

**RAQUELE MENDES DE LIRA**

**SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NO  
CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**RECIFE - PE**

**JULHO - 2016**

**RAQUELE MENDES DE LIRA**  
Engenheira Agrícola e Ambiental

**SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NO  
CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva**

**Coorientador:**

**Luís Fernando de Souza Magno Campeche**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração: Manejo integrado de água e solo.

**RECIFE - PE**

**JULHO - 2016**

Ficha catalográfica

L768s Lira, Raquele Mendes de  
Salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar / Raquele Mendes de Lira. – Recife, 2016.  
101 f. : il.

Orientador: Ênio Farias de França e Silva.  
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, 2016.  
Inclui referências.

1. *Saccharum* Spp. 2. Manejo de sais 3. Agricultura irrigada  
4. Lisímetros I. Silva, Ênio Farias de França e, orientador II. Título

CDD 631

**RAQUELE MENDES DE LIRA**

**SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NO  
CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese defendida e aprovada em 29 de Julho de 2016 pela Banca Examinadora:

Orientador:

---

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva  
DEAGRI-UFRPE

Examinadores:

---

Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno Campeche  
Instituto Federal do Sertão Pernambucano – IF Sertão-PE

---

Prof. Dr. Egídio Bezerra Neto  
DQ-UFRPE

---

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior  
DEAGRI-UFRPE

---

Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva  
DEAGRI-UFRPE

*Aos meus pais Heronides e Maria José*

*por serem meu porto seguro,*

*por nunca medirem esforços para me ajudar em tudo na minha vida;.*

*Aos meus irmãos Heronilton e Rosane*

*por todo amor, carinho, paciência e cumplicidade em todos os momentos;*

*Ao meu amor Hugo Tavares*

*Pelo companheirismo, carinho e cuidado,*

*Por vários momentos de privação de minha presença durante este trabalho.*

**Dedico**

*“O homem que consagra suas horas com infatigável empenho  
a honrosos objetivos, traça luminosamente o seu destino.”*

(Edward Kong)

*“O homem come planta, ou planta transformada, e  
somente alimentando a planta, será possível alimentar  
o homem.”*

(Eurípedes Malavolta)

*“A vida é assim. O aprendizado é na prática.  
E a regra é simples: Se não posso mudar os fatos, então deixo que os fatos me modifiquem.  
Quero o crescimento possível, a travessia que me é proposta.  
Porque ficar parado e lamentando a vida que não quero, é um jeito  
estranho de abandonar a vida que tanto desejo”.*

(Pe. Fábio de Melo)

## AGRADECIMENTOS

Ao **Deus** pai e criador, por me dá forças para chegar até aqui e ser verdadeiramente presente em minha vida em todos os momentos felizes e de dificuldades, sempre me mostrando o melhor caminho a seguir.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Engenharia Agrícola.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, coordenado pelo professor Dr. Mário Rolim, pela oportunidade de ingresso no Doutorado e pela disponibilidade de utilização do laboratório de sua responsabilidade para realização de algumas análises;

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa;

À Estação experimental de cana-de-açúcar do carpina (EECAC-UFRPE) pela doação da cana utilizada no plantio;

Em especial ao Professor Dr. Ênio Farias de França e Silva, pela pessoa que é, no qual, o admiro bastante, obrigada por ser meu orientador desde a graduação, por toda direção, incentivo, confiança, dedicação, paciência, conhecimentos repassados e amizade construída;

Ao meu coorientador Luís Fernando Campeche por todo apoio e dúvidas tiradas durante este trabalho;

Ao Professor Manassés Mesquita por todo ensinamento e contribuição para montagem do sistema de irrigação do experimento;

Ao professor Gerônimo Ferreira por estar sempre presente e contribuir bastante na execução deste trabalho, seja tirando dúvidas, ou em tarefas braçais;

À Djalma Simões Neto por sempre me atender com toda paciência e disposição, esclarecendo qualquer equívoco sobre o cultivo da cana-de-açúcar;

Ao professor Tales Soares que hoje está na UFRB, mas foi através dele juntamente com o professor Ênio que tive o primeiro contato com a pesquisa;

Ao professor Egídio Bezerra que me ensinou na graduação e na pós-graduação, obrigada por todo conhecimento repassado e por disponibilizar seu laboratório para algumas análises;

Ao professor José Amilton pelas contribuições dadas para melhorar a escrita da tese;

A todos aqueles que trabalharam diretamente e constantemente na efetivação desta pesquisa “Subequipe família Ênio”: Rodrigo Barbosa, que atuou no momento de implantação do experimento e nos trabalhos mais pesados. E os estagiários: Erick Pacheco, Leandro

Cândido e Marcone Barros. Em especial ao Marcone pela sua dedicação e constante comprometimento com as atividades;

À Welligton, Breno e Carlos Donato que juntamente com a Subequipe Família Ênio estiveram presente no plantio da cana-de-açúcar, sendo o Breno também presente nas avaliações a noite;

Às minhas grandes amigas Janice Coelho e Jucicléia Soares pelo companheirismo, auxílio e disposição em ajudar na biometria mensal;

Ao meu irmão do coração Alexandre Santos por todo apoio e incentivo dado durante minha vida acadêmica;

Em especial ao meu namorado Hugo Tavares, por toda disposição em ajudar para que este trabalho fosse concluído, pois, sem reclamar sempre me levava a área experimental nos finais de semana ou a noite quando necessário, e trabalhava pesado com toda paciência que Deus lhe deu.

À minha família que sempre me apoiou em todos os momentos: Mainha, Painho, Niltinho, Rose, Humberto, Leticia, Tavinho, Henrique, Stela e Marconi.

Aos colegas do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola: Robertson, Hammady, Mara, Jessyca, Daniel, Alexsandro, Thais Fernanda, Uilka, Natália, Fábio Santiago, Miguel Guimarães, Nadielan, Patrícia, Anderson, Andréa, Ana Karina, Diego Huggins, Eulâmpio, Diego Henrique e Péricles, pelo auxílio, apoio, disposição e pela amizade construída;

Ao grupo de estudos da Pós em Engenharia Agrícola que chamamos de GEPEA: Cleene, Diogo, Tatiana Patrícia, Tatyana Keyty, Rafael, e os demais já citados, por todo incentivo e amizade construída;

Aos meus vizinhos de sala do Departamento de Engenharia Agrícola: Vânia, Célia, Daniela, Betinho, Waldemir, Fred e Sonny por toda convivência, amizade e apoio;

Aos professores e funcionários, por todos ensinamentos, serviços prestados, convivência e amizade;

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para execução e elaboração deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!!**



## SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Geral .....	15
2.2 Específicos .....	15
3. HIPOTESES.....	15
4. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
4.1. A cultura da cana-de-açúcar .....	16
4.1.1. Aspectos históricos e socioeconômicos da cultura .....	16
4.1.2. Aspectos botânicos e morfológicos da cultura .....	18
4.1.3. Aspectos agronômicos e fenológicos da cultura .....	19
4.2. Qualidade da água para irrigação .....	21
4.3. Balanço de sais no solo .....	22
4.4. Tolerância das plantas a salinidade .....	25
4.5. A salinidade e a nutrição de plantas .....	27
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	31
5.1. Caracterização da região onde a área experimental foi instalada .....	31
5.2. Caracterização das unidades experimentais .....	32
5.3. Características do solo.....	34
5.3.1. Caracterização físico-química .....	34
5.3.2. Correção do pH .....	35
5.3.3. Adubação mineral .....	35
5.4. Condução da cultura .....	35
5.5. Delineamento experimental e tratamentos.....	36
5.6. Sistema de irrigação e manejo adotado .....	36
5.6.1. Preparo da água de irrigação .....	36
5.6.2. Sistema de irrigação adotado .....	36
5.6.3. Análise de uniformidade do sistema .....	38
5.6.4. Manejo da irrigação .....	38
5.7. Variáveis de crescimento e rendimento analisadas .....	41

5.8. Produtividade dos colmos .....	42
5.9. Acúmulo de nutrientes e sódio nas plantas .....	42
5.10. Monitoramento do material lixiviado .....	43
5.11. Análise estatística .....	43
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
6.1. Monitoramento do material lixiviado .....	43
6.2. Variáveis de crescimento .....	47
6.2.1. Número de perfilhos .....	49
6.2.2. Altura de colmo .....	51
6.2.3. Diâmetro de colmo .....	54
6.2.4. Área foliar .....	55
6.2.5. Número de folhas .....	59
6.3. Rendimento da cana-de-açúcar .....	61
6.4. Teor nutricional e íon sódio na parte aérea da cana-de-açúcar .....	66
7. CONCLUSÕES .....	77
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77

## RESUMO

### SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande interesse econômico no Brasil, e em Pernambuco grande parte de sua produção ocorre em áreas litorâneas. Nestas áreas as águas utilizadas na irrigação podem apresentar alto teores de sais devido a intrusão da água do mar, e quando águas salobras são utilizadas para o suprimento hídrico de uma cultura sem um manejo adequado, pode-se ocorrer a salinização dos solos, reduzindo o desenvolvimento das plantas em virtude dos efeitos sobre o potencial osmótico e dos íons tóxicos em elevadas concentrações. Assim sendo, se faz necessário o conhecimento e a aplicação de técnicas de manejo do uso de água salobra na agricultura, podendo a salinidade excessiva ser controlada pela aplicação da fração de lixiviação e garantir desta maneira, um melhor rendimento de produção. Sabendo que cada cultura responde diferentemente ao mesmo nível salino em que é submetida, objetivou-se com o presente trabalho, estudar o crescimento, rendimento e a concentração dos macronutrientes e do sódio e cloreto na cultura da cana-de-açúcar irrigada com água salobra e frações de lixiviação. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2 com quatro repetições, sendo cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>) e duas frações de lixiviação (0 e 0,17), correspondendo a 100 e 120% da evapotranspiração da cultura, no qual, o manejo da irrigação era realizado diariamente. As variáveis biométricas estudadas e de produção foram: número de perfilhos (NP) e de folhas (NF), altura de colmo (AC), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF), produtividade dos colmos (PROD), massa seca de colmo (MSC), massa fresca de ponteiro e folhas (MFPPF) e massa seca de ponteiro e folhas (MSPF). Também foi monitorada a condutividade elétrica e a concentração de Ca, Mg, Na e K do lixiviado, além destes, analisou-se os macronutrientes e os elementos sódio e cloreto em colmo e, ponteiro e folhas. A salinidade da água de irrigação influenciou de maneira negativa as variáveis de crescimento e rendimento na cana-de-açúcar, sendo os maiores resultados encontrados com o uso da fração de lixiviação. O aumento da salinidade da água de irrigação reduziu linearmente os teores dos nutrientes N, P, K e Mg na parte aérea da cana-de-açúcar e elevou os teores de Na, Cl e Ca, sendo estes resultados atenuados com o uso da fração de lixiviação.

**Palavras Chave:** *Saccharum* spp., manejo de sais, agricultura irrigada, lisímetros

## ABSTRACT

### SALINITY AND IRRIGATION WATER AND LEACHING FRACTION OF SUGAR CANE CULTIVATION

The sugarcane is a great economic interest culture in Brazil, and Pernambuco much of its production takes place in coastal areas. In these areas the water used for irrigation may have a high content of salts due to the intrusion of sea water, and when brackish water is used to water supply of a culture without an adequate handling, can occur salinization of the soil, reducing the development of plants under the effect on osmotic potential and toxic ions in high concentrations. Therefore, it is necessary knowledge and application management of brackish water use techniques in agriculture, may be excessive salinity controlled by application of leaching fraction and thus ensure a better production yield. Knowing that each culture responds differently to the same salt level in which it is submitted, the aim of the present work was study the growth, yield and concentration of macronutrients and sodium and chloride in the culture of sugarcane irrigated with brackish water and leaching fractions. It adopted a completely randomized design in a 5x2 factorial scheme with four replications, with five levels of irrigation water salinity (0.5, 2.0, 3.5, 5.0 and 6.5 dS m<sup>-1</sup>) and two leaching fractions (0 and 0,17) corresponding to 100 and 120% of crop evapotranspiration, in which the management of irrigation was performed daily. The biometric variables and production were: number of tillers (NP) and leaves (NF), stalks height (AC), stem diameter (DC), leaf area (AF), stalks productivity (PROD), dry mass of the stalks (MSC), fresh mass of the pointer and leaves (MFPP) and dry mass of the pointer and leaves (MSPF). It was also monitored the electrical conductivity and the Ca, Mg, Na and K leached besides, analyzed macronutrients and the elements sodium and chloride in stalks, pointer and leaves. The salinity of irrigation water affected negatively the growth variables and yield in sugarcane, with the higher results with the use of leaching fraction. The increase in water salinity linearly reduced levels of nutrients N, P, K and Mg in the shoots of sugarcane and raised the levels of Na, Cl and Ca, and these results mitigated with the use of the fraction leaching.

**Key words:** *Saccharum spp*, management salts, irrigated agriculture, lisimetres

## 1. INTRODUÇÃO

A produção da cana-de-açúcar desempenha um papel fundamental na geração de matéria prima para as agroindústrias do açúcar, álcool e alguns subprodutos. Apresenta-se como atividade geradora de energia renovável e é responsável por grande parte da geração de emprego e renda no meio rural brasileiro. De acordo com a CONAB, (2015), o Brasil é o maior produtor mundial de cana, seguido por Índia e China.

Estima-se uma produção de 690,98 milhões de toneladas de cana-de-açúcar no Brasil para a safra de 2016/17. Em termos de área colhida estima-se 9.073,7 mil hectares e se confirmada esta será a maior área colhida no Brasil. O maior estado produtor é São Paulo com cerca 52,3% do total produzido no país, e Pernambuco ocupa a sétima colocação com 2,9% da produção nacional (CONAB, 2016).

Grande parte da produção no estado Pernambucano ocorre em áreas costeiras e devido a má distribuição da precipitação em determinados períodos do ano se faz necessário a prática da irrigação para se ter altos rendimentos. Todavia, em áreas litorâneas é comum a presença de águas salobras, advindas de poços costeiros, no qual, devido ao excesso de exploração em regiões de irrigação, comumente ocorre uma extração superior a recarga do aquífero fazendo com que o fluxo de água que se desloca em direção ao mar diminua ou regrida, chegando a provocar o avanço da água salgada do mar em relação ao continente. Esse fluxo inverso proporciona, um incremento na concentração de sais na água subterrânea tornando-a salobra ou salina (Custódio, 2010; Costa Sobrinho, 2014; Ferreira, 2014). A utilização destas águas (salobras ou salinas) para irrigação sem um manejo adequado pode provocar a salinização ou sodificação dos solos trazendo prejuízos a produção agrícola.

Um dos principais problemas causados pela salinização do solo é a redução do potencial osmótico da solução do solo e a acumulação excessiva de certos íons que podem causar toxicidade às culturas. O acúmulo de sais na zona radicular pode atingir um nível tal, em que as plantas não terão forças de sucção suficiente para superar o potencial osmótico, em consequência, a planta não conseguirá absorver água, e isto irá propiciar estado de deficiência hídrica e causar sintomas muito semelhantes aos provocados pela estiagem. De acordo com Munns e Tester (2008) além do déficit hídrico, o metabolismo vegetal também é alterado e em condições de estresse salino a abertura dos estômatos é reduzida, assim como também a fotossíntese e a translocação de nutrientes.

Desta maneira, tecnologias são necessárias para que o problema da salinização de áreas agrícolas não venha agravar-se ainda mais, pois, com o acelerado crescimento populacional e aumento da necessidade de produção de alimentos, torna-se imprescindível uma melhor eficiência do uso da água salobra de forma sustentável.

Dentre essas técnicas está o uso da fração de lixiviação, que consiste em aplicar na irrigação uma lâmina de água além da necessidade da cultura, para que parte dos sais, proveniente da salinidade da água utilizada na irrigação se concentre abaixo da zona radicular e mantenha a salinidade do solo de maneira a permitir bons rendimentos de produção. No entanto, nem todas as culturas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade no qual estão submetidas, e isto depende de vários fatores como: o tempo de exposição ao estresse, composição e concentração dos sais, método e frequência de irrigação, tipo e genótipo da cultura e ambiente no qual se está exposto. Assim sendo, se faz necessário estudar as interações dos sais com a planta em cultivos agrícolas.

A cana-de-açúcar é uma glicófita (Sengar et al., 2013; Kumar et al., 2014), sendo assim, pouco tolerante a salinidade. É uma cultura que está frequentemente inserida em programas de melhoramento genético que visam uma alta produtividade com cultivares que sejam resistentes a pragas e doenças, tolerantes a herbicidas e estresses ambientais (Cesnik e Miocque, 2004; Cidade et al., 2006; Oliveira et al., 2011; Souza et al., 2011). Porém, na literatura são poucos os trabalhos envolvendo cana-de-açúcar e salinidade e geralmente são trabalhos não realizados no Brasil e com cultivares não utilizadas em nosso país (Oca et al., 1996; Garcia e Medina, 2010). Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo estudar o crescimento, o rendimento e o teor nutricional na cultura da cana-de-açúcar irrigada com águas de diferentes salinidades e frações de lixiviação.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar o crescimento, o rendimento e o teor nutricional na cultura da cana-de-açúcar irrigada com águas de diferentes salinidades e frações de lixiviação.

### **2.2. Específicos**

- 2.2.1. Avaliar os parâmetros de crescimento e o rendimento da cana-de-açúcar sob diferentes concentrações de salinidade e frações de lixiviação;
- 2.2.2. Quantificar o teor e acúmulo do íon Na e os nutrientes minerais: N, Ca, K, S, P, Mg e Cl no colmo e, ponteiro e folhas em função do aumento da salinidade da água de irrigação;
- 2.2.3. Avaliar a condutividade elétrica da água lixiviada sob diferentes concentrações de salinidade e frações de lixiviação, e a concentração dos elementos essenciais Ca, Mg e K assim como o íon Na no lixiviado;

## **3. HIPÓTESES**

- 3.1. O emprego da fração de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar permitirá bons resultados de rendimento e crescimento com o uso de água de irrigação com nível salino acima da salinidade limiar tolerado pela cultura;
- 3.2. O incremento da salinidade proporcionará decréscimo no crescimento e rendimento da cana-de-açúcar;
- 3.3. O aumento da salinidade causa desequilíbrio na absorção de nutrientes e acúmulo de elementos tóxicos;
- 3.4. O uso da fração de lixiviação permitirá absorção dos macronutrientes essenciais em teores adequados para a cultura da cana-de-açúcar;
- 3.5. A utilização da fração de lixiviação proporcionará maior concentração de sais no lixiviado devido ao arraste dos sais para as camadas mais profundas.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. A cultura da cana-de-açúcar

#### 4.1.1. Aspectos históricos e socioeconômicos da cultura

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é originária do sudeste asiático, mais precisamente na região central da Nova Guiné e Indonésia, onde o clima tem como características temperaturas elevadas e alta umidade relativa do ar (Matsuoka et al., 2005).

Embora a primeira atividade econômica existente no Brasil pré-colonial tenha sido a extração de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), que ocorreu de 1500 a 1530, o cultivo da cana-de-açúcar pode ser considerado a primeira atividade econômica de grande relevância no país, e foi o responsável pela sustentação da economia brasileira nos séculos XVI e XVII (Zuanazzi e Mayorga, 2010). Há indícios que a cana-de-açúcar chegou ao Brasil em 1532 e contribuiu como fator de sobrevivência e objeto de troca pelos seus primeiros colonizadores até o início das capitanias (Figueiredo, 2008). De acordo com o MAPA (2007), foi na Capitania de São Vicente que construiu-se o primeiro engenho de açúcar. Em Pernambuco, a civilização do açúcar iniciou-se com Duarte Coelho, dois anos após a introdução no Brasil. A ascendência vertiginosa da cultura foi proporcional ao seu declínio, em meados do século XVI, devido a rápida expansão do cultivo no Brasil (Gomes, 2006). De acordo com o MAPA (2007), foi através de forte incentivo do programa federal Proálcool (1975-79), premido pelas consequências da crise internacional do petróleo do início da década de 70, que a cana-de-açúcar, até então concentrada no nordeste e sudeste brasileiro, região que mantinha a tradição dos grandes engenhos desde o período colonial, fez com que a cultura se expandisse para o Centro-Sul do país.

Quando se trata de açúcar, o Brasil ocupa mais de 40% do mercado internacional. As condições pedoclimáticas e a larga experiência acumulada na produção de álcool combustível colocam o Brasil em posição privilegiada em relação aos demais países produtores (Marin e Nassif, 2013).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar seguido por Índia e China (CONAB, 2015). Segundo o MAPA (2014) é também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol e conquista, cada vez mais, o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética. De acordo com Silva (2012a) há uma estimativa



de que o país se torne o principal fornecedor mundial de biocombustíveis, visto que as suas áreas de cultivo tendem a impulsionar o agronegócio para a produção de energias renováveis.

O caldo da cana-de-açúcar é usado para fazer açúcar branco, açúcar mascavo e etanol, sendo a sacarose o componente mais valioso do rendimento econômico da cana. Os derivados principais da indústria de açúcar são bagaço e melaço. O melaço é o derivado principal, é a mais importante matéria prima para álcool e além do melaço tem-se a energia, gerada através da fibra (Toppa et al., 2010; Silva, 2012a). Segundo Bermann (2008) a biomassa de maior representatividade na matriz energética brasileira é o bagaço de cana-de-açúcar, responsável por suprir as energias térmica, mecânica e elétrica de unidades de produção de açúcar e etanol, por simultânea produção de calor e eletricidade através de sistemas de cogeração. Tarumoto et al. (2015) afirmam que, a cana-de-açúcar tem como produção primária o açúcar e etanol e secundária o bagaço da cana que é uma matéria prima para a cogeração de energia, que reduz a utilização de energias fósseis.

A cana-de-açúcar também é uma fonte de alimentação animal através do bagaço e este bagaço também é usado como matéria prima na indústria de papel. Além de produzir o álcool etanol, através da cana-de-açúcar também é produzido outros tipos como: a aguardente, o licor, o rum, a vodka e etc., da cana-de-açúcar aproveita-se absolutamente tudo: bagaço, méis, tortas e resíduos de colheita que servem como matéria orgânica ao solo, e a vinhaça(resíduo da destilação do caldo para obtenção do etanol) que é rica em N, P, K, é utilizada para a fertirrigação no campo (UNICA, 2006; Silva, 2012)

O setor sucroalcooleiro é um dos mais importantes também na geração de emprego e renda. Estima-se que o setor seja responsável por 1,43 milhão de empregos no país (Neves et al., 2010). Segundo Costa (2004) cerca de 511 mil empregos são gerados na produção de cana e o restante é dividido entre a produção de açúcar e de álcool. Além disso, 6% dos empregos agroindustriais do país estão no agronegócio da cana, o que equivale a 14% dos empregos totais do país.

No Brasil estima-se uma produtividade média de 76,152 ton ha<sup>-1</sup> e uma produção de 690,98 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para a safra de 2016/17, representando um crescimento de 3,8% em relação a safra anterior. Em termos de área colhida estima-se 9.073,7 mil hectares com um aumento de 419,5 mil hectares ou 4,8% que é resultado da cana bisada da safra de 2015/2016 e do aumento de área própria de algumas unidades de produção e reativação de uma unidade em São Paulo. Se confirmada será a maior área colhida no Brasil (CONAB, 2016). De acordo com a Novacana (2016) as usinas têm produção em torno de 71

kg de açúcar e 42 litros de etanol para cada tonelada de cana processada. Atualmente em nosso país o maior estado produtor é São Paulo com 52,3% do total produzido no Brasil e Pernambuco ocupa a sétima colocação com 2,9% da produção nacional, apresenta estimativa de produtividade média de 53,019 ton ha<sup>-1</sup> para safra 2016/2017 (CONAB, 2016).

Pernambuco situa-se na região equatorial do Brasil, e grande parte da produção de cana no estado encontra-se na zona da mata e litoral (Novacana, 2016). Campos et al. (2009) afirmam que, nos municípios da zona da mata litorâneos excluindo a região metropolitana do Recife, é a indústria da cana-de-açúcar a principal atividade econômica que apesar de ser uma atividade agropecuária é contabilizada no PIB como atividade industrial uma vez que as usinas de transformação localizam-se nos próprios municípios de plantio.

#### **4.1.2. Aspectos botânicos e morfológicos**

A cana-de-açúcar pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Cyperale, família Poaceae, tribo Andropogoneae, subtribo Saccharinae e gênero *Saccharum*, de acordo com a classificação botânica descrita por Cronquist (1981). A família Poaceae é conhecida como a família das gramíneas (Tzvelev, 1989).

Trata-se de uma planta de reprodução sexuada; quando cultivada comercialmente, porém, é multiplicada assexuadamente, por propagação vegetativa. É caracterizada pela inflorescência do tipo panícula, flor hermafrodita, caule em crescimento cilíndrico composto de nós e entrenós, folhas alternas, opostas, presas aos nós dos colmos, com lâminas de sílica em suas bordas, e bainha aberta (Jadoski et al., 2011).

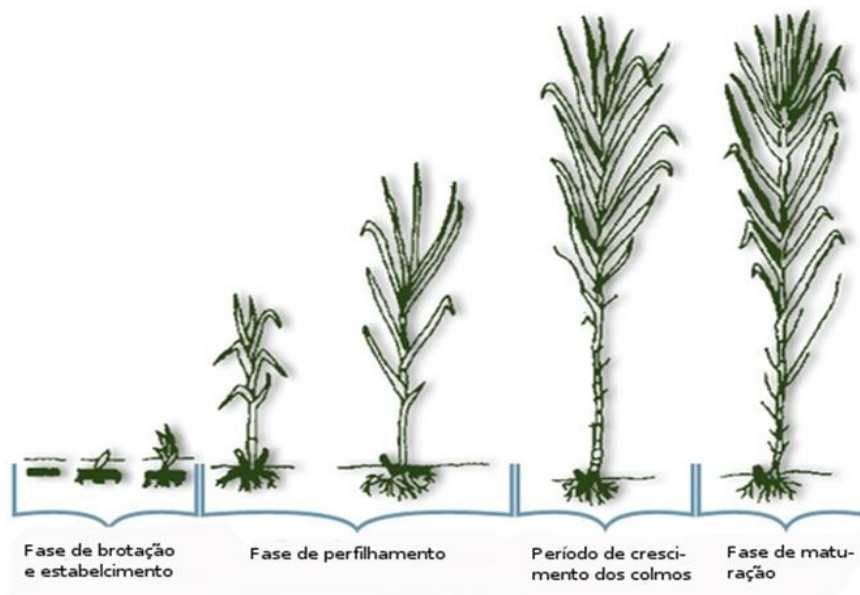
A cana-de-açúcar desenvolve-se em forma de touceira com parte aérea formada por colmos, folhas e inflorescência e parte subterrânea formada por raízes e rizomas (Cesnik e Miocque, 2004). Segundo os autores citado anteriormente, o colmo é constituído por nódios e internódios que é a parte que fica acima do solo, sustenta as folhas e a panícula. A folha é ligada ao colmo na região nodal, formando duas fileiras opostas e alternadas. De acordo com Scarpari e Beauclair (2008), as folhas da cana são completas, isto é, são compostas por bainha, colar e lâmina foliar. A lâmina foliar é alongada e relativamente plana, com comprimento que varia entre 0,5 e 1,5 m e largura variando de 2,5 a 10 cm, após estar totalmente expandida. Cesnik e Miocque (2004) afirmam que, a inflorescência é uma panícula aberta e a flor é hermafrodita, possuindo ovário, com um óvulo e três estames que sustentam as anteras com os grãos de pólen. O fruto, como na maioria das gramíneas, é uma cariopse de

forma elíptica alongada. As raízes são fasciculadas e os rizomas possuem nódios, internódios e gemas, responsáveis pelo aparecimento dos perfilhos, formados nas touceiras. Segundo Sampaio et al. (1995), as raízes podem atingir até 4 m de profundidade, embora cerca de 80% do sistema radicular se concentrem nos 20 cm superficiais do solo.

#### 4.1.3. Aspectos agrônômicos e fenológicos da cultura

A cana-de-açúcar é denominada cana planta até sua primeira colheita, tendo um período de crescimento em torno de 12 ou 18 meses, dependendo da época de plantio. Se for plantada de setembro a outubro geralmente é colhida com cerca de 12 meses, é denominada cana de ano. Se for plantada de janeiro a março ela cresce por volta de 18 meses e, portanto, é denominada de cana de ano e meio. Após a primeira colheita a cana sofre uma rebrota que é chamada de soca. As demais colheitas ocorrem anualmente por volta do mesmo período (mês), sendo chamadas de ressecas. As rebrotas da cana sofrem cerca de 4 a 5 cortes quando então a lavoura é renovada com uma cana de ano ou de ano e meio (Rudorff, 1995).

Segundo Bray (1980), a condição ambiental é um fator importante no estudo da cultura canavieira, uma vez que ela envolve os limites e as possibilidades do domínio desta atividade agrária. O espaço, onde está inserida a cultura, é que determina as alterações na fase da planta em função da ação do ambiente. De acordo com sua fenologia, as principais fases de desenvolvimento são: brotação, perfilhamento, crescimento e maturação conforme a Figura 1.



**Figura 1.** Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar

Fonte: Gascho e Shih (1983)

Segundo Diola e Santos (2010) nas fases: (1) brotação e estabelecimento – onde o crescimento é lento e leva de 20 a 30 dias para a ocorrência da brotação; (2) perfilhamento – tem início em torno de 40 dias após o plantio e pode durar até 120 dias; (3) crescimento dos colmos - começa a partir dos 120 após o plantio (ou corte) e dura por até 270 dias, em um cultivo de 12 meses, sendo o estágio mais importante do cultivo, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total e o estágio (4) maturação dos colmos - quando ocorrem reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos, tendo início de 270 a 360 dias após o plantio e podendo se prolongar por até 6 meses.

Segundo Quintela (1996) a qualidade no plantio da cana-de-açúcar pode influenciar em alguns aspectos agronômicos da cultura dentre os quais tem maior destaque a brotação e o perfilhamento. Para Carlin et al. (2004) uma boa brotação reflete em bom início, que trará a área cultivada plantas vigorosas, as quais resultarão, no final do ciclo, em colheita compensadora. Prado (1988) afirma que se uma boa brotação é uma base boa, o perfilhamento é o passo primordial, pois ele fornece o número de colmos apropriados para uma boa produção.

Para que seja realizado o plantio deve-se fazer um levantamento topográfico, dividindo-se a área em talhões (Rossetto e Santiago, 2015). Antes do plantio também é necessário fazer análise do solo, a fim de determinar a necessidade ou não de correção e adubação (Townsend, 2000). De acordo com Ripoli e Ripoli (2010) deve-se ainda: planejar a variedade que será cultivada, a época do plantio, a definição do espaçamento, no qual, pode variar de 0,9 m a 1,8 m, e em solos mais arenosos, recomendam-se espaçamentos reduzidos entre sulcos (0,9 m ou 1,2 m), visando diminuir a competição da cultura com as plantas daninhas, pois nestes espaçamentos a cana-de-açúcar cobre o solo mais rapidamente. Os mesmos autores afirmam que, em áreas onde a colheita será realizada com máquinas, aconselha-se utilizar espaçamentos de 1,5 m, para evitar pisoteio da soqueira pelas colhedoras. É importante também o planejamento da profundidade do sulco, no qual, o ideal é entre 20 e 30 cm, com a sobreposição de 5 a 8 cm de terra sobre o rebolo, no fundo do sulco.

## 4.2. Qualidade da água para irrigação

Além da água, não existe elemento mais essencial em relação aos outros, para a vida de um organismo (Soares, 2007). Ela é a substância mais abundante no planeta e representa um elo de ligação entre todos os ecossistemas.

A água é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento de qualquer espécie e cuja sua falta, caracteriza uma das principais restrições ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Lopes et al., 2011). Tendo em vista que as precipitações pluviométricas são irregulares no espaço e no tempo, a irrigação surgiu na agricultura para suprir essa desigualdade hídrica e aumentar a produção de alimentos.

As águas utilizadas para irrigação normalmente são de origem superficial ou subterrânea armazenadas, sendo que todas elas advêm de chuvas, que vão incorporando as substâncias que dissolve ou arrasta dos solos pelos quais, escorrem ou infiltram, além de receber os resíduos provenientes das atividades humanas, essas águas apresentam características muito diversas, dependendo de sua procedência e do grau de contaminação alcançado antes do uso (Almeida, 2010).

No entanto, as águas para irrigação devem ser em quantidade e qualidade adequada aos cultivos, embora, sua qualidade durante muito tempo tinha sido desprezada, porque no passado, as fontes eram abundantes e de fácil utilização (Ayers e Westcot, 1999). Porém, devido ao crescimento populacional, melhoria nas condições de vida e aumento na demanda pela produção de alimentos, o consumo hídrico tem aumentado.

Sabendo que a agricultura é o setor que mais deriva água para o uso consuntivo no mundo (cerca de 69% de toda água superficial derivada) (Paz et al., 2000; Brito e Andrade, 2010), tem-se a necessidade de utilizar-se fontes alternativas de água, muitas vezes caracterizadas como de qualidade inferior para atividade agrícola (Pescod, 1992; Rhoades et al., 2000; Gheyi et al., 2005), estas águas de acordo com Hespanhol (2002) geralmente são: os esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras.

Quando se fala em qualidade de água de irrigação certamente se trata de qualidade em relação com a salinidade no sentido amplo do termo. Nesse caso, a qualidade da água se define em função de três critérios básicos: salinidade, sodicidade e toxicidade (Almeida, 2010). De acordo com Holanda et al. (2010), o efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito relativo do

sódio da água de irrigação tendendo a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), com danos nas suas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração. A toxicidade, diz respeito ao efeito específico de certos íons como o sódio e o cloro sobre as plantas, que provocam desde a redução no desenvolvimento até a morte das culturas. Em algumas situações, o efeito iônico pode se manifestar na forma de desequilíbrio nutricional. Para Silva et al. (2011a) os principais sais dissolvidos na água de irrigação são os de sódio, cálcio e magnésio em forma de cloretos, sulfatos e bicarbonatos. Normalmente, o potássio e o carbonato estão presentes em proporções relativamente baixas.

Os problemas mais comuns, segundo os quais se avaliam os efeitos da qualidade da água relacionados à salinidade, são a velocidade de infiltração da água no solo e a toxicidade do íon sódio e dos micronutrientes cloro e boro (Bernardo et al., 2010).

As águas possuem diferentes concentrações e composições de sais dissolvidos, e de acordo com Wilcox (1948), alguns destes constituintes podem ser benéficos às plantas, outros em moderadas concentrações podem apresentar algum efeito desfavorável às culturas ou ao solo de forma a interferir no crescimento vegetal e provocar efeitos nocivos no ambiente. A medida que o teor total de sal aumenta, os problemas do solo e das culturas se agravam.

Estudos da água visando determinar sua qualidade para utilização na agricultura irrigada são muito antigos (Almeida, 2010). Entretanto, a definição favorável ou contrária à utilização de uma água para fins de irrigação depende, não somente das condições químicas que apresenta no momento que é analisada, como também, das características físico-químicas dos solos em que vão ser aplicadas, assim como da susceptibilidade e resistência dos cultivos que vão ser irrigados. Assim como também, a prática de manejo, para que os cultivos tenham rendimentos aceitáveis (Medeiros, 1992).

### **4.3. Balanço de sais no solo**

O fim de antigas civilizações ocorreram em parte devido a perdas nas colheitas provocadas pela acumulação de sais nos solos agrícolas (Jacobsen and Adams, 1958; Letey, 2000; Zhou et al., 2012; Zhao et al., 2013). Problemas de salinidade e sodicidade no solo são bastante antigos, Brady e Weil (2008) reportam que há mais de 2100 anos os sais foram usados como instrumento de guerra pelos Romanos, que, após a vitória sobre os Cartagineses, incorporaram cloreto de sódio nos solos dos arredores da destruída cidade de Cartago, com o intuito de torná-los improdutivos e impedir o ressurgimento da cidade.

Altas concentrações de sais solúveis e o íon sódio representam uma grande ameaça para a agricultura, pois, segundo Lima (1998), a acumulação de sais na rizosfera prejudica o crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando um decréscimo de produtividade e, em casos mais severos, pode levar a um colapso da produção agrícola. Isto ocorre em razão da diminuição do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo. Devido a estes problemas, Lima Júnior e Silva (2010) afirmam que, a estimativa da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) é de que aproximadamente 50% dos 250 milhões de hectares irrigados no mundo já apresentam problemas de salinização do solo e que 10 milhões de hectares são abandonados anualmente em virtude dessas dificuldades.

Com o acelerado crescimento populacional mundial e a busca por melhor qualidade de vida das populações, surge, a cada dia, a necessidade de maior produção de alimentos. Com isso, expandiram-se as áreas agricultáveis em todo o mundo, impulsionando, então, o uso da irrigação, não só como complemento das necessidades hídricas das regiões úmidas, mas também como opção de tornar produtivas as regiões áridas e semiáridas do planeta (Lopes et al., 2008). Segundo Medeiros e Gheyi (2001), a irrigação é apontada como a principal causa da salinização das áreas afetadas, normalmente a salinidade em áreas irrigadas é consequência do uso de água de qualidade inadequada, associado ao manejo do sistema solo-água-plantas.

A utilização da irrigação, normalmente acarreta a incorporação de sais ao perfil do solo, por conter na água, sais solúveis e, devido ao seu uso continuado e ausência de lixiviação, o sal se deposita na zona do sistema radicular e na superfície do solo, decorrente da evaporação da água. Armas et al., (2010) afirmam que, a salinização do solo aumenta quando a quantidade de sais, nele acumulada pela água de irrigação, é maior que a quantidade removida pela água de drenagem.

Para se ter conhecimento da quantidade de sais que entra e que sai de uma determinada área, é necessário que seja feito o balanço no local. Silva et al., (2008) afirmam que quando o balanço de sais revela maior entrada que saída, o problema da salinidade em áreas irrigadas se agrava, pois, além de contribuir para o aumento da concentração salina pode, também, provocar a elevação do lençol freático que, através de ascensão capilar, passa a fornecer água e sais à zona radicular.

Quando a acumulação de sais é excessiva, os mesmos podem ser lixiviados, aplicando-se uma quantidade a mais de água que a necessidade das culturas. Esta quantidade extra percola abaixo da zona radicular, removendo pelo menos uma parte dos sais acumulados.

A adição de água para lixiviar os sais para que os cátions e ânions sejam levados a maior profundidade em relação à rizosfera, depende da concentração desses cátions e ânions na água de irrigação; do solo e da água subterrânea; da tolerância das culturas a serem exploradas; das condições climáticas e do manejo do solo e da água (Hoffman, 1981).

Para se estimar a necessidade de lixiviação (NL) ou exigência de lixiviação (EL) necessita-se conhecer tanto a salinidade da água de irrigação como a salinidade tolerada pela cultura e solo (Richards, 1954; Barros et al., 2005). Lima Júnior e Silva (2010) afirmam que, nos cálculos das necessidades de lixiviação, deve-se levar em conta as chuvas. A água da chuva que se infiltra e se armazena na zona radicular (chuva efetiva) satisfaz total ou parcialmente a demanda da evapotranspiração; por outro lado, a água de chuva que atravessa a zona radicular e percola até as maiores profundidades, pode satisfazer o total ou parte das necessidades de lixiviação.

De acordo com Rhoads (1974) a necessidade de lixiviação pode ser estimada por meio de um balanço de sais. Medeiros e Gheyi (1997), citam que quando o processo de salinização atinge o equilíbrio a relação entre a lâmina percolada e a água total aplicada é igual a relação entre a concentração de sais da água aplicada e drenada, correspondendo à fração de lixiviação (FL).

Avaliando o acúmulo de sais no perfil do solo em função da fração de lixiviação e utilizando água para irrigação com CE de  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$  Assis Júnior et al. (2007) observaram que nos tratamentos com frações de lixiviação de 0,14 e 0,28, ocorreu distribuição mais uniforme dos sais no perfil do solo, enquanto no tratamento sem fração de lixiviação ocorreu maior acúmulo de sais e de sódio nas camadas superiores. Santos et al. (2015), estudando a influência do balanço de sais no solo com cinco frações de lixiviação sendo 17, 20, 25, 35 e 42% da lâmina de irrigação com água de CE de  $1,4 \text{ dS m}^{-1}$ , num solo com CEes de  $4,6 \text{ dS m}^{-1}$  cultivado com mamão, verificaram que aos 120 dias a maior FL apresentou uma CEes do solo com  $4,72 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a FL de 17% proporcionou uma CEes do solo de  $7,18 \text{ dS m}^{-1}$ .

A lixiviação deve ser tal que mantenha a concentração de sais abaixo do teor suportado pelas plantas e pode ser feita a cada irrigação, com irrigações intercaladas, ou, em cada estação, ou ainda, com intervalos maiores (Ayers e Westcot, 1991).

Sendo o movimento de sais dependente do movimento de água no solo Lima et al. (2010) afirmam que, uma abordagem simples para a dinâmica de sais na zona radicular consiste em vincular o balanço de sais ao balanço hídrico. Richards (1954) já afirmava que, os sais se movem com a água, então, a salinidade dependerá diretamente do manejo da água, ou



seja, da irrigação, lixiviação e drenagem. Para se obter a máxima eficiência deve-se considerar estes três aspectos conjuntamente. A necessidade que é a água adicional empregada para lixiviação dos sais, depende da concentração de sais na água e a máxima concentração permissível na solução do solo.

De acordo com Ferreira et al. (2002) mantendo o balanço de sais na zona radicular, pode-se ter um controle sobre o aumento ou redução da concentração salina no solo. Quando as plantas extraem água, a maioria dos sais permanece no solo, aumentando a concentração da solução do solo, e conseqüentemente afetando o desenvolvimento da cultura.

#### **4.4. Tolerância das plantas a salinidade**

A salinidade é um dos principais fatores ambientais limitantes ao crescimento e produtividade das culturas (LV et al., 2008), uma vez que as altas concentrações de sais no solo, além de reduzir o seu potencial hídrico, podem provocar efeitos tóxicos nas plantas, causando distúrbios funcionais e injúrias no metabolismo (Silva et al., 2009).

A tolerância ao sal é um componente protoplasmático da resistência ao estresse salino. Nessa tolerância, está envolvido o grau em que o protoplasma (dependendo da espécie vegetal, do tecido e do vigor) pode tolerar um distúrbio no balanço iônico associado ao estresse salino, bem como sua capacidade de tolerar a toxicidade e os efeitos osmóticos do aumento da concentração de íons (Larcher, 2000).

De acordo com Azevedo Neto (2005), os mecanismos de tolerância à são extremamente complexo, podendo envolver alterações morfológicas e de desenvolvimento, bem como processos fisiológicos e bioquímicos.

Munns et al. (2006) corrobora com Medeiros (1998) afirmando que, em ambientes salinos, devido à diminuição do potencial osmótico, juntamente com o potencial mátrico, as raízes das plantas tem que vencer as resistências de absorção de água no solo; e o aumento da pressão osmótica pode atingir um nível tal, em que as plantas não terão forças de sucção suficiente para superar esse potencial e, conseqüentemente, não conseguirão absorver água, mesmo em um solo aparentemente úmido. Dependendo do grau de salinidade, a planta, em vez de absorver, poderá até perder a água que se encontra no seu interior (Dias e Blanco, 2010).

Shannon e Francois (1978) afirmam que a salinidade pode afetar o comportamento das plantas de forma diferente, em função do seu estágio de desenvolvimento. Para Maas e

Hoffman (1977) a salinidade afeta as plantas em todos os estádios, sendo que em algumas culturas mais sensíveis isto pode variar dos primeiros estádios para os últimos.

Segundo Dias e Blanco (2010), a salinidade do solo reduz a disponibilidade da água no solo; no entanto, nem todas as culturas são igualmente afetadas pelo mesmo nível de salinidade, pois algumas são mais tolerantes que outras e podem extrair água com mais facilidade. De acordo com os mesmos autores as plantas são classificadas em glicófitas e halófitas. As glicófitas representam o grupo das plantas cultivadas e, na sua maioria, são as menos tolerantes à ação dos sais, enquanto as halófitas compõem o grupo de plantas que adquirem condições fisiológicas; portanto, ajustam-se osmoticamente e sobrevivem em meio altamente salino. Gheyi et al. (1991) afirmam que esta capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção das culturas mais tolerantes, capaz de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo abaixo do nível de tolerância das plantas tradicionalmente cultivadas.

Segundo Ayers e Westcot (1999) cada cultura, em função do mecanismo fisiológico, tolera certa salinidade a partir da qual o seu rendimento começa a decrescer, a isto é denominado de salinidade limiar (SL). Quando este limite é ultrapassado o excesso de sais modifica as atividades das células e pode acarretar numa série de consequências manifestando-se por severas reduções do crescimento e distúrbio na permeabilidade da membrana, atividade de troca hídrica, condutância estomática, fotossíntese e equilíbrio iônico (Shannon e Grieve, 1999; Navarro et al., 2003; Cabanero et al., 2004). Bresler et al. (1982) afirmam que, plantas afetadas pela salinidade apresentam desenvolvimento lento e as folhas podem apresentar também clorose, necrose e uma redução no desenvolvimento dos frutos.

Os níveis de redução de produção em algumas culturas podem ser observados na Tabela 1, sendo estes valores mostrados em função da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes).

**Tabela 1.** Tolerância das plantas a salinidade

Cultura	Tolerância		Cultura	Tolerância	
	A <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>		A <sup>1</sup>	B <sup>2</sup>
<b>Extensivas</b>					
Algodoeiro	7,7	5,2	T	Cevada	8,0 5,0 T
Amendoim	3,2	29,4	MS	Feijão fava	1,5 9,5 MS
Arroz	3,3	13	MS	Milho	1,7 12,0 MS
Cana-de-açúcar	1,7	5,8	MS	Soja	5,0 20,0 MT
<b>Hortaliças</b>					
Abobrinha	3,2	16,1	MS	Alface	1,3 13,0 MS
Beterraba	4,0	9,1	MT	Cebola	1,2 16,1 S
Tomateiro	2,5	9,5	MS	Espinafre	0,9 7,6 MS
Pepino	2,5	13,0	MS	Repolho	1,8 9,8 MS
Batata Doce	1,5	10,5	MS	Pimentão	1,5 14,1 MS
<b>Fruteiras</b>					
Pessegueiro	1,7	21,0	S	Tamareira	4,0 3,6 T
Videira	1,5	9,5	MS	Laranjeira	1,7 15,9 S
Amoreira	1,5	22,0	S	Morangueiro	1,0 33,0 S
<b>Forrageiras</b>					
Capim Bermuda	6,9	6,4	T	Cevada Forrageira	6,0 7,1 MT
Capim Mimoso	2,0	8,4	MS	Alfafa	2,0 7,3 MS

Fonte: Maas e Hofmam (1977); Maas (1984); Lima (1997)

<sup>1</sup>A – Salinidade limiar (dS m<sup>-1</sup>);

<sup>2</sup>B – Redução da produtividade relativa (%) por aumento da salinidade acima da salinidade limiar;

<sup>3</sup>Tolerância: S - sensível, MS – moderadamente sensível, MT – moderadamente tolerante e T – tolerante.

Como se pode observar na Tabela 1 a cultura da cana-de-açúcar apresenta salinidade limiar de 1,7 dS m<sup>-1</sup> e é classificada como moderadamente sensível a salinidade, porém de acordo com Fuller (1967) a tolerância de qualquer cultura varia não só com a concentração salina, mas, também, com praticas de manejo, clima e natureza e proporções relativas dos diversos íons na solução do solo.

#### 4.5. A salinidade e a nutrição de plantas

As plantas são organismos autotróficos que vivem entre dois ambientes inteiramente inorgânico, retirando CO<sub>2</sub> da atmosfera e água e nutrientes minerais do solo (Marschner, 1995).

Os nutrientes essenciais são absorvidos pelas plantas em quantidades específicas, necessárias para o seu desenvolvimento e podem ser divididos de acordo com a concentração relativa nos tecidos da planta em micro e macronutrientes. Os macronutrientes nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e enxofre (S), fazem parte de moléculas essenciais, são necessários em grandes quantidades e tem função estrutural. Os micronutrientes Boro (B), Cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibidênio

(Mo), e zinco (Zn), tem função reguladora, sendo necessários em quantidades menores. Esta divisão não significa que um nutriente seja mais importante do que outro, apenas que eles são necessários em quantidades e concentrações diferentes (Malavolta, 2006).

Em virtude da condição de salinização do solo, podem ocorrer desordens nutricionais, induzindo relações antagônicas entre nutrientes na planta, o que reduz significativamente os rendimentos das culturas (Grattans e Grieve, 1993). Santos et al. (2010) discutem que as propriedades químicas e físicas dos solos salinizados restringem a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Para sua absorção, os nutrientes tornam-se disponíveis para as plantas quando estão na forma solúvel e com balanço iônico adequado na solução do solo (Marfá, 1987).

De acordo com Taiz e Zeiger (2009), os efeitos do sal nas plantas podem causar problemas de natureza osmótica, restringindo a absorção de água e de nutrientes; de toxicidade, com acúmulo de íons específicos ou por distúrbios na nutrição das plantas, refletindo diretamente no metabolismo e no desenvolvimento das culturas.

A salinidade pode ser definida como a situação de excesso de sais solúveis, sódio trocável ou ambos em horizontes ou camada superficiais, afetando o desenvolvimento vegetal (Ribeiro et al., 2009).

O aumento da concentração de NaCl na água de irrigação, ao elevar os teores Cl no caule e de Na nas diferentes partes da planta, inibe a absorção de nutrientes ocasionando redução nos teores de N, K e Mg nas raízes das plantas (Costa et al., 2008). De acordo com Schossler et al. (2012) incrementos na concentração de NaCl na solução do solo prejudicam a absorção radicular de nutrientes, principalmente de K e Ca, e interferem nas suas funções fisiológicas. Ferreira et al. (2001), afirmam que uma das respostas da planta à aplicação de NaCl é o aumento nas concentrações de Na e Cl e, conseqüentemente, redução nos níveis de K e Ca nos diversos órgãos da planta.

Um agravante do estresse salino causado por NaCl, portanto, é a competição de Na pelos mesmos sítios de absorção de nutrientes na membrana plasmática e o K é o nutriente mais prejudicado neste processo por ambos serem cátions monovalentes (Deinlein et al., 2014), e os sítios são ativos das enzimas e ribossomos (Shabala e Pottosin, 2014). O K é ativador de mais de 50 enzimas do metabolismo vegetal e não pode ser substituído pelo sódio nesta função, de modo que uma alta concentração de Na ou uma alta relação Na/K acarretará na interrupção de processos metabólicos essenciais. Chiconato (2016) analisando duas variedades de cana SP 81-3250 e IAC 87-3396 com experimento em vaso em casa-de-

vegetação aplicando irrigação aos 30 dias após o plantio (DAP) com águas salinizadas com NaCl (0, 4, 8 e 16 dS m<sup>-1</sup>) e avaliando os teores de sódio, potássio e a relação Na/K aos 45 e 60 dias após o plantio (DAP) verificou que aos 45 DAP, ambas cultivares apresentaram maiores absorção de sódio na folha +3 e raízes, conforme maior concentração de NaCl. Aos 60 DAP, a cv. SP 81-3250 apresentou incremento de sódio sob salinidade somente nas raízes, demonstrando inibição do transporte deste elemento para a parte aérea. De acordo com Munns (2011), as plantas apresentam alguns mecanismos fisiológicos quando submetidas à salinidade. Entre estes mecanismos está a capacidade de excluir ou compartimentalizar os íons tóxicos nos vacúolos, de forma a inibir os efeitos negativos da salinidade nos tecidos vegetais. Ainda no estudo citado acima apenas a cv. IAC 87-3396 apresentou acentuada relação Na/K tanto nas folhas quanto nas raízes aos 60 DAP.

Gandonou et al. (2011) ao estudarem o efeito do estresse salino em duas cultivares de cana-de-açúcar no Marrocos CP66-346 (tolerante ao sal) e CP65-357 (sensível ao sal) irrigando por duas semanas as plantas com águas preparadas com NaCl e condutividade elétrica da água (CEa) de: 0,9; 2,8; 4,2 e 6,6 dS m<sup>-1</sup>, observaram que os níveis de Na, Cl nas folhas e raízes de ambas cultivares apresentaram um aumento desses elementos com o aumento da CEa e uma diminuição do K. Foi observado que a maior concentração de sódio e cloro ocorreu em folhas da cultivar mais tolerante, juntamente com menor redução do potássio.

O Cl é considerado um micronutriente, porém muito difícil de haver deficiência do mesmo (Engvild, 1986). Embora a necessidade da planta em Cl seja maior que os demais micronutrientes podem ocorrer toxidez nas plantas em determinadas situações, principalmente devido ao meio em que as plantas são cultivadas (Bezerra Neto e Barreto, 2011). De acordo com Marschner (1995), elevadas concentrações de Cl na solução do solo podem diminuir a absorção de N pelas plantas devido ao efeito antagônico existente entre ambos, podendo influenciar no perfilhamento da cana-de-açúcar, já que o N é bastante requerido pela cultura na fase de perfilhamento. Bar-tal et al. (1991) em pesquisa realizada com milho, afirmaram que o teor de N nas plantas foi afetado pela salinidade na absorção e no transporte de nitrato que é limitado em condições de salinidade devido ao efeito antagônico existente entre estes elementos nitrato e Cl. Kafkafi (1984) afirma que nitrogênio amoniacal reduz os teores de Ca e Mg na planta, diminuindo a permeabilidade seletiva na membrana radicular e proporcionando aumento na absorção de cloreto, quando o mesmo se encontra em concentração elevada no meio. Em cultivo de melão, Feigin et al. (1982) encontraram um

efeito antagônico claro entre os íons cloreto e nitrato, de tal forma que um aumento da concentração do íon cloreto na solução nutritiva conduzia a uma diminuição do conteúdo de nitrato nos tecidos das plantas.

De maneira geral, Lauchli e Epstein (1990) afirmam que os elementos Na e Cl, podem provocar desequilíbrio nutricional nas plantas, sendo freqüente a deficiência dos nutrientes como K, Ca, Mg, P e N.

Dias e Blanco (2010) afirmam que, o excesso de Na trocável no solo provoca condições físicas desfavoráveis para o crescimento das plantas, sobretudo para o desenvolvimento do sistema radicular. A presença de sais de sódio também tende a restringir a taxa de mineralização do nitrogênio (N) já que, com o aumento de sua concentração no solo, em geral a mineralização do N orgânico é reduzida, afetando o crescimento da planta, pela redução do N disponível e não pelo excesso de sódio.

Quando a concentração de Na eleva-se no citosol ocorrem alterações na absorção e no metabolismo do Ca. O Na substitui o Ca das membranas celulares afetando a permeabilidade das mesmas (Rengel, 1992). Nas paredes celulares, provavelmente, ocorre este mesmo tipo de substituição (Orcutt e Nilsen, 2000) o que resulta na redução de sua elasticidade (Neumann et al., 1994). Ferreira et al. (2001), verificaram reduções nos teores de Ca em folhas e caules de goiabeira em função da aplicação de níveis crescentes de NaCl. De acordo com Epstein e Bloom (2006), o cálcio é essencial para a integridade da membrana plasmática das células vegetais, e sua deficiência pode levar a perda da integridade da membrana, afetando desta forma a absorção de íons, principalmente o K. Segundo Malavolta (1997) o Ca em baixas concentrações favorece a absorção do K, porém, o mesmo autor afirma que em altas concentrações o Ca inibe a absorção do K.

Dias e Blanco (2010) afirmam que, quando no extrato de saturação há teores apreciáveis de carbonato de sódio, o pH do solo poderá alcançar valores elevados e haver a diminuição na disponibilidade de zinco, cobre, manganês, ferro e boro, podendo ocorrer deficiência nas plantas cultivadas nessas condições, principalmente se em pequenas quantidades. Neves et al. (2004), trabalhando com os efeitos da salinidade em solução nutritiva em mudas de umbuzeiro, concluíram que o aumento nas concentrações de NaCl na solução, resultou em aumento da translocação de P, K, Mg, S, B, Zn, Cl, e Na, e diminuiu as de Cu e Mn e houve alterações pouco significativas de N, Ca e Fe.

Em estudo com a cultura do milho Garcia et al. (2007) analisaram os efeitos da salinidade progressiva do solo sobre os teores dos macronutrientes catiônicos e suas relações

com o sódio, em experimento em lisímetros de drenagem sob condições de casa de vegetação, aplicando irrigação com água doce e sem lixiviação e irrigação com água salina de  $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ , com frações de lixiviação de 40, 30, 20, 15, 10 e 5% da evapotranspiração, observou que com o aumento progressivo da salinidade do solo decorrente do manejo da irrigação com água salina elevou os teores de sódio, as relações Na/Ca, Na/Mg, Na/K e reduziu os teores de Ca, Mg e K.

Com finalidade de avaliar os efeitos da irrigação com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio, sobre a acumulação de NPK e sódio na parte aérea da mamoneira, Nobre et al. (2013) realizaram experimento em lisímetros com cinco níveis de condutividade elétrica da água, variando de  $0,4$  a  $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ , associados a cinco doses de nitrogênio (50 a 150% da recomendada). Os autores observaram que houve efeito significativo do fator salinidade da água de irrigação sobre os teores foliares de N, K e Na, todos aumentaram seu teor com o aumento da condutividade elétrica. Por outro lado, o aumento da condutividade elétrica não produziu efeito sobre o teor de P na folha.

O grau com que cada um dos componentes do estresse salino influencia a nutrição mineral das plantas é dependente de muitos fatores, dentre eles a cultivar, a intensidade e duração do estresse salino, o teor de água no solo e o estágio de desenvolvimento da planta (Cramer et al. 1994).

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Caracterização da região onde a área experimental foi instalada**

O experimento foi conduzido em lisímetros de drenagem, na Estação de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura, localizada no Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Campus Recife, a  $8^{\circ} 01' 05''$  de latitude Sul e  $34^{\circ} 56' 48''$  de longitude Oeste, e altitude de 6,5 m de acordo com o sistema SAD 69 (South American Datum).

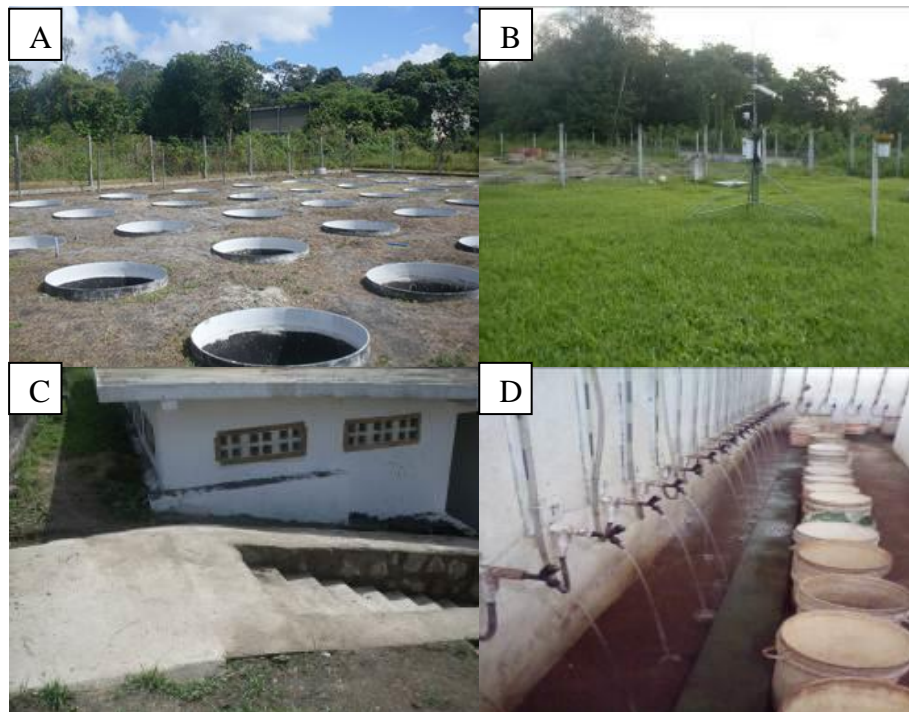
O clima da região segundo Köppen é classificado como tropical chuvoso (tipo As' a Ams') com temperatura média anual de  $27^{\circ}\text{C}$  e precipitação anual acima de 1700 mm (Silva et al., 2012b), sendo que a concentração de chuvas ocorre entre o outono e o inverno entre os meses de abril e julho, com sua média pluviométrica mensal no valor de 248,2 mm. A

evapotranspiração média estimada para a região está entre  $1.000 \text{ mm ano}^{-1}$  e  $1.600 \text{ mm ano}^{-1}$  (Barros, 2011).

## 5.2. Caracterização das unidades experimentais

A área experimental é composta por 40 lisímetros de drenagem (Figura 2A), com capacidade de 1.000 L cada, diâmetro externo na borda superior 1,38 m e altura externa de 0,745 m. Os lisímetros foram instalados de forma equidistantes a 1,20 m, nas duas direções, e assentados a 0,65 m de profundidade, deixando-se uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo para evitar a entrada de água de chuva ou irrigação, proveniente do escoamento superficial (Albuquerque Filho et al., 2009).

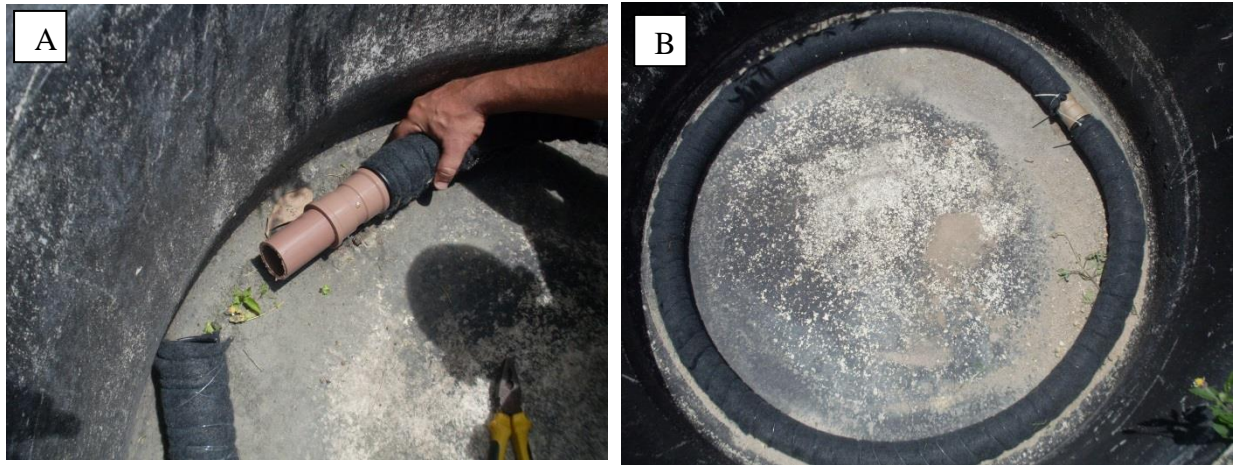
Em área anexa a estação lisimétrica de drenagem há uma estação meteorológica climatológica automática (Campbell Scientific modelo CR1000/CFM100/OS100) (Figura 2B), a qual, foi utilizada para obtenção de dados climáticos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) diária. Além da estação meteorológica, também há uma casa de coleta do material drenado (Figura 2C e 2D).



**Figura 2.** Vista geral dos lisímetros (A); estação meteorológica automática (B); casa de coleta do material drenado (C, D)



O sistema de drenagem interno dos lisímetros foi composto por tubo corrugado de polietileno de alta densidade (PEAD) com 50 mm de diâmetro. O tubo corrugado antes de ser conectado ao sistema de drenagem foi revestido com manta geotêxtil de maneira a servir como filtro, não permitindo assim, a passagem de partículas de solo para dentro do sistema o que poderia causar entupimentos na tubulação. O tubo foi conectado ao sistema com o auxílio de um Tê de redução de 50 x 25 mm (Figura 3A), visto que o sistema de drenagem externo ao lisímetro é composto por tubulação de 25 mm que leva o material drenado até a casa de coleta. Na (Figura 3B) pode-se verificar o tubo corrugado ao longo da circunferência do lisímetro.



**Figura 3.** Tê de redução para conectar o sistema de drenagem interno ao externo (A); Sistema de drenagem interno do lisímetro

Na casa de coleta instalou-se piezômetros correspondentes para cada lisímetro, composto por mangueira plástica transparente e fita métrica para verificação do nível da água nos respectivos lisímetros. Após a instalação de todo sistema de drenagem e montagem dos piezômetros realizou-se um teste para se verificar algum vazamento, sendo, cada lisímetro preenchido com água e realizada a marcação do nível no piezômetro. Este, permaneceu por 24h sendo verificado se havia algum rebaixamento do nível da água marcado no dia anterior.

Para preenchimento interno dos lisímetros foi colocada uma camada de 7cm de brita 19 mm em cada caixa, correspondendo a um volume de 0,2 m<sup>3</sup> por lisímetro a fim de encobrir o dreno e facilitar a drenagem. Após o preenchimento com brita colocou-se sobre a mesma, manta geotêxtil de maneira que, assim como nos drenos internos, a mesma servisse como filtro evitando a passagem de partículas de solo para a camada inferior. Após a colocação da

manta geotêxtil os sistemas foram preenchidos com 1070 kg de solo seco, sendo o solo antes de ser colocado dentro do lisímetro, medido sua umidade atual pela técnica do forno micro-ondas, pesado e compactado medindo-se a quantidade de solo colocado a cada 10 cm.

### 5.3. Características do solo

#### 5.3.1. Caracterização físico-química

O solo utilizado dentro dos lisímetros foi proveniente do Município de Goiana/PE, localizado a 7° 33' 38'' de latitude Sul e 35° 00' 09'' de longitude Oeste, e altitude de 13 m.

Utilizou-se um espodossolo segundo a classificação proposta pelo Sistema Brasileiro de classificação de solos (Santos et al., 2013), que são solos no qual, apresentam uma nítida diferenciação de horizontes, e possuem textura predominantemente arenosa e são desenvolvidos principalmente de materiais arenoquartzosos. Coletou-se com retroescavadeira a camada correspondente à profundidade de 0 - 0,40 m, com o intuito de se utilizar apenas um horizonte do espodossolo. As características físico-químicas são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características físico-químicas do solo dos lisímetros

Característica química	Valor	Característica Física	Valor
pH (H <sub>2</sub> O)	5,0	Areia (%)	94
MO (g kg <sup>-1</sup> )	20,39	Silte (%)	0
P (mg dm <sup>-3</sup> )	5,0	Argila (%)	6
K <sup>+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,02	Classe textural	Areia
Ca <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,30	ADA (%)	0
Mg <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,40	GF	100
Na <sup>+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,11	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,80
SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,83	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,63
Al <sup>3+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,75	AD (%)	1,68
CTC <sub>Efetiva</sub> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,58	Umidade: 0,33 atm (%)	3,02
		Umidade: 15 atm (%)	1,34

MO-Matéria orgânica; SB-Soma de bases (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>); CTC<sub>Efetiva</sub>-(SB + Al<sup>3+</sup>); ADA-Argila dispersa em água; GF-Grau de flocculação; Ds-Densidade do solo; Dp-Densidade de partícula; AD-Água disponível.

O pH encontrado no solo apresenta acidez elevada, teor de matéria orgânica médio, P, K e Ca em quantidades muito baixas, Mg com baixa concentração e Al em quantidade média

(Ribeiro et al., 1999). Diante destes resultados realizou-se a correção do pH e adubação mineral.

### **5.3.2. Correção do pH**

Cerca de 60 dias antes do plantio foi realizada uma calagem para corrigir a acidez do solo, sendo utilizado calcário dolomítico conforme as recomendações do Instituto de Pesquisa Agronômica - IPA (2008), obedecendo à indicação de duas toneladas por hectares.

### **5.3.3. Adubação Mineral**

Realizou-se adubação mineral com N, P, K, sendo aplicado na adubação de fundação 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O respectivamente, na forma de Ureia (U), cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (SFS). Aos 45 dias após o plantio (DAP), realizou-se a adubação de cobertura aplicando-se 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e aos 104 DAP realizou-se mais uma adubação com 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O dentro de cada lisímetro por meio de incorporação manual utilizando-se respectivamente, a U e o KCl como fonte dos nutrientes. Nas linhas de bordadura realizou-se adubação nas mesmas datas sendo também realizadas através da incorporação manual.

### **5.4. Condução da cultura**

O plantio da cana foi realizado no dia 02 de agosto de 2014, no qual, abriu-se sulcos com cerca de 15 cm de profundidade para que fossem depositados os rebolos de cana-de-açúcar. Os rebolos utilizados foram provenientes da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC-UFRPE), no qual, utilizou-se a variedade RB 867515. Em cada lisímetro foram colocados seis rebolos em linha com duas gemas cada. Também realizou-se o plantio nas entrelinhas dos lisímetros formando bordaduras, sendo colocados rebolos com o mesmo espaçamento entre plantas, e o espaçamento entre linhas foi de 1,20 m.

Após o plantio, foram adotados os tratos culturais necessários ao bom desenvolvimento da cultura, como capinas, controle de pragas e doenças.

## **5.5. Delineamento experimental e tratamentos**

Os tratamentos consistiram da utilização de cinco águas com diferentes e crescentes condutividades elétricas, a saber: 0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m<sup>-1</sup> na irrigação correspondendo a: T1, T2, T3, T4 e T5, e duas frações de lixiviação (0 e 0,17), denominados de L1 e L2 respectivamente, ou seja, L1 correspondendo a uma lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura e L2 a uma lâmina de 120% da evapotranspiração da cultura. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais.

Os tratamentos foram aplicados a partir dos 60 dias após o plantio (DAP), visto que na fase inicial a planta é mais sensível a salinidade.

## **5.6. Sistema de irrigação e manejo adotado**

### **5.6.1. Preparo da água de irrigação**

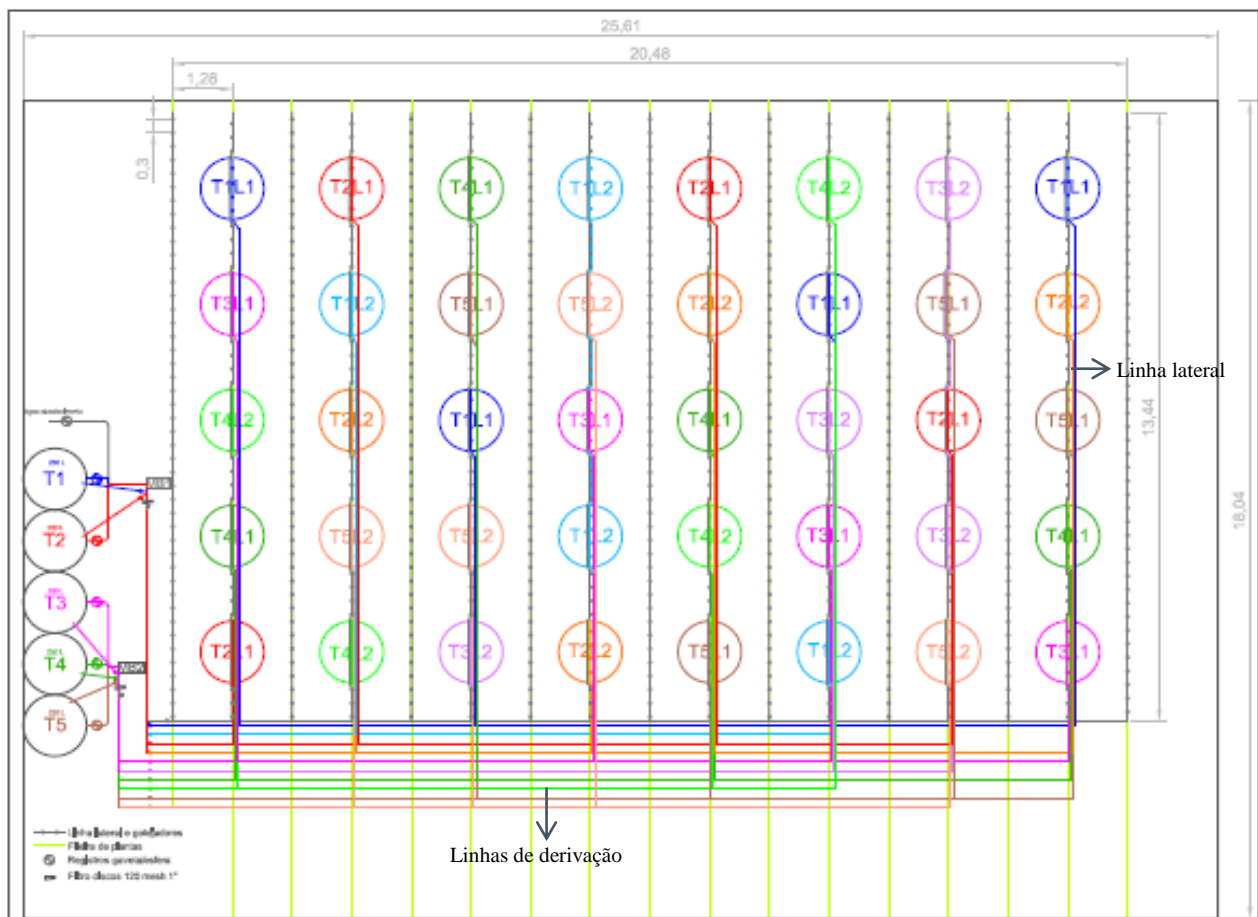
As águas utilizadas na irrigação nos lisímetros foram preparadas e armazenadas em caixas d'água de 500 litros, sendo, uma caixa para cada nível salino. Cada um dos níveis de salinidade da água foi obtido por meio de adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> na proporção de 1:1 molar Ca/Na na água de abastecimento local da UFRPE que apresenta uma condutividade elétrica (CEa) em torno de 0,5 dS m<sup>-1</sup>. Para o tratamento testemunha (T1) utilizou-se apenas a água de abastecimento local sem a adição de sais. O monitoramento da CEa ocorreu a partir de um condutivímetro portátil utilizado no momento do preparo da solução irrigante.

### **5.6.2. Sistema de irrigação adotado**

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento. Para cada solução irrigante haviam duas frações de lixiviação L1 e L2 (0 e 0,17), e já que eram cinco níveis de salinidade, necessitou-se de 10 linhas de derivação. Para distribuição das soluções irrigantes utilizou-se, duas bombas de 0,5 CV que, acopladas aos reservatórios, faziam a coleta e impulsionavam a água para as linhas de derivação, neste processo utilizou-se tubulação de PVC de 25 mm com pressão de serviço de 14 mca.

Cada linha de derivação foi composta por uma tubulação de polietileno de 32 mm, no qual, foram colocados adaptadores de início de linha que receberam as linhas laterais para irrigação nos lisímetros. As linhas laterais eram compostas por tubo de polietileno de 16 mm.

Em cada linha lateral foram inseridos gotejadores espaçados a 0,30 m, contendo em cada lisímetro quatro emissores autocompensantes, tipo PCJ/CNL da NETAFIM. A vazão unitária do emissor especificada pelo fabricante era de  $4 \text{ L h}^{-1}$  sendo a vazão média aferida em campo de  $4,2 \text{ L h}^{-1}$  com pressão de serviço no final da linha de 10 mca, sendo este gotejador escolhido, devido a formação do bulbo no espaçamento citado anteriormente, atender toda a extensão do lisímetro. A eficiência de aplicação da irrigação média foi de 0,9 com uma taxa de intensidade de aplicação do sistema de  $11,56 \text{ mm h}^{-1}$  em cada lisímetro. Através da (Figura 4) pode-se verificar de maneira geral um layout do sistema de irrigação utilizado.



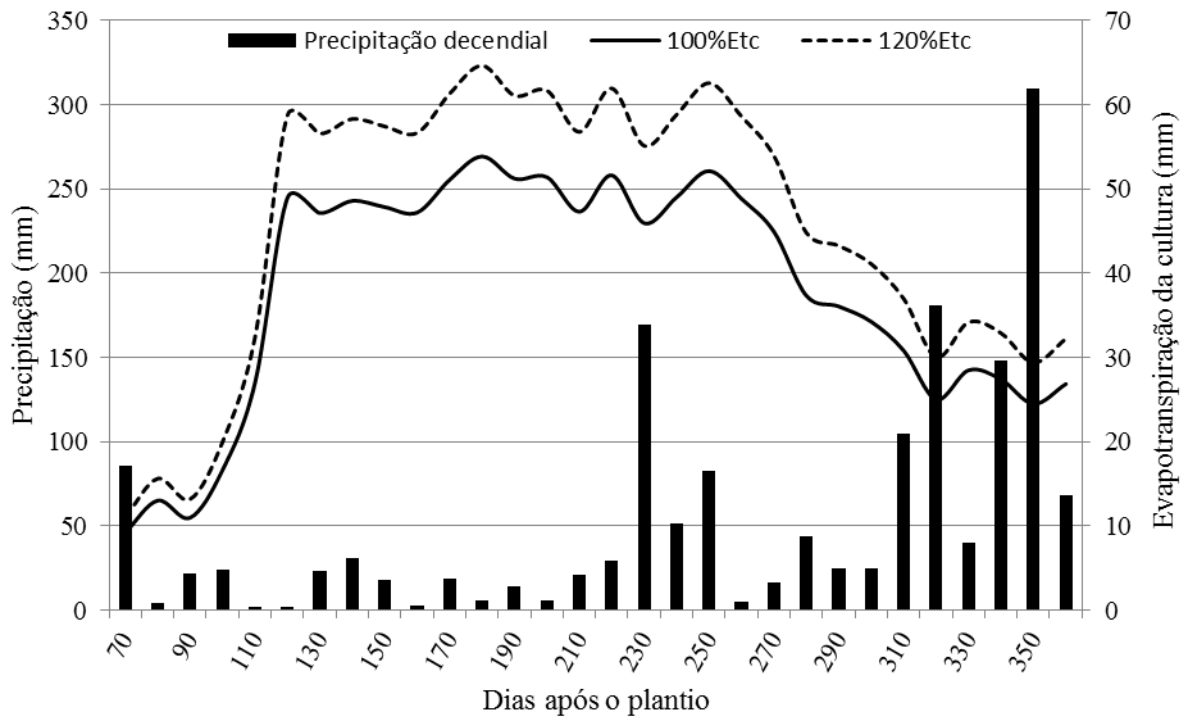
**Figura 4.** Layout do sistema de irrigação utilizado

### **5.6.3. Análise de uniformidade do sistema**

Após a montagem do sistema de irrigação realizou-se o teste de uniformidade de vazão do sistema segundo a metodologia proposta por Keller e Karmelli (1974), no qual, mediu-se a vazão em 16 gotejadores com o auxílio de cronômetro e proveta graduada durante 30 segundos com três repetições em cada gotejador analisado, e a pressão de serviço foi verificada com auxílio de manômetro de Bourdon. Foram determinados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), sendo os mesmos de 98,0 e 97,5% respectivamente, e o sistema classificado como excelente.

### **5.6.4. Manejo da irrigação**

No estágio inicial do experimento foram realizadas irrigações em todos os lisímetros, sendo aplicado uma lâmina com água de abastecimento local, de quatro milímetros a cada dois dias, de modo a assegurar a brotação e estabelecimento das plantas. Aos 60 dias após o plantio (DAP) (02 de outubro de 2014), iniciou-se a aplicação dos tratamentos, sendo a irrigação realizada diariamente com base na evapotranspiração da cultura (ETc), porém, nos dias em que a precipitação era igual ou superior a evapotranspiração da cultura, não era realizada a irrigação. A precipitação ocorrida durante experimento pode ser verificada na (Figura 5), assim como os valores de 100 e 120% da ETc. Em 14 de maio de 2015 aos 285 DAP realizou-se a última irrigação do experimento antes da colheita que foi realizada em 28 de Julho de 2015, aos 360 DAP.



**Figura 5.** Precipitação e ETC observada durante o experimento

O manejo da irrigação foi realizado, segundo a equação 1:

$$ETc = ETo \times Kc \times Klméd \quad (1)$$

em que:

ETc - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>;

ETo - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia<sup>-1</sup>;

Kc - coeficiente de cultivo, adimensional; e

Klméd. - coeficiente de localização médio, adimensional.

A evapotranspiração de referência (ETo) foi determinada diariamente a partir de dados climáticos coletados na estação meteorológica automática provida de sensores necessários para determinação da ETo de Penman-Monteith (Campbell Scientific modelo CR1000/CFM100/OS100).

Utilizou-se como coeficiente de cultivo um valor admissível correspondente a fase fenológica em que a planta se encontrava, de acordo com a Organização da Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (1977) citado por Doorenbos e Pruitt (1977) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores do Kc para cana-de-açúcar, segundo a FAO (1977)

Idade da cultura (meses)	Estádio de desenvolvimento	Kc
Cana-planta		
0-2	Do plantio até 0,25 de cobertura	0,5
2-3	De 0,25 a 0,5 de cobertura	0,8
3-4	De 0,5 a 0,75 de cobertura	0,95
4-7	De 0,75 a cobertura completa	1,1
7-14	Utilização máxima	1,2
14-18	Início da maturação	0,95
16-18	Maturação	0,70

Para determinação do Klmédio, utilizou-se a média de quatro valores de coeficiente de localização (Kl) para culturas adensadas, segundo diversos autores descritos por Pizarro (1996), que dependem do valor da fração de área sombreada pelo cultivo (S). Os valores de Kl variaram em função da área sombreada pelo cultivo, de acordo com o desenvolvimento das plantas, conforme Equações 2, 3, 4 e 5:

$$Kl = 1,34 \times (PAM \text{ ou } PAS) \quad (\text{ALJIBURY et al., 1974}) \quad (2)$$

$$Kl = 0,1 + (PAM \text{ ou } PAS) \quad (\text{DECROIX, 1978}) \quad (3)$$

$$Kl = (PAM \text{ ou } PAS) + 0,5 \times (1 - (PAM \text{ ou } PAS)) \quad (\text{HOARE et al., 1974}) \quad (4)$$

$$Kl = (PAM \text{ ou } PAS) + 0,15 \times (1 - (PAM \text{ ou } PAS)) \quad (\text{KELLER, 1978}) \quad (5)$$

em que:

Kl - coeficiente de localização, adimensional; e,

PAM ou PAS – Porcentagem de área molhada ou sombreada.

A porcentagem de área molhada foi determinada a partir da razão entre a área molhada pelos emissores e a área ocupada pelas plantas (área do lisímetro). A área sombreada foi determinada a partir da razão entre a área de sombra formada pela cultura e a área do lisímetro. Quando a porcentagem de área molhada foi maior que a porcentagem de área coberta (sombreada), utilizou-se no cálculo da lâmina de irrigação a porcentagem de área molhada, caso contrário, era utilizado a porcentagem de área coberta ou sombreada. Em



outras palavras, uma vez que a área sombreada fosse maior que a molhada passou-se a adotar a porcentagem de área sombreada (Bernardo et al., 2010).

### 5.7. Variáveis de crescimento e rendimento analisadas na cultura

Avaliou-se o número de perfilhos (NP), diâmetro de colmos (DC), altura de colmo (AC), número de folhas (NF) e área foliar (AF), sendo estas variáveis analisadas mensalmente, iniciando-se aos 60 dias após o plantio (DAP) até os 300 DAP. Estas medidas foram realizadas em três plantas por lisímetro, que estavam previamente identificadas.

Para a determinação do diâmetro de colmo realizou-se medições na altura correspondente a 1/3, a partir da base, com auxílio de paquímetro. Para medida da altura das plantas, utilizou-se uma trena e mediu-se a distância da superfície do solo até a última região auricular visível da folha +1 (primeira folha de cima para baixo, que se apresenta inserida com a aurícula bem visível), segundo a numeração sugerida por Kuijper (Dillewijn, 1952). A área foliar por planta (AF) foi determinada medindo o comprimento e a largura na porção mediana da folha +3, e contando-se o número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1), aplicando-se a equação 6:

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N+2) \quad (6)$$

Em que:

AF - área foliar (cm<sup>2</sup>);

C – comprimento (cm);

L - largura da folha (cm);

0,75 - fator de forma;

2 – fator de correção;

N - número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde, segundo metodologia descrita por Hermann e Câmara (1999).

Na colheita aos 360 DAP avaliou-se as massas fresca e seca da parte aérea, sendo a parte aérea dividida em colmos, folhas e ponteiros. A massa fresca de ponteiro e folhas (MFPP) e a massa fresca de colmo foram obtidas por pesagem em balança digital, sendo a massa fresca de colmo utilizada no cálculo da produtividade (PROD). Após a pesagem, uma parte do material foi triturado em forrageira e em seguida submetido à secagem em estufa

com circulação de ar forçado a temperatura de 65 °C até obtenção de peso constante e consequentemente, a massa de matéria seca de colmo (MSC) e a massa seca de ponteiro e folhas (MSPF) obtidas também por meio de pesagem. Utilizando as medias das produções, em termos de massa de matéria seca foram determinadas as perdas percentuais em função da salinidade da água de irrigação (Benincasa, 1988).

### **5.8. Produtividade dos colmos**

A produtividade foi avaliada aos 360 DAP por ocasião da colheita onde os colmos foram cortados na base, rente ao solo, retirando-se as folhas secas e separando o ponteiro (meristema apical e folhas inseridas nessa parte), também denominado de ‘bandeira’ (Ravaneli et al., 2004). As análises foram realizadas considerando o peso de colmos por lisímetro e em função do total de plantas calculou-se o peso médio de um colmo no respectivo lisímetro que tem 1,38 m de diâmetro. Em seguida estimou-se o total de plantas que teria em um hectare e em seguida multiplicou-se pelo peso médio de um colmo, encontrando-se desta maneira o peso total de colmos por hectare.

### **5.9. Acúmulo de nutrientes e sódio nas plantas**

Após a obtenção da massa seca dos colmos, ponteiros e folhas, as subamostras foram processadas em moinho do tipo Willey e a partir destas, quantificou-se os teores de nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Além dos macronutrientes também foi analisado o acúmulo de sódio (Na) e cloreto (Cl) nas plantas.

Para a quantificação de nitrogênio utilizou-se o método do destilador de Kjeldahl. Os teores de potássio e sódio foram determinados pela técnica de fotometria de chama. O teor de fósforo foi determinado pelo método Colorimétrico do Molibidato-vanadato, no espectrofotômetro UV. A quantificação de Ca e Mg foi feita por espectrofotometria de absorção atômica e o teor de cloro pelo método de Mohr. Todas as análises foram realizadas de acordo com os procedimentos metodológicos propostos por Bezerra Neto e Barreto (2011).

### **5.10. Monitoramento do material lixiviado**

Diariamente coletou-se uma alíquota da água drenada para monitoramento da concentração de sais no lixiviado de cada lisímetro. Este monitoramento foi realizado por meio da medição da condutividade elétrica da água com condutivímetro de bancada.

Em 09 de dezembro de 2014 aos 129 DAP, em 04 de março de 2015 aos 214 DAP, em 15 de maio de 2015 aos 286 DAP e em 22 de junho de 2015 aos 324 DAP, coletou-se uma alíquota da água drenada para posterior análise dos nutrientes: cálcio, magnésio, potássio e o íon sódio.

### **5.11. Análise estatística**

Para realização da análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Em seguida, os efeitos significativos comparados mediante análise de regressão para níveis de salinidade, já quando houve significância apenas entre as lâminas de irrigação a comparação ocorreu mediante teste de médias pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

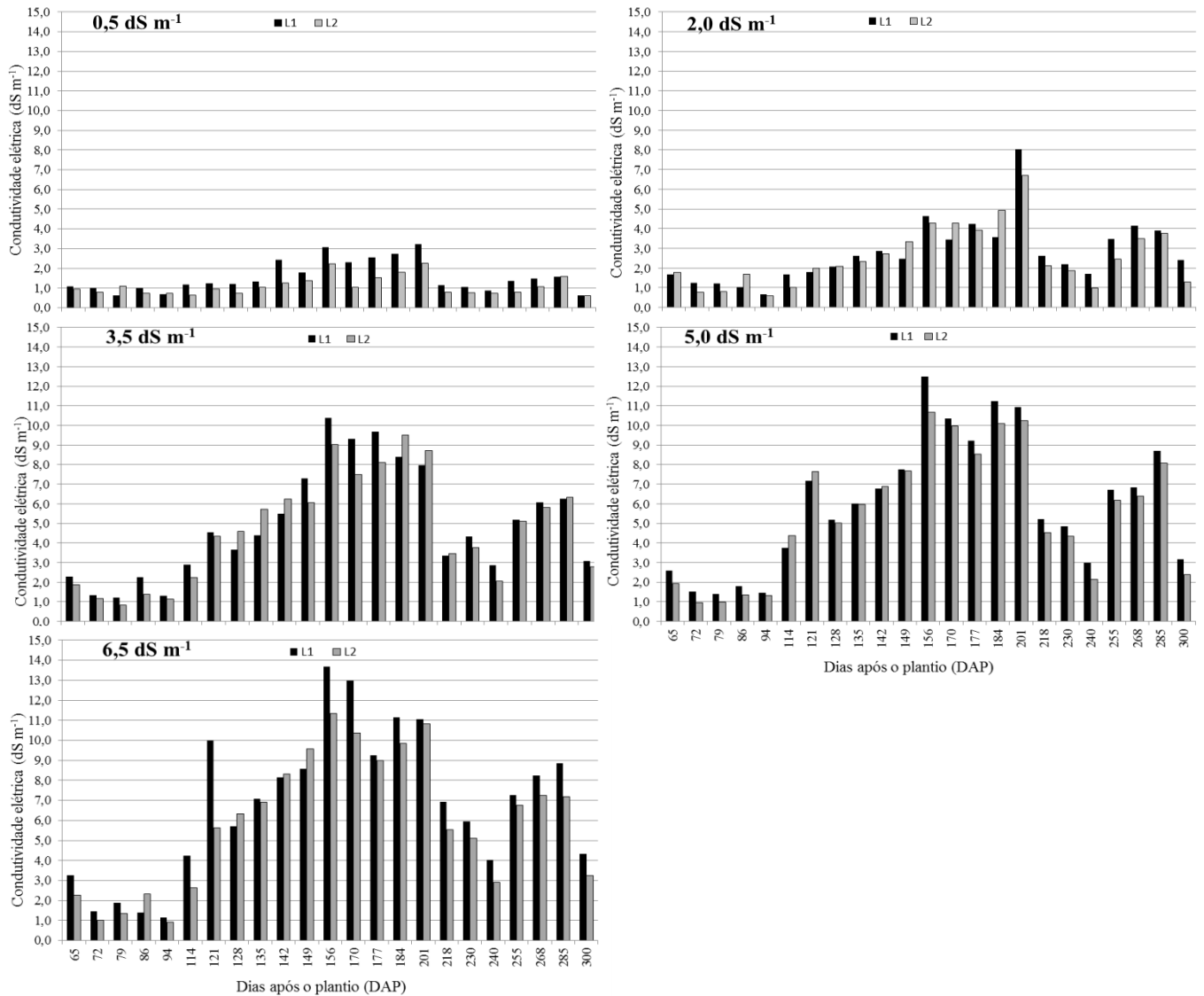
Quando houve efeito significativo entre a interação da salinidade com as lâminas de irrigação aplicadas, realizou-se o desdobramento das referidas lâminas dentro de cada nível de salinidade e dos níveis de salinidade dentro de cada lâmina.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Monitoramento do material lixiviado**

De maneira geral verificou-se que a condutividade elétrica do material lixiviado em dias em que ocorreu drenagem em todos os lisímetros decorrentes de chuvas do dia anterior, apresentou até os 94 dias após o plantio valores próximos um dos outros (inferior à  $3 \text{ dS m}^{-1}$ ). A partir deste período começou a ser notadas diferenças na condutividade elétrica nos dias seguintes (Figura 6). Isto ocorreu por causa da frequência de irrigação, no qual, estava sendo aplicado os tratamentos diariamente com as diferentes CEa que estava proporcionando um acúmulo dos sais no solo e a partir de então observou-se um período mais seco, apresentando diferença entre os tratamentos na água drenada.

A partir dos 94 DAP, a maioria dos tratamentos com fração de lixiviação L2 apresentaram menor condutividade elétrica da água drenada, isto ocorreu devido ao fato de se aplicar uma lâmina de irrigação maior, o que promoveu uma maior dissolução de sais, além de favorecer uma maior absorção de nutrientes pela planta, resultando em menor condutividade elétrica.



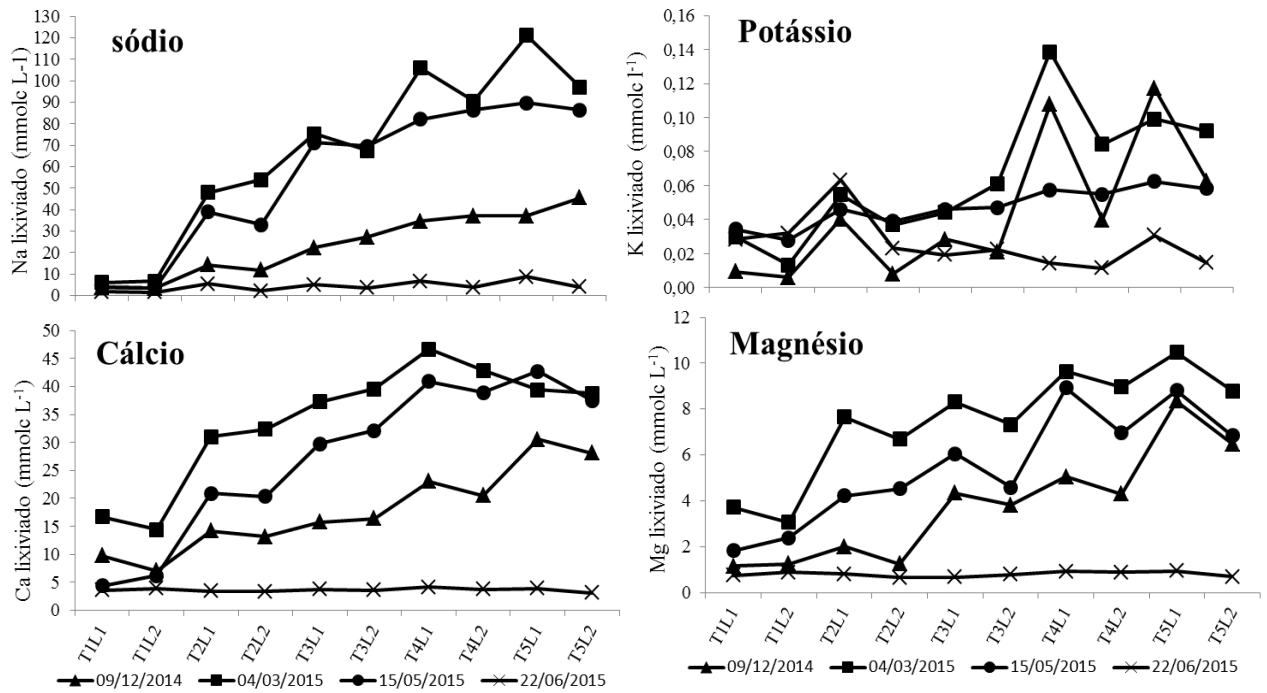
**Figura 6.** Condutividade elétrica da água drenada nos lisímetros

Também, a aplicação da lâmina L1 sem lixiviação, não proporcionava drenagem diariamente e os sais ficavam acumulados no solo e só eram lixiviados quando ocorria precipitação ocasionando desta maneira uma maior CEa lixiviada. Ferreira et al. (2006), trabalhando com beterraba irrigada com água salobra de 1, 2, 3 e 4 dS m<sup>-1</sup> e aplicando frações

de lixiviação equivalente a 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25 do volume de poros do solo, também observaram incrementos da salinidade no lixiviado com o decréscimo das lâminas de lixiviação. Smanhotto et al. (2009) estudando a aplicação de diferentes taxas de água residuária da suinocultura quanto a concentração de sais no lixiviado, em cultivo de soja, nas doses de 0, 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> observaram que os maiores teores de sais no lixiviado foram encontrados nas menores lâminas aplicadas, o que comprova o efeito de diluição dos sais favorecendo uma maior absorção de nutrientes pela planta.

Observou-se ainda em termos de condutividade elétrica da água drenada que em alguns períodos de análise a salinidade decresceu, isto devido as chuvas intensas ocorridas. Verificou-se também que a maior condutividade ocorreu por volta dos 156 DAP, período em que foi atingido uma CEa de aproximadamente 14 dS m<sup>-1</sup> pelo nível mais salino e onde aplicou-se a lâmina de irrigação correspondente a ETc (T5L1).

Em relação a concentração de sais Na, K, Ca e Mg na água drenada (Figura 7) observou-se, de maneira geral, que para todos os elementos, houve um comportamento semelhante em termos de lâmina de irrigação, no qual, apresentaram uma maior concentração do elemento no lixiviado na lâmina sem fração de lixiviação L1, exceto para o íon sódio que na primeira época de análise (dia 09/12/2014) apresentou nos maiores níveis salinos uma maior concentração na lâmina com fração de lixiviação L2, sendo encontrado um valor de 45,42 mmolc L<sup>-1</sup> no tratamento T5L2 e 37,00 mmolc L<sup>-1</sup> no tratamento T5L1, fato que pode ter ocorrido devido ao arraste dos sais para as camadas mais profundas e a não absorção deste elemento pelas plantas, devido a concentração bastante elevada na solução do solo. Martinez et al. (2010) afirmam que quando se aplica uma irrigação com níveis acima do tolerado pela cultura e com água a mais que a necessidade da planta (fração de lixiviação) ocorre um deslocamento miscível dos solutos através da difusão, dispersão e fluxo de massa, no qual transporta os solutos para áreas mais profundas da zona radicular.



**Figura 7.** Concentração de sódio; potássio; cálcio e magnésio na água drenada

Quantitativamente o elemento mais lixiviado foi o sódio, fato devido ao mesmo ser, bastante móvel no solo e se encontrar em maior quantidade na água de irrigação. Em se tratando dos elementos essenciais analisados, percebe-se também que o cálcio foi o que apresentou maiores perdas, isto devido ao mesmo participar na composição química da água utilizada na irrigação numa concentração maior à medida que se aumentava a condutividade elétrica da água. Benites et al. (2009) afirmam que comparando os três elementos essenciais que foram avaliados nesta pesquisa no lixiviado (Cálcio, magnésio e potássio), a maior mobilidade é do íon  $K^+$ , seguido do  $Mg^{2+}$  e o menos móvel é o  $Ca^{2+}$ , porém, Ishiguro et al. (1992) já afirmavam que quanto maior a concentração do nutriente na solução do solo, maior é a chance dele ser perdido por lixiviação. O movimento do potássio ocorre preferencialmente por difusão e em menor proporção por fluxo de massa (Oliveira et al., 2004), enquanto o movimento de cálcio e magnésio ocorre preferencialmente por fluxo de massa (Malavolta et al., 1997). Além disso o potássio se apresenta em maior concentração na planta, em comparação com o cálcio e magnésio. Mengel e Kirkby (2001) afirmam que, embora a concentração de cálcio na solução do solo seja dez vezes maior que a do potássio, sua absorção será usualmente menor que a de potássio pela planta.

## 6.2. Variáveis de Crescimento

O resumo da análise de variância para as variáveis número de perfilhos (NP), altura de colmo (AC), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF) e número de folhas (NF), podem ser verificados na Tabela 4, sendo as avaliações realizadas em intervalos de 30 dias dos 60 aos 300 DAP.

Observa-se que aos 60 DAP não houve efeito significativo para nenhuma variáveis estudadas, visto que, foi a partir deste dia que se iniciou a aplicação dos tratamentos. Para o fator salinidade observou-se que não houve efeito aos 90 DAP apenas para a variável NF. Já aos 150 e 240 DAP a salinidade não exerceu efeito significativo para NP, aos 180 e 300 DAP não houve efeito para NP e AP, já aos 210 DAP a salinidade não influenciou a AC e aos 240 DAP não houve efeito sobre NP e NF.

Pode-se verificar na Tabela 4 que para o fator lâmina aos 90 DAP não exerceu efeito significativo para as variáveis AC, DC e NF. Aos 120 e 180 DAP a lâmina de irrigação aplicada não influenciou unicamente a AC, já aos 210 DAP não houve efeito para além da AC, o NP e NF. Aos 240 DAP não houve efeito do fator lâmina para as variáveis NP, AF e NF, porém aos 270 e 300 DAP a lâmina de irrigação apenas influenciou o DC e aos 360 DAP todas variáveis analisadas neste dia apresentaram significância.

Na maioria das épocas de avaliação não houve efeito entre a interação da salinidade e lâminas exceto aos 120 DAP para a AF que apresentou significância de 1%, aos 240 DAP para NP a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância das variáveis número de perfilhos (NP), altura de colmo (AC), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF) e número de folhas (NF) na cana-de-açúcar

Fonte Variação	GL	NP	AP	DC	AF	NF
----- (Pr>F) -----						
60 DAP						
CEa (S)	4	0,6457ns	0,2787ns	0,5617ns	0,3658ns	0,618ns
Lâmina (L)	1	0,2465ns	0,8630ns	0,1785ns	0,4244ns	0,269ns
S x L	4	0,1516ns	0,5699ns	0,9508ns	0,1880ns	0,445ns
CV (%)		39,99	18,37	13,46	24,75	9,32
90 DAP						
CEa(S)	4	0,0000**	0,0024**	0,0430*	0,0151*	0,224ns
Lâmina (L)	1	0,0000**	0,2206ns	0,0699ns	0,0007**	0,463ns
S x L	4	0,7044ns	0,4304ns	0,9820ns	0,6775ns	0,586ns
CV (%)		10,48	10,92	10,78	11,13	10,21
120 DAP						
CEa (S)	4	0,0001**	0,0235*	0,0016**	0,0000**	0,000**
Lâmina (L)	1	0,0022**	0,1315ns	0,0024**	0,0000**	0,044**
S x L	4	0,5064ns	0,7597ns	0,3901ns	0,0000**	0,590ns
CV (%)		11,27	9,20	5,08	5,32	12,48
150 DAP						
CEa(S)	4	0,0696ns	0,0369*	0,0023**	0,0000**	0,000**
Lâmina (L)	1	0,0010**	0,0419*	0,0262*	0,0000**	0,000**
S x L	4	0,4431ns	0,2000ns	0,6872ns	0,3550ns	0,355ns
CV (%)		17,59	8,71	4,90	10,97	10,02
180 DAP						
CEa (S)	4	0,0667ns	0,4251ns	0,0004**	0,0000**	0,000**
Lâmina (L)	1	0,0007**	0,1161ns	0,0074**	0,0375*	0,000**
S x L	4	0,1622ns	0,9145ns	0,3124ns	0,4744ns	0,494ns
CV (%)		15,11	15,09	4,33	10,60	11,05
210 DAP						
CEa (S)	4	0,0428*	0,2306ns	0,0205*	0,0000**	0,024*
Lâmina (L)	1	0,2608ns	0,7025ns	0,0121*	0,0085**	0,554ns
S x L	4	0,1471ns	0,9618ns	0,2400ns	0,1542ns	0,673ns
CV (%)		24,71	9,48	7,76	6,78	16,72
240 DAP						
CEa (S)	4	0,0741ns	0,0093**	0,0000**	0,0000**	0,542ns
Lâmina (L)	1	0,2260ns	0,0268*	0,0026**	0,0942ns	0,642ns
S x L	4	0,0289*	0,4221ns	0,2506ns	0,8908ns	0,803ns
CV (%)		22,91	8,04	3,97	14,30	27,07
270 DAP						
CEa (S)	4	0,0353*	0,1172ns	0,0000**	0,0007**	0,172ns
Lâmina (L)	1	0,9975ns	0,6007ns	0,0015**	0,1271ns	0,450ns
S x L	4	0,3982ns	0,5255ns	0,3636ns	0,8569ns	0,451ns
CV (%)		19,42	12,17	3,96	20,51	14,01
300 DAP						
CEa (S)	4	0,2504ns	0,1933ns	0,0000**	0,0064**	0,928ns
Lâmina (L)	1	0,2016ns	0,6536ns	0,0000**	0,0814ns	0,762ns
S x L	4	0,1486ns	0,6011ns	0,6473ns	0,4680ns	0,450ns
CV (%)		18,35	8,69	4,62	19,21	15,52

\* e \*\* significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo

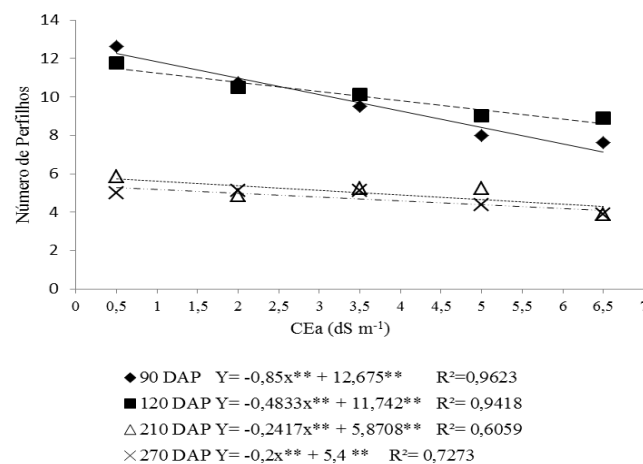


### 6.2.1. Número de Perfилhos

Para número de perfilho foi registrado efeito significativo a 5% de probabilidade para interação entre os fatores salinidade e lâmina de irrigação, porém, os resultados não se ajustaram aos modelos de 1° nem 2° grau. Observou-se efeito significativo a 1% de probabilidade para os dois fatores isolados (salinidade e lâmina de irrigação) aos 90 e 120 DAP, fase esta em que, de acordo com Manhães et al. (2015), há intenso perfilhamento e é quando a população máxima é alcançada. Segundo Diola e Santos (2010) o perfilhamento começa com cerca de 40 DAP, podendo durar até 120 dias, sendo este, um processo fisiológico de ramificação subterrânea que dá origem a brotos secundários.

A partir de então, apenas a lâmina de irrigação passou a influenciar o NP até os 180 DAP, e houve interação de ambos os fatores aos 240 DAP já na última análise, não existiu efeito significativo para nenhum dos fatores analisados.

Na Figura 8 observa-se as regressões realizadas para NP nos respectivos dias em que houve efeito da salinidade. Verificou-se um decréscimo linear em função do aumento da salinidade da água, fato este que pode ter ocorrido devido a dificuldade da planta de absorver o nitrogênio que é um dos elementos mais importantes para ocorrer o perfilhamento segundo Casagrande (1991). De acordo com Marschner (2012), elevadas concentrações de  $Cl^-$  na solução do solo podem diminuir a absorção de N, devido ao efeito antagônico existente entre ambos, o que influencia diretamente no perfilhamento.



**Figura 8.** Número de perfilho da cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação em diferentes épocas do ciclo

Em trabalho realizado com águas de irrigação salinizadas com NaCl variando de 1,0 à 8,0 dS m<sup>-1</sup> no cultivo da cana-de-açúcar SP80-1842 por 38 dias, Santana et al. (2007) também verificou um decréscimo linear em função do aumento da salinidade da água para a brotação da cana. Já Garcia e Medina (2003), estudando dois genótipos de cana-de-açúcar (PR692176 e V78-1) e irrigando a partir dos 30 DAP com água salina com NaCl (CEa 11,8 dS m<sup>-1</sup>) por 60 dias, não observou diferença significativa no NP quando comparado com a testemunha, apesar da testemunha ter apresentado um maior perfilhamento, fato este que pode ter ocorrido, devido as plantas não terem chegado na época de perfilhamento máximo que geralmente é de 90 à 120 dias. Também é importante ressaltar que as condições ambientais e os genótipos estudados pelos autores acima, são diferentes desta pesquisa, pois, Casagrande (1991), já afirmava que, mesmo havendo condições ambientais idênticas, a brotação e perfilhamento pode ser diferente entre as diversas cultivares de cana-de-açúcar.

Na presente pesquisa, constatou-se que o máximo de perfilhos existente no tratamento testemunha com CEa de 0,5 dS m<sup>-1</sup> foi em média de 13 perfilhos, enquanto que no maior nível salino observou-se em média oito perfilhos, já aos 270 DAP observou-se que os menores níveis salinos havia uma média de cinco perfilhos enquanto que no maior nível salino (6,5 dS m<sup>-1</sup>) haviam apenas três. Manhães et al. (2015) afirmam que após as plantas atingirem o perfilhamento máximo inicia-se a competição entre eles por fatores de crescimento como luz, água e espaço, causando a diminuição da quantidade perfilhos.

O efeito do fator lâmina de irrigação sobre o NP pode ser verificado na Tabela 5, neste, foi observado que a lâmina que proporcionou maiores médias para a variável perfilhos foi a lâmina L2, ou seja, aquela que foi aplicado a fração de lixiviação de 0,17 e que correspondia a 120% da evapotranspiração da planta, sendo apresentado efeito significativo dos 90 aos 180 DAP. Marin et al. (2009), afirmam que na fase de rebrota a escassez de água não implica em grandes perdas de produção, porém, na fase seguinte que é o perfilhamento, a falta de água pode comprometer o rendimento final da cultura, devido a queda na população de plantas. Isso ocorre, principalmente, porque nessa fase são produzidos 70-80% de toda a biomassa acumulada durante o ciclo da cultura (Oliveira et al., 2010). Bezuidenhout et al. (2003) relatam que durante o perfilhamento a cana exige uma grande quantidade de água para que ocorra o desenvolvimento vegetativo, pois, o estresse hídrico paralisa a divisão e o alongamento celular impedindo a diferenciação e o crescimento dos tecidos que darão origem a novas estruturas da planta. Zhao et al. (2010) relatam diminuição na formação de perfilhos da ordem de 33 e 37% em dois anos consecutivos, decorrentes da imposição da falta de água.

**Tabela 5.** Valores médios de número de perfilhos da cana-de-açúcar submetidas a diferentes frações de lixiviação

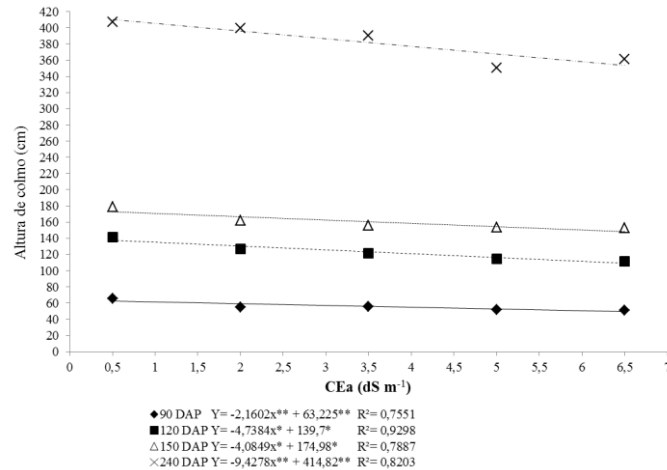
Causa de variação	60	90	120	150	180	210	240	270	300
	DAP								
L1_100	6,5a	8,7b	9,45b	8,2b	6,55b	4,80a	4,80a	4,7a	6,35a
L2_120	7,55a	10,7a	10,65a	10,05a	7,85a	5,25a	5,25a	4,7a	6,85a
DMS	1,81	0,6565	0,7316	1,0363	0,7025	0,8019	0,7433	0,5895	0,7821

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

### 6.2.2. Altura de Colmo

Observou-se para a variável biométrica altura de colmo em função dos níveis de salinidade e lâminas de irrigação as quais as plantas foram submetidas, que a salinidade exerceu efeito significativo nas primeiras análises realizadas 90, 120 e 150 DAP e depois na sétima avaliação aos 240 DAP (Tabela 4). O fator lâmina de irrigação apenas exerceu efeito aos 150 e 240 DAP ao nível de 5% de probabilidade. Não ocorreu interação entre salinidade e lâminas de irrigação em nenhuma das datas analisadas. Observou-se efeito linear decrescente em função do aumento da salinidade da água (Figura 9), com as menores alturas de colmo nos maiores níveis salino. Aos 150 DAP foi encontrado um valor médio de altura de colmo irrigado com água de 6,5 dS m<sup>-1</sup> de 150 cm, enquanto nas plantas testemunha, ou seja, nas que não receberam sal na água de irrigação, esta altura média foi de 180 cm.

De acordo com as equações encontradas na Figura 9, o decréscimo em altura para os 90, 120, 150 e 240 DAP em função do aumento unitário da CEa foi de 2,24; 4,78; 4,19 e 11,28 cm respectivamente. Taiz e Zeiger (2009) afirmam que o primeiro efeito da salinidade no desenvolvimento das plantas é a redução no crescimento, embora sejam várias as consequências dos sais sobre as culturas. Quando submetida a estresse salino as plantas apresentam dificuldade de absorção de água, pois para absorver água e conseqüentemente nutrientes Dias e Blanco (2010) relatam que as forças dos tecidos das raízes devem ser superiores as forças com que a água é retida no solo, e devido a diminuição do potencial osmótico da solução do solo as forças de retenção de água no solo aumentam, e podem chegar a um nível tal, em que as plantas não terão força suficiente para superar isto e acabam não absorvendo água, o que favorece a diminuição no crescimento.



**Figura 9.** Altura de colmo da cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação em diferentes épocas do ciclo

O excesso de sais na solução do solo modifica as atividades metabólicas das células no processo de alongamento celular, limitando a elasticidade da parede celular, reduzindo o alongamento da célula e, como consequência, o crescimento da planta (Folegatti e Blanco, 2000). A explicação da influência da salinidade nas primeiras análises até os 150 DAP neste experimento, pode estar atrelada ao fato de que este foi o período em que houve menores precipitações, porém, em seguida, pode ter acontecido das plantas tentarem desenvolver mecanismos de maneira a diminuir os efeitos dos sais sobre crescimento das mesmas, não havendo influência da salinidade nas duas avaliações subsequentes, não conseguindo portanto, e aos 240 DAP houve efeito dos sais sobre a altura dos colmos. A partir de então, devido a chuvas intensas que lixivou os sais, as plantas não sofreram tanto estresse a ponto de conseguirem se desenvolver em altura, não sendo mais a salinidade influenciada nesta variável. Willadino e Camara (2010) afirmam que, um significativo decréscimo no crescimento é um efeito imediato do estresse salino, ao qual se segue uma recuperação gradual até atingir uma nova taxa de crescimento.

Em trabalho realizado na Universidade do Estado da Carolina do Norte, García e Medina (2010) observaram um crescimento menor de plantas de cana-de-açúcar quando irrigadas com NaCl. Em relação as plantas do tratamento testemunha, e, comparando esse sal com o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, o efeito foi maior com cloreto de sódio. Neste estudo utilizou-se as variedades de cana PR 692176 considerada tolerante à salinidade, e V 78-1, identificada como sensível. Apesar da variedade tolerante ter apresentado maiores alturas no crescimento, ambas cultivares tiveram o mesmo comportamento.

Em pesquisa realizada em lisímetros de drenagem por Souto Filho (2013) em duas cultivares de cana-de-açúcar (SP 13250 e RB 92579) e cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação variando entre 0,6 e 4,6 dS m<sup>-1</sup>, níveis estes obtidos pela adição de NaCl, CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub> a água de abastecimento, tendo o experimento sido irrigado com estes tipos de água dos 80 aos 318 dias após o plantio (DAP), sendo as variáveis biométricas analisadas a cada 30 dias e a primeira análise realizada aos 95 DAP, foi observado redução de altura de colmos em detrimento do aumento salino em ambas cultivares em todas as avaliações realizadas. Hussain et al. (2004) trabalhando com duas variedades de cana-de-açúcar (CP-77-400 e COJ-84) sob diferentes concentrações de sais, também observaram diminuição no comprimento de colmos das plantas submetidas a níveis mais elevados de sais.

Ao analisar o fator lâmina de irrigação, pode-se observar por meio da Tabela 6 que aos 150 e 240 DAP a lâmina de irrigação que proporcionou maiores alturas independente do nível salino, foi a lâmina L2, ou seja, aquela no qual utilizou-se a fração de lixiviação de 0,17.

**Tabela 6.** Valores médios de altura de colmo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação (Sem e com fração de lixiviação)

Causa de variação	60DAP	90DAP	120DAP	150DAP	210DAP	240DAP	270DAP	300DAP
L1_100	20,47 a	55,48 a	125,35 a	159,91 b	296,68 a1	373,83 b	474,82 a1	455,58 a1
L2_120	20,68 a	57,93 a	131,13 a	169,55 a	300,33 a1	396,66 a	484,58 a1	461,29 a1
DMS	2,4408	3,9998	7,6172	9,2646	18,2794	20,0128	37,7189	25,7148

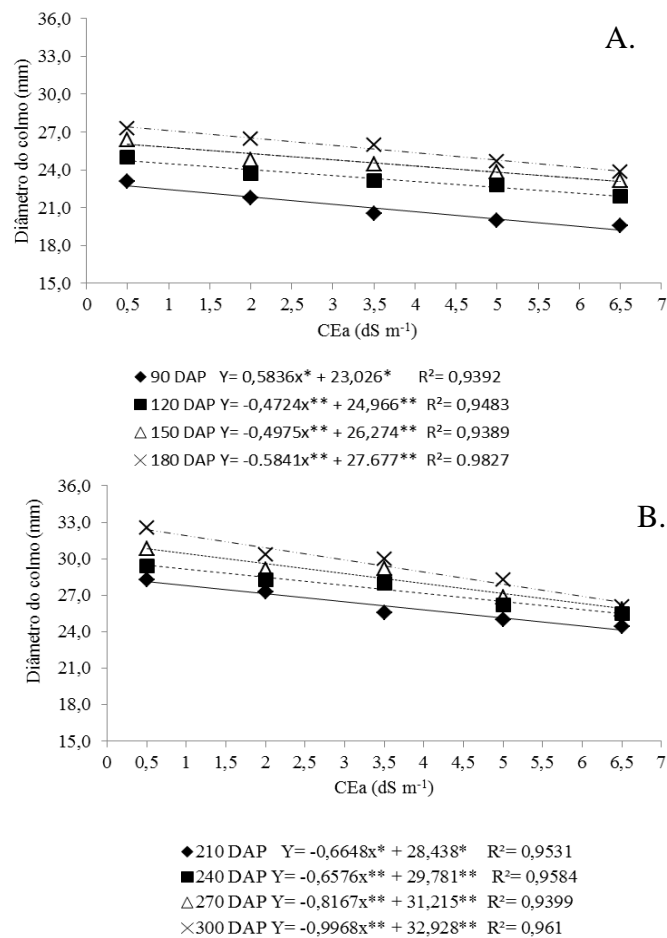
Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

O fato da lâmina de irrigação ter exercido influência sobre a altura de colmo aos 150 e 240 DAP, pode estar correlacionado por ser uma época mais seca e como se utilizou água salina para irrigação a fração de lixiviação proporcionou uma maior dissolução dos sais e consequentemente maior absorção de água, tendo como resultado, maiores alturas de colmo. Segundo Chaves et al. (2009) quando a planta não absorve água de maneira gradual, ocorrem adaptações, principalmente se o deficit hídrico ocorrer no início do ciclo. Redução no crescimento é um dos mecanismos das respostas das plantas que lhes conferem adaptação a essa condição, uma vez que são mecanismos que diminuem a perda de água para atmosfera. Silva et al. (2011b) afirmam que, se a planta não consegue absorver água, a ocorrência desse estresse acarreta efeitos mais severos como a redução das taxas de crescimento do colmo.

### 6.2.3. Diâmetro de colmo

Foi observado no presente estudo, para a variável diâmetro de colmo, efeito isolado dos fatores (salinidade e lâmina de irrigação) em todas as épocas de avaliação exceto aos 60 e 90 DAP que o fator lâmina não apresentou diferença estatística. Na Figura 10 encontram-se os resultados das análises de regressão realizadas para o diâmetro do colmo em função dos diferentes níveis de salinidade. Verifica-se que a variável foi afetada de maneira negativa pelo incremento dos níveis de salinidade da água utilizada na irrigação da cultura.

A testemunha aos 150 DAP apresentou um diâmetro médio estimado de 26 mm e chegou a última análise com quase 33 mm de diâmetro, enquanto que o tratamento T5 aos 150 DAP mostrou-se com 23 mm de diâmetro, atingiu os 26 mm na última análise aos 300 DAP (Figura 10).



**Figura 10.** Diâmetro do colmo da cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação em diferentes épocas do ciclo

A Tabela 7 apresenta o teste de tukey realizado para o diâmetro do colmo da cana de açúcar, em função das lâminas de irrigação, no qual, também verificou-se maiores médias na lâmina L2, à exceção das avaliações feitas aos 60 e 90 DAP que não diferiram estatisticamente.

**Tabela 7.** Valores médios de Diâmetro de colmo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação (Sem e com fração de lixiviação)

Causa de variação	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150DAP	180DAP	210DAP	240 DAP	270DAP	300DAP
L1_100	14,21 a	20,07 a	22,80 b	24,29 b	25,38b	25,53 b	27,10b	28,00 b	28,74 b
L2_120	15,07 a	21,40 a	24,05 a	25,19 a	26,40a	27,26 a	28,24a	29,26 a	30,88 a
DMS	1,2725	1,4437	0,7688	0,7826	0,2509	1,3226	0,7097	0,7324	0,8891

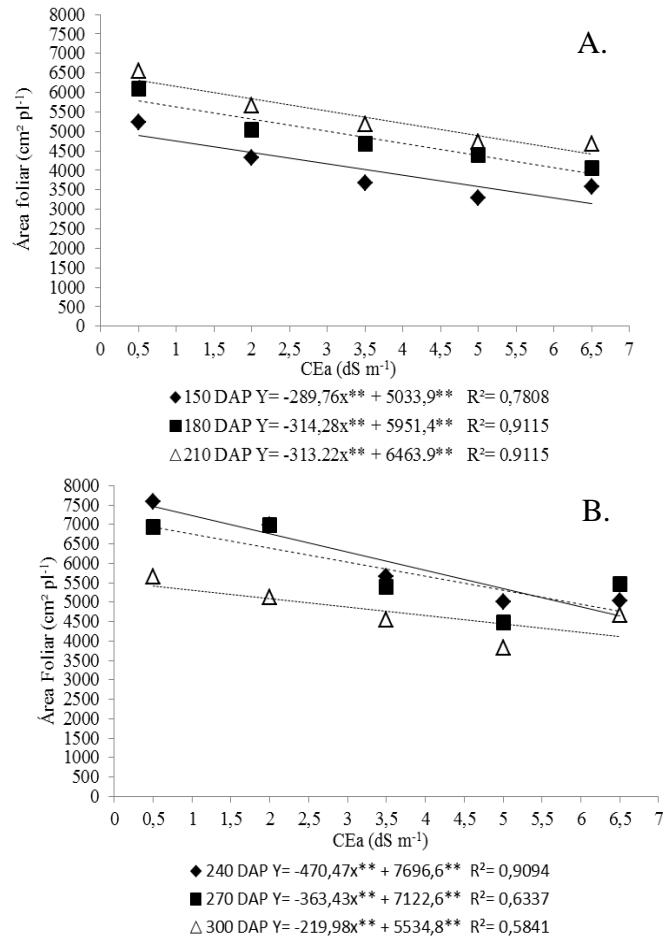
Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Estudando o efeito da salinidade no crescimento inicial em dez variedades de cana, e aplicando 15% de fração de lixiviação na irrigação em todos os tratamentos, Simões et al. (2016), observaram diminuição significativa no diâmetro de colmo das plantas independente da variedade estudada. Já Souto Filho (2013) avaliando duas variedades de cana-de-açúcar: SP813250 e RB 92579 irrigadas com água salobra e sem fração de lixiviação, observou que o diâmetro do colmo não foi afetado devido a salinidade da água de irrigação até os 230 DAP, após este período foi verificada diferença no diâmetro de colmo em função da salinidade da água, assim como a cultivar RB 92579 apresentou maior média. O mesmo autor encontrou valores médios de diâmetros de 29,08 e 30,14 mm para SP813250 e RB 92579 respectivamente, aos 170 DAP. Oliveira et al. (2011) afirmam que o diâmetro do colmo é um parâmetro que depende das características genéticas da variedade, mas também do número de perfilhos, do espaçamento utilizado, da área foliar e das condições ambientais. Em trabalho realizado com onze variedades de cana-de-açúcar dentre elas a analisada neste experimento (RB867515) cultivadas sob irrigação plena, Oliveira et al. (2010), observaram que, em termos de diâmetro a RB867515 foi a que apresentou maior resultado aos 360 DAP com uma média de 27 mm, já na pesquisa realizada neste trabalho encontrou-se um valor médio maior, de quase 33 mm para o tratamento testemunha.

#### 6.2.4. Área Foliar

A salinidade afetou significativamente a área foliar da cana-de-açúcar em praticamente todas as análises realizadas exceto aos 60 DAP que, como citado anteriormente, foi nesta

época em que se começou a aplicação os tratamentos. Munns e Tester (2008) afirmam que, um dos mecanismos que fazem com que as plantas se adaptem ao estresse salino é a diminuição da superfície foliar, que é o órgão de perda de água pela transpiração, e já que a planta estará absorvendo menos água se faz necessário diminuir essa perda. Na Figura 11 estão apresentados os modelos de regressão ajustados com AF em função da salinidade da água de irrigação.



**Figura 11.** Área foliar da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação em diferentes épocas do ciclo

Aos 90 DAP apesar da salinidade ter apresentado efeito significativo a 5% de probabilidade, conforme a análise de variância (Tabela 4), os modelos de 1º e 2º grau não se ajustaram aos dados. Nas demais datas observou-se um decréscimo linear para AF aos 150, 180, 210, 240, 270 e 300 DAP na ordem de 5,76; 5,28; 4,85, 6,11, 5,10 e 3,96 % em função do aumento unitário na condutividade elétrica da água de irrigação.



O estresse salino causa um rápido e potencialmente severo decréscimo da taxa de crescimento foliar. Essa queda na velocidade de alongação foliar resulta de uma redução no número de células em processo de alongação, na taxa de alongação dessas células, ou em ambos (Willadino e Camara, 2010). Cosgrove (1993) já afirmava que, do ponto de vista biofísico, uma célula da folha de uma planta cultivada com NaCl pode apresentar uma reduzida taxa de expansão devido a uma baixa taxa de absorção de água e osmólitos que causa relaxamento da parede e conseqüentemente queda no no turgor celular. Orтели (1968) explica que o alongamento da célula vegetal ocorre quando a pressão hidrostática vacuolar interna excede à pressão externa resultante da tensão das paredes e membranas celulares e da pressão exercida pelas células adjacentes. Com isso, a pressão de turgor aumenta e a parede da célula ganha elasticