup>-1</sup>		T2 12 mS cm <sup>-1</sup>		T3 16,1 mS cm <sup>-1</sup>	
	E	S	E	S	E	S	E	S
Nitrogênio (Nitrato+NTK)	285,4	14,3	293,3	93,7	291,0	117,1	261,6	108,9
Fósforo	42,5	1,0	40,1	6,2	39,5	7,7	38,7	7,1
Potássio	295,9	13,9	300,4	98,7	304,3	128,1	270,2	130,1
Cálcio	321,5	9,5	307,9	62,7	296,8	76,4	282,6	75,4
Magnésio	7,5	5,0	102,5	22,1	135,1	38,1	204,7	51,8
Enxofre	89,1	2,3	94,4	16,9	107,1	31,1	204,4	56,9
Boro	0,7	0,0	0,1	0,2	0,4	0,1	0,5	0,1
Cobre	0,0	-	0,0	-	0,1	-	0,0	0,0
Ferro	6,0	0,1	5,6	0,2	5,3	0,4	5,1	0,6
Manganês	-	-	-	-	0,6	0,4	0,6	0,6
Zinco	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-	0,1	0,4
Sódio	7,0	3,0	581,6	181,2	129,3	407,5	206,4	546,6

Nota: **E** – concentração dos nutrientes na entrada e **S** – concentração dos nutrientes na saída.



### 5.3 ANÁLISE NUTRICIONAL NA PLANTA

As mudas do controle absorveram maiores quantidades de nutrientes em relação aos tratamentos com concentrado salino, devido à concentração de sal presente no meio líquido, que dificulta a absorção de nutrientes, especialmente de nitrogênio (Figura 12A) que é fortemente afetado pela disponibilidade hídrica. O controle acumulou 58,3%, 76,4% e 73% a mais de N em relação a T1, T2 e T3, respectivamente. Estatisticamente, o controle possui diferença estatística em relação aos outros tratamentos, que não possuem diferença estatística entre si.

A aplicação do rejeito observou elevada CE (Figura 8) resultando em maior potencial osmótico do meio e conseqüentemente estresse hídrico. Os tratamentos com maiores concentrações de CE, como T2 e T3 apresentaram absorções inferiores ao controle de até 76%, como exemplo do potássio no T2 (Figura 12B). Estatisticamente, o controle difere de T1, T2 e T3, enquanto T1 difere de T2 e T3, que são estatisticamente iguais. De Oliveira et al. (2019) observou que sob estresse salino, a atividade dos transportadores de  $K^+$  é bloqueada, conseqüentemente esses transportadores se tornam uma via importante para a absorção de  $Na^+$ .

Gazola (2017) constatou que, dentre os macronutrientes primários, N e K são os mais extraídos e P o menos extraído para a espécie *Eucalyptus*. Observa-se na Figura 12C que os tratamentos T1 e T3 absorveram P em quantidades semelhantes, sendo 0,69 e 0,73  $mg\ planta^{-1}$ , respectivamente. Sendo T2 a concentração intermediária de CE, absorveu 0,47  $mg\ planta^{-1}$ , portanto o menor valor entre todos os tratamentos. Porém, estatisticamente T1, T2 e T3 não diferem entre si. O controle absorveu mais de 50% de P em relação a todos os tratamentos, sendo estatisticamente diferente.

Ca é o segundo nutriente mais absorvido pelas espécies florestais, sendo o nutriente mais utilizado pela espécie de *Eucalyptus* para formação do tronco (SIMONETE et al., 2013). É possível observar na Figura 12D que a absorção do Ca foi prejudicada em todos os tratamentos com concentrado salino. O controle absorveu 58,9%, 67,9% e 68,1% mais Ca, em relação a T1, T2 e T3, respectivamente. Sendo assim, o controle difere estatisticamente de todos os tratamentos com concentrado salino.

Silva et al. (2017) analisou a influência de águas de qualidades inferiores (mais salinas) no crescimento, absorção e distribuição de macronutrientes na cultivar de milho e verificou que a relação sal x magnésio não é significativa, onde as plantas conseguem

suportar possíveis estresses de ordem salina. A Figura 12E apresenta que o tratamento T2 absorveu 70% menos Mg em relação ao controle. Estatisticamente, o controle difere de todos os tratamentos com concentrado salino. T1 e T3 são estatisticamente iguais, assim como T2 e T3. Porém, T1 e T2 possuem diferença estatística.

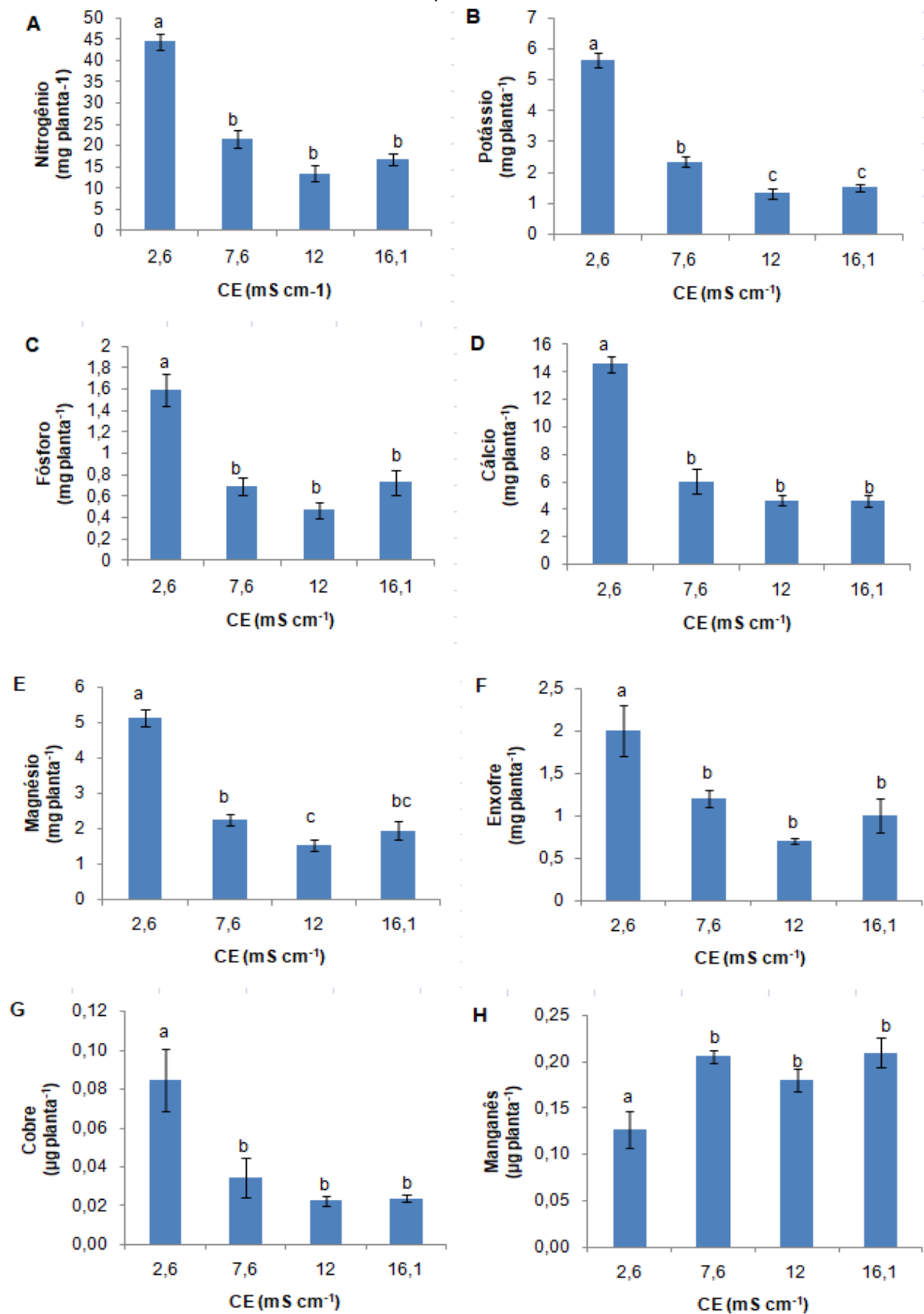
Quando as plantas estão em equilíbrio nutricional de enxofre, conseguem melhorar a eficiência dos mecanismos de defesa em meio salino, reduzindo os efeitos do estresse salino (FREITAS, 2018). Dentre todos os macronutrientes, o S (Figura 12F) foi o elemento menos prejudicado pelo concentrado salino, em relação à absorção dos tratamentos T1, T2 e T3 com o controle. Porém, estatisticamente o controle difere de T1, T2 e T3.

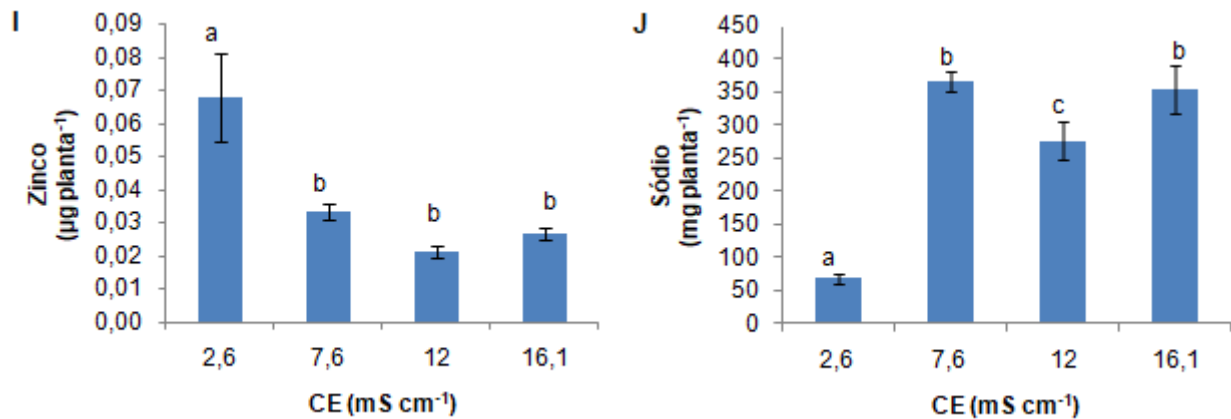
Para os micronutrientes, Cu e Zn (Figura 12G e 12I), o controle absorveu 50% a mais em relação a todos os tratamentos com concentrado salino (T1, T2 e T3). A deficiência de Zn e Cu pode ser detectada nas folhas, podendo deformar folhas novas e torná-las menores e estreitas (SILVEIRA et al., 2001). Estatisticamente, o controle difere dos tratamentos com concentrado salino para os dois micronutrientes.

A Figura 12H mostra que as mudas do controle apresentaram valores de manganês inferiores aos tratamentos com concentrado salino. Observando os nutrientes adicionados na solução nutritiva (Tabela 8), verifica-se que o manganês foi disponibilizado por meio da solução nutritiva, mas ficou abaixo do limite de detecção para o controle e T1. Para os outros micronutrientes, zinco e cobre, o controle obteve absorção superior a 50% em relação aos tratamentos com concentrado salino (T1, T2 e T3). Para Mn, assim como Cu e Zn, os tratamentos T1, T2 e T3 são estatisticamente iguais entre si e diferem do controle.

A salinidade reduz a capacidade das mudas de absorver os macronutrientes e micronutrientes devido à elevada pressão osmótica no meio do crescimento e substancial quantidade de energia usada para os ajustes osmóticos (DE OLIVEIRA et al., 2019). As mudas de eucalipto com menor concentração de CE (T1) absorveram maior quantidade do íon ( $\text{Na}^+$ ), comparado aos tratamentos T2 e T3 (Figura 12J). O íon  $\text{Na}^+$  em excesso altera o metabolismo vegetal, reduz a taxa de crescimento e a produtividade das plantas (SCHOSSLER et al., 2012). O controle difere estatisticamente de todos os tratamentos com concentrado salino, enquanto T1 e T3 são estatisticamente iguais. O tratamento T2 difere estatisticamente do controle, T1 e T3.

**Figura 12:** Macro e micronutrientes presentes nas mudas de *Eucalyptus dunnii* após 50 dias de experimento





Fonte: A autora.

## 5.4 SUBSTRATO

A Tabela 9 apresenta as médias de SDT e CE do substrato presente nos tubetes para sustentação das mudas e oxigenação das raízes. Conforme aumenta o valor de SDT no meio líquido, maior a CE presente. Houve uma correlação forte entre SDT e CE ( $r = 0,999$  e  $p < 0,023$ ). Essas duas variáveis contribuíram, de forma semelhante, para a formação dos resultados obtidos nas análises fisiológicas e morfológicas.

**Tabela 9:** Média do controle e dos tratamentos T1, T2 e T3 para SDT e CE presente no substrato

	Controle	T1	T2	T3
SDT (g L <sup>-1</sup> )	0,014	0,07	0,12	0,13
CE à 25°C (mS cm <sup>-1</sup> )	0,59	2,62	4,81	5,13

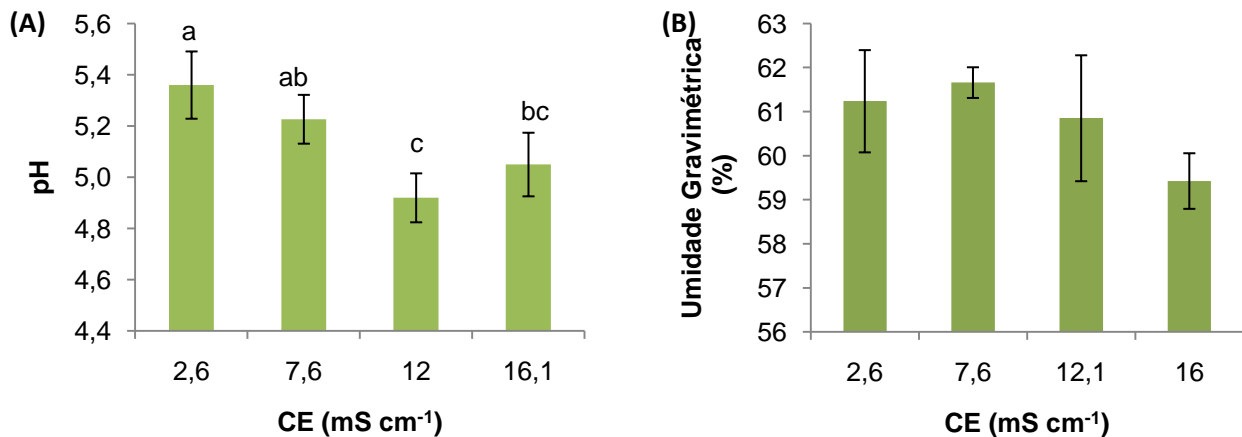
Fonte: A autora.

O pH (Figura 13A) do controle ( $5,36 \pm 0,13$ ) foi maior que T1, T2 e T3, sendo  $5,23 \pm 0,1$ ,  $4,92 \pm 0,1$  e  $5,05 \pm 0,12$ , respectivamente. O substrato do T2 apresentou pH mais baixo, sendo 8,2% menor que o controle. Segundo Araújo et al. (2020), o pH recomendado para substratos orgânicos, sem solo, está entre 5,0 – 6,5. Estatisticamente, o controle e T1 não diferem entre si, assim como T1 e T3. O tratamento T2 não difere de T3, mas difere do controle e de T1.

Os resultados de umidade gravimétrica (Figura 13B) foram semelhantes para todos os tratamentos com valores de  $61,2\% \pm 1,16$ ,  $61,7\% \pm 0,35$ ,  $60,9\% \pm 1,43$ ,  $59,4\% \pm 0,63$ , para controle, T1, T2 e T3, respectivamente. Correa et al. (2013) analisou quatro níveis de umidade: 60, 70, 80 e 90% em mudas de eucalipto. Verificou que as mudas com 90% de umidade apresentaram maior desenvolvimento na altura das mudas. Os níveis 70 e 80%

foram iguais estatisticamente, assim como 60 e 70%. A disponibilidade hídrica pode influenciar diretamente na área foliar, altura das mudas e diâmetro do caule. Desta forma, a média da umidade do substrato em todos os tratamentos foi em torno de 60%, inclusive no controle, o que pode ter reduzido a eficiência nos parâmetros morfológicos. Todos os tratamentos não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre si.

**Figura 13:** Características físico-químicas do substrato. (A) pH, (B) Umidade Gravimétrica em relação aos tratamentos. As barras verticais representam o erro padrão.



Fonte: A autora.

## 5.5 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS

A Figura 14A evidencia que quanto maior a CE, maiores são os efeitos sobre os parâmetros morfológicos aos 50 dias de monitoramento do sistema. Após 25 dias de experimento, a altura média das plantas do controle era de  $28 \pm 2,75$  cm, e a menor era de  $19,1 \pm 3,7$  cm do T3. Porém, no final do experimento (50 dias) houve aumento da altura da planta no controle e redução no T3 (25% e 30%, respectivamente). O controle, T1 e T3 (25 dias) são estatisticamente iguais. Contudo, todos os tratamentos que receberam diferentes concentrações do concentrado salino não diferem estatisticamente. A redução da absorção dos nutrientes devido à salinidade, as plantas desenvolvem déficits nutricionais e assim, apresentam crescimento reduzido (DE CARVALHO et al., 2019).

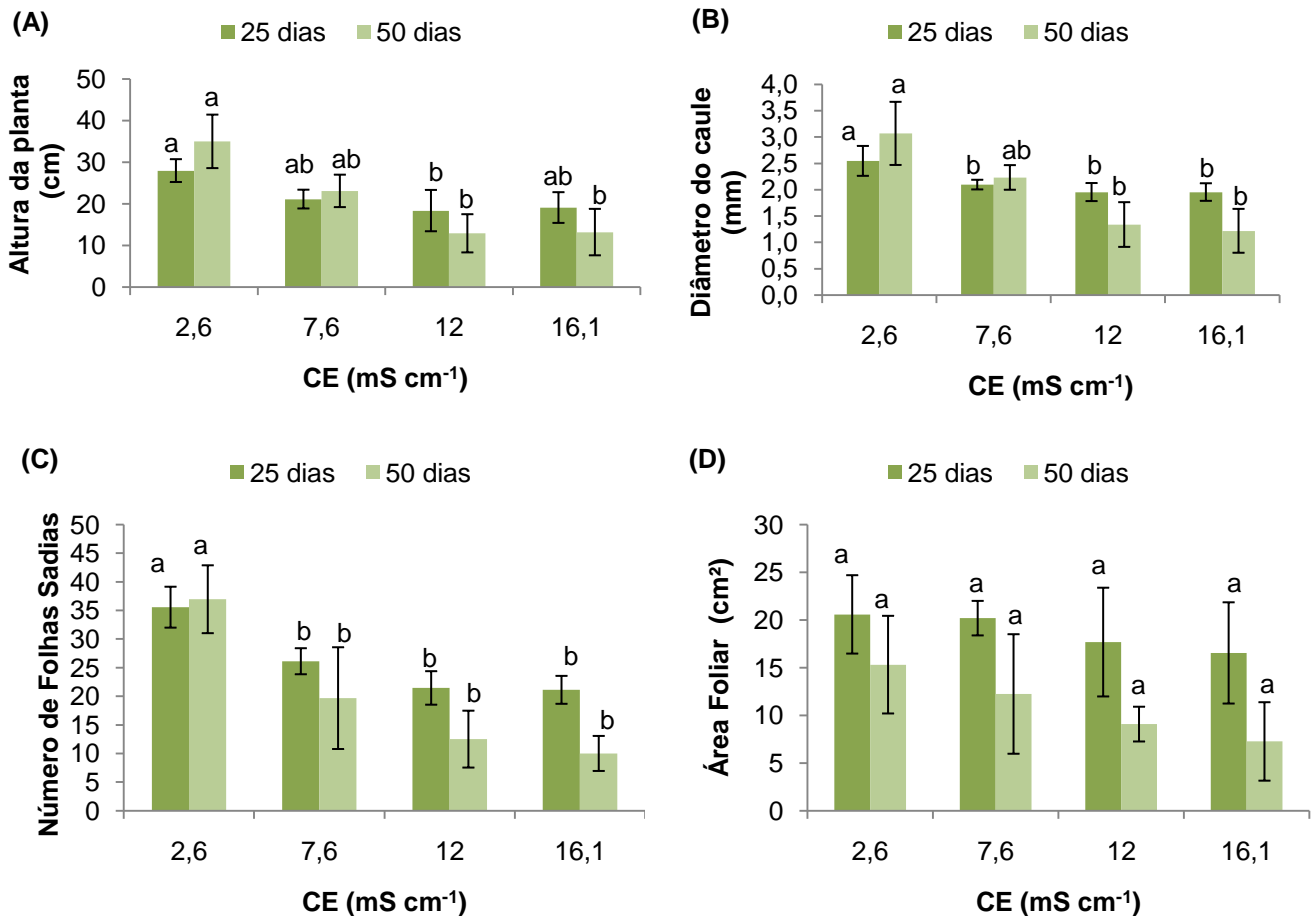
Em relação ao diâmetro do caule (Figura 14B) da primeira para a segunda medição, o controle sofreu aumento de  $2,5 \pm 0,28$  para  $3,1 \pm 0,6$  mm. O tratamento com menor salinidade (T1) também aumentou de  $2,1 \pm 0,09$  para  $2,2 \pm 0,23$  mm. Mas, o controle (25 e 50 dias) é estatisticamente igual ao T1 com 50 dias e diferem dos tratamentos T1 (25 dias), T2 e T3. Desta forma, os tratamentos T1, T2 e T3 também são

iguais estatisticamente para o diâmetro do caule. Mendonça et al. (2007) verificou a redução do diâmetro de mudas de *E. robusta* conforme aumenta a condutividade elétrica do substrato, diferentemente das mudas de *E. tereticornis* que não apresentou redução na altura e diâmetro das mudas até a condutividade elétrica de 8,33 mS cm<sup>-1</sup>. Esses resultados induzem à suposição que essa espécie apresenta mecanismos de resistência à salinidade.

O controle foi o único tratamento que aumentou o número de folhas ( $36 \pm 3,58$  para  $37 \pm 5,93$  folhas sadias). O tratamento T1 apresentou no 25° dia 26 folhas sadias e 20 folhas sadias no 50° dia, uma redução de 23%, enquanto T2 e T3 que continham 21 folhas sadias tiveram redução para 13 e 10 folhas sadias, respectivamente. Portanto, T2 obteve redução de folhas sadias de 38% e T3 de 52,4% (Figura 14C). Mas, estatisticamente, os tratamentos (T1, T2 e T3) são iguais entre si e diferentes do controle. Essa redução pode ser observada no trabalho de Pulavarty et al. (2016), o tratamento com maior concentração (4.380 mg L<sup>-1</sup> de NaCl) no meio líquido, reduziu em 51% o número de folhas sadias de eucalipto (*E. citriodora*) de dois meses para seis meses de experimento.

Diferentemente dos parâmetros: altura da planta, diâmetro do caule e número de folhas, todos os tratamentos são estatisticamente iguais no que se refere à área foliar (Figura 14D). Da primeira medição para a segunda medição, sofreu redução de 26%, 40%, 49% e 55% no controle, T1, T2 e T3, respectivamente. Aos 25 dias de monitoramento o controle estava com  $20,6 \pm 4,11$  cm<sup>2</sup> e o T1 com  $20,2 \pm 1,81$  cm<sup>2</sup>. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram os seguintes valores de área foliar para a primeira medição:  $17,7 \pm 5,7$  e  $16,5 \pm 5,31$  cm<sup>2</sup>, respectivamente.

**Figura 14:** Efeito das concentrações de condutividade elétrica após 25 e 50 dias. **A** Altura da planta, **B** Diâmetro do caule, **C** Número de folhas, **D** Área Foliar em relação aos tratamentos. As barras verticais representam o erro padrão. Os valores  $p$  que estão representados por letras semelhantes não são significativamente diferente um do outro ( $p < 0,05$ ). As estatísticas foram realizadas separadamente para cada tratamento.



Fonte: A autora.

Após 25 dias de experimento, apenas os tratamentos T2 e T3 apresentaram plantas mortas (Tabela 10). Com 50 dias, o controle e o T1 possuíam apenas uma planta morta e T2 e T3 aumentaram para oito, em média. A concentração de sal na solução afetou a absorção de água e nutrientes, que são essenciais para o desenvolvimento e sobrevivência das mesmas (DE CARVALHO et al., 2019).

**Tabela 10:** Número de plantas mortas nos tratamentos

	<b>Controle</b> (2,6 mS cm <sup>-1</sup> )	<b>T1</b> (7,6 mS cm <sup>-1</sup> )	<b>T2</b> (12 mS cm <sup>-1</sup> )	<b>T3</b> (16,1 mS cm <sup>-1</sup> )
<b>25 dias</b>	0	0	2	1
<b>50 dias</b>	1	1	8	8

Fonte: A autora.

Com a Figura 15 é possível observar as mudas de eucalipto no primeiro e último dia de experimento. As mudas de controle são visivelmente mais desenvolvidas em relação aos tratamentos com concentrações elevadas de CE.

**Figura 15:** Mudanças de eucalipto dispostas em bancada dentro da casa de vegetação. Sendo a Foto A representando o 1º dia e a Foto B o 50º dia de monitoramento.



Fonte: A autora.

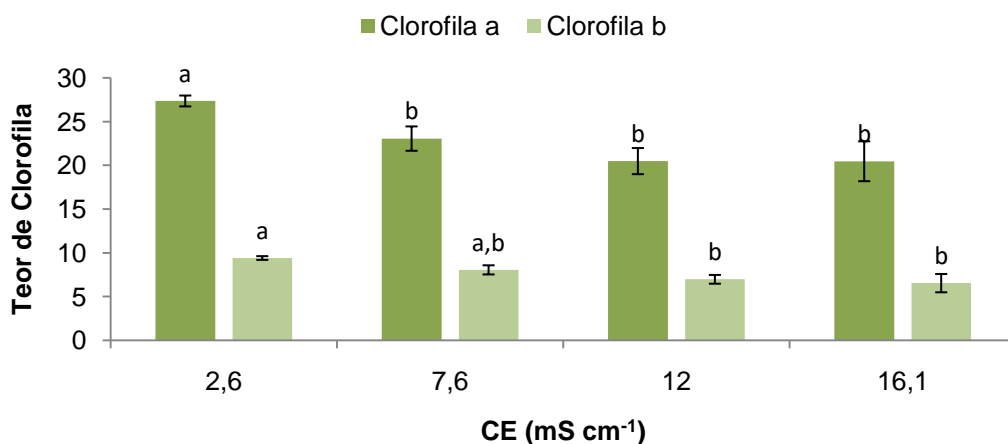
## 5.6 ANÁLISES FISIOLÓGICAS

Para Baker e Rosenqvist (2004), os estresses promovem modificações significativas na emissão da fluorescência da clorofila *a*, com alterações fisiológicas na atividade fotossintética das folhas. A Figura 16 apresenta que entre os tratamentos com maior concentração de CE no meio líquido, há uma redução no teor de clorofila *a + b* em relação ao controle de 15,4%, 24,2% e 26,6% em T1, T2 e T3, respectivamente, podendo resultar em redução da eficiência fotossintetizante. No controle, o índice de clorofila *a* era de  $27,35 \pm 2,18$  ICF e clorofila *b* =  $9,41 \pm 1,15$  ICF. Os tratamentos com maiores concentrações (T2 e T3) apresentaram clorofilas *a* e *b* com valores médios de clorofila *a*  $20,48 \pm 2,84$  ICF e  $20,46 \pm 3,00$  ICF e para a clorofila *b* de  $6,97 \pm 1,35$  ICF e  $6,53 \pm 1,39$  ICF, respectivamente. Estatisticamente, a clorofila *a* e *b* do controle são iguais à clorofila *b* do T1 e diferentes dos demais. Enquanto os outros tratamentos apresentam clorofilas *a* e *b* iguais estatisticamente. Pulavarty et al. (2016) notou uma redução na clorofila *a* e *b* de 3



a 5 vezes entre suas medições (2 e 6 meses) entre os tratamentos que receberam NaCl comparado com o controle. Dantas et al. (2012) verificou em seu trabalho uma correlação significativa e positiva ( $r = 0,74$ ) entre o índice de clorofila e o teor de N foliar. Esta relação entre N e teor de clorofila foi observada em outras culturas (GODOY et al., 2008; LEONARDO et al., 2013). Portanto, a quantidade de N na folhas (Figura 12A) explica o maior índice de clorofila no controle em relação aos tratamentos T1, T2 e T3. Segundo Mendes (2011) o potássio promove redução dos efeitos da deficiência hídrica em eucalipto.

**Figura 16:** Dados de clorofila obtidos pelo aparelho CLOROFILOG 1030. As barras verticais representam o erro padrão



Fonte: A autora.

O controle é o único tratamento que apresentou saldo positivo para a assimilação líquida (A) de CO<sub>2</sub> (Tabela 11). Nos tratamentos T1, T2 e T3, a fotorrespiração era maior que a assimilação no momento da medição, ou seja, resulta na saída de CO<sub>2</sub> (TAIZ; ZEIGER, 2006). Segundo Jadoski; Klar e Salvador (2005) o horário mais indicado para determinação de parâmetros fisiológicos com o equipamento IRGA está entre 12 e 14h, desta forma, como a medição do presente estudo foi iniciada às 15h 45min, os valores de **A** estão reduzidos. O aumento no valor da condutância estomática realiza o fechamento dos estômatos, como um mecanismo de adaptação. Conseqüentemente reduz a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>. Cruz et al. (2017) verificou em seu trabalho que a mandioca sob estresse salino de 40 e 60 mM teve redução de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> em 13 e 37%, respectivamente, em relação ao controle. Sendo que os tratamentos do presente trabalho T1, T2 e T3 sendo convertido a mM, possuem concentrações de 50, 100 e 150 mM, respectivamente.

A condutância estomática está diretamente ligada à transpiração foliar, que pode ocorrer de duas formas: pela cutícula da folha e pelos estômatos. Assim, as plantas do controle apresentaram maior condutância estomática (Tabela 11), com valores médios superiores em 77,2%, 68,3% e 77,2% em relação os tratamentos com concentração de CE (T1, T2 e T3, respectivamente). Tavora; Ferreira e Hernandez (2001) submeteram goiabeiras ao estresse salino com concentração de 8.770 mg L<sup>-1</sup> NaCl e verificaram que com o aumento da salinidade, a condutância estomática do tratamento reduziu aproximadamente 86% em relação ao controle.

Quando há estresse salino, a concentração de carbono (Tabela 11) aumenta o seu valor, como é possível comparar o controle e T3, sendo 317,62  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  e 558,29  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , respectivamente. Diferente da relação condutância estomática X transpiração foliar, a concentração de carbono no mesófilo é inversamente proporcional à condutância estomática, pois níveis elevados de CO<sub>2</sub> tendem a diminuir a abertura estomática nas folhas (GRANDIS, 2010). Verifica-se na Tabela 11 que T1, T2 e T3 possuem valores superiores ao controle em 57,9%, 55,5% e 75,8%, respectivamente.

A transpiração foliar (Tabela 11) segue o padrão da condutância estomática, sendo o controle 73,6%, 63,4% e 73,6% maior que T1, T2 e T3, respectivamente. Oliveira et al. (2002) verificou em seu trabalho que a redução na condutância estomática e queda na taxa de transpiração, mais rápida que a queda na fotossíntese, indica a existência de mecanismos de adaptação em pupunheira, sob condição de estresse hídrico moderado.

**Tabela 11:** Parâmetros fisiológicos das mudas de eucalipto (*E. dunnii*) obtidos com o equipamento IRGA

Tratamentos	Assimilação Líquida de CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}$ )	Condutância Estomática ( $\text{mMm}^2 \text{ s}^{-1}$ )	Concentração de Carbono no Mesófilo ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	Transpiração Foliar (Trmmol)
<b>Controle</b> (2,6 mS cm <sup>-1</sup> )	2,42 ± 1,53	0,079 ± 0,02	317,62 ± 17,45	3,42 ± 0,63
<b>T1</b> (7,6 mS cm <sup>-1</sup> )	-1,53 ± 0,1	0,018 ± 0,003	501,37 ± 37,26	0,90 ± 0,19
<b>T2</b> (12 mS cm <sup>-1</sup> )	-2,06 ± 0,31	0,025 ± 0,002	493,74 ± 24,00	1,25 ± 0,10
<b>T3</b> (16,1 mS cm <sup>-1</sup> )	-2,12 ± 0,48	0,018 ± 0,004	558,29 ± 88,91	0,90 ± 0,18

Fonte: A autora.

## 6 CONCLUSÕES

O tratamento que recebeu concentrado salino com menor concentração de condutividade elétrica ( $7,6 \text{ mS cm}^{-1}$ ) apresentou remoção de sais superior a 60% durante o primeiro mês, assim como no controle.

As mudas expostas às concentrações de condutividade elétrica acima de  $7,6 \text{ mS cm}^{-1}$  apresentaram plantas mortas a partir do 25º dia de experimento e baixo desenvolvimento morfológico em relação ao controle e ao tratamento de menor concentração de sais.

A sobrevivência das mudas com concentração de  $16,1 \text{ mS cm}^{-1}$  apresentaram tolerância da espécie ao sal.

Conclui-se que, a espécie de eucalipto *Eucalyptus dunnii* possui capacidade de absorção do sal presente no concentrado salino do sistema de osmose reversa, podendo ser utilizado como planta fitorremediadora.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2012.
- ANDRIOLO, J.L.; LUZ, G.L.; GIRALDI, C.; GODOI, R.S.; BARROS, G.T. 2004. Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT? **Horticultura Brasileira**, v. 22, n.4: 794-798, 2004.
- ARAÚJO, C. S. et al. Use of agro-industry residues as substrate for the production of *Euterge precatória* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.50, 2020.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1607 – 1621, 2004.
- BAUDER, T.A., WASKOM, R.M., SUTHERLAND, P.L., DAVIS, J.G. Irrigation water quality criteria. Colorado State University Extension Publication, Crop series/irrigation. Fact sheet no. 0.506, 2011.
- BENTEC Sementes, Insumos e Tecnologia. *Eucalipto dunnii* (Nú/Peletizado). Disponível em: < <http://www.bentecsementes.com.br/eucalipto-dunnii/> >. Acesso em: 24 abr. 2020.
- BEZERRA, V. R. et al. Reutilização de rejeito de dessalinizadores na Paraíba. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 105-116, mar./jun. 2019.
- BEZERRA NETO, E. ; BARRETO, L. P. As técnicas de hidroponia. **Anais...**, Recife, v. 8-9, p. 107-137, 2012. Disponível em: < <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/152> >. Acesso em: 24 abr. 2020.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396**, de 3 de abril de 2008. Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Publicado no D.O.U.
- BREMENKAMP, D. M. et al. Efeito da temperatura da solução nutritiva no crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.) em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, jul 2012.
- CELLI, Robson. Modelos de dessalinização e sua eficiência: comparativo entre tecnologias. **Revista eletrônica dos Cursos de Engenharia**, Curitiba, v. 1, n. 1, jan./abr. 2017.
- COMETTI, N. N. et al. Soluções nutritivas: formulação e aplicações. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. SBCS, 2006. cap. IV. p. 90-113.
- CORREA, V. B. et al. Determinação da umidade para o desenvolvimento de mudas de eucalipto sob diferentes regimes térmicos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.16, p.711-722, jul. 2013.

- CRUZ, J. L. et al. Salinity reduces carbon assimilation and the harvest index of cassava plants (*Manihot esculenta Crantz*). **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 39, n. 4, p. 545-555, oct./dec., 2017.
- DANTAS, P. A. S. et al. Estimativa não destrutiva do teor foliar de nitrogênio em cacauero utilizando clorofilômetro. **Rev. Brasileira Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 669-677, Jaboticabal, São Paulo, set 2012.
- DE OLIVEIRA, V. P. et al. Brassinosteroids confer tolerance to salt stress in *Eucalyptus urophylla* plants enhancing homeostasis, antioxidant metabolism and leaf anatomy. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 2, p. 557-573, 2019.
- DOBNER JR, M.; HIGA, A. R.; SEITZ, R. A. Efeito da cobertura de *Pinus taeda L.* na proteção contra geadas e no crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus dunnii* MAIDEN. **Revista Floresta**, Curitiba, v.39, n.4, p.807-823, out./dez. 2009.
- DUTRA, L. F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G. E. A micropropagação do eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.58, p.49-59, jan./jun., 2009
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306 p., 2006.
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Normas de qualidade da água. 2001.
- FERNANDES JUNIOR, J. **Evaluation of a brackish desalination pilot system using solar energy**. 2019. 76 f. Dissertação (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.
- FERRARO, R. J. S. Sistema de Osmose Reversa. 60 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade São Francisco, Campinas, SP, 2008.
- FOLLETT, R. H. SOLTANPOUR, P. N. Irrigation water quality criteria. **Colorado State University Extension service**, n. 506, apr 1990.
- FREITAS, W. E. S. **Adubação suplementar com enxofre como atenuador dos efeitos do estresse salino em plantas de alface hidropônica**. Tese (Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- GAZOLA, R. N. **Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produtividade, ciclagem de nutrientes e no balanço nutricional do eucalipto**. Tese (Agronomia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2017.
- GLATER, Julius. The early history of reverse osmosis membrane development. **Desalination**, v. 117, l. 1-3, p. 297-309, 1998.
- GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEITE JÚNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional de nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p. 217-226, 2008.

GOTTEMS, L. Defensivos de piretroides eliminam inimigos naturais da *Helicoverpa armigera*, 2013. Disponível em: < [https://www.agrolink.com.br/noticias/defensivos-de-piretroides-eliminam-inimigos-naturais-da-helicoverpa-armigera\\_188618.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/defensivos-de-piretroides-eliminam-inimigos-naturais-da-helicoverpa-armigera_188618.html) >. Acesso em: 22/04/2020.

GRANDIS, Adriana. **Respostas fotossintéticas e de crescimento da espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevada concentração de CO<sub>2</sub>**. 137 f. Dissertação (Ciências). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2010.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. Past: Paleontological statistics software Package for education and data analyses. Version 4.02. Disponível em: < <http://folk.uio.no/ohammer/past/> >. Acessado em: 2020.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water–culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular 347. In: College of Agriculture. University of California. Berkeley. 1950.

JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. L.; SCHMIDT, L. Water scarcity and human rights. **Revista Ambiente e Sociedade**. São Paulo, v.19, n.1, jan./mar. 2016.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Revista do Centro de Ciência Agrárias e Ambientais**, v. 1, n.1, jan-jun 2005.

LEONARDO, F.A.P. et al. Teor de clorofila e índice spad no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal – SP, v.35, n.2, p.377-383, jun 2013.

LIN, L. et al. Sorption of metals and metalloids from reverse osmosis concentrate on drinking water treatment solids. **Separation and Purification Technology**, v.134, p. 37-45, 2014.

LOPES, T. C.; KLAR, A. E. Influência de diferentes níveis de salinidade de solo sobre aspectos morfofisiológicos de mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 68-75, jan-mar. 2009.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas**: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARTINS, A. G.; SILVA, J. G. F. Solos afetados por sais e qualidade da água para irrigação. Vitória, ES: Incaper, 2008.

MENDES, H. S. J. **Comportamento de clones de eucalipto em resposta a disponibilidade hídrica e adubação potássica**. 2011. 55 f. Dissertação (Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2011.

MENDES JR, C.; PONTES, F. M. Manual de Implantação de Cultivos Florestais: Cultura do Eucalipto. **Instituto de Florestas do Paraná**. Curitiba, 2016.

- MENDONÇA, A. V. R. et al. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus* sp sob estresse salino. **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v. 31, n.3, p. 365-372, 2007.
- MENDONÇA, A. V. R. Características Fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a estresse salino. **Ciência Florestal**, Rio de Janeiro, v.20, n.2, p.255-267, 2010.
- MICKLEY, M. C. **Membrane Concentrate Disposal: Practices and Regulations**. Denver. US Department of the Interior (Desalination and Water Purification Research and Development Program Report n° 123), 2006.
- MOURA, J. P. et al. Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2008.
- NAWAZ, M. F. et al. Influence of NaCl-salinity on Pb-uptake behavior and growth of River Red gum tree (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 40, n. 3, p. 425-432, 2016.
- NITSCHKE, P. R. et al. Atlas climático do Estado do Paraná. **Instituto Agrônomo do Paraná**. Londrina, 2019.
- OLIVEIRA, C. S. et al. Disponibilidade de cálcio e crescimento de mudas de eucalipto sob estresse salino. **Revista Agrarian**, v. 11, n.42, p. 299-306, Dourados, 2018.
- OLIVEIRA, F. S. **EFEITOS DA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA NO CRESCIMENTO INICIAL E NA PRODUÇÃO DE FITOMASSA EM CLONES DE EUCALIPTO**. 2018. 63 f. Dissertação (Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2018.
- OLIVEIRA, M. A. J. et al. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p.59-63, jan-mar. 2002.
- PARANÁ. Decreto n° 4.626, de 7 de maio de 2020. Decreta situação de emergência hídrica no Estado do Paraná pelo período de 180 dias. Curitiba, 7 mai 2020.
- PEIG, D. B.; RAMOS, M. P. Aproveitamento e destino do concentrado de processos de separação por membranas. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2010.
- PIRES, A. P. F. et al. **Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil**. Campinas, 2020. Disponível em: < <https://www.bpbes.net.br/produto/agua/> >. Acesso em: 24 abr. 2020
- PIRES, F.R et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p.335-341, 2003.
- PRADO, Renato de Mello. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Unesp, 2010. 407 p.

PULAVARTY, A. et al. Morphological, physiological and biochemical adaptations of *Eucalyptus citriodora* seedlings under NaCl stress in hydroponic conditions. **Acta Physiologiae Plantarum** **38**, India, n. 20, 2016.

SALT, D. E.; SMITH, R. D.; RASKIN, I. Phytoremediation. Ann. **Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.**, v. 49, p. 643-668, 1998.

SCHOSSLER, T. R. et al. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v.8, n.15, p. 1563 – 1578, 2012.

SILVA, F. A. et al. Estresse salino e adubação mineral na composição nutricional da cultura do milho. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, n.1, p. 76-83, jan-dez, 2017.

SILVA, M. C. C. Clarificação do concentrado gerado no tratamento de água por ultrafiltração: estudo de caso na represa do Guarapiranga. 113 f. Dissertação (Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. **Seja o doutor do seu eucalipto** (2001). Disponível em: < <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3148> >. Acesso em: 26 abr. 2020.

SIMONETE, M. A. et al. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1343-1351, 2013.

SOARES, T. M. et al. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**. 2007. 268p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SOUZA, M. E. **Estudo Físico-Químico do concentrado proveniente do processo de osmose reversa no tratamento de água para uso industrial**. 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SUN, D.; DICKINSON, G. Responses to salt stress of 16 *Eucalyptus* species, *Gravillea robusta*, *Lophostemon confertus* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Forest Ecology and Management**, Australia, v.60, l. 1-2, p. 1-14, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719 p.

TAVORA, F. J. A. F.; FERREIRA, R. G.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, São Paulo, v.23, n.2, p. 441-446, 2001.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. G.; SILVA, A. M. M. Oxigênio Dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu – SP. **Eclética Química**, v. 22, São Paulo, 1997.



VIEIRA, G. E. G.; SILVEIRA, C. R. Avaliação dos principais aspectos da fitorremediação aplicados na redução da poluição no solo e água. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.2, p. 182-192, abr./jun. 2011.

ZAIKA, M. G. B. **Parâmetros de tratabilidade em sistemas de alagados construídos aplicado ao reuso de resíduos de dessalinização**. 2018. 120 f. Dissertação (Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

ZAMAN, M.; SHAHID, S. A.; HENG, L. Irrigation Water Quality. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. **Springer**, nov. 2018.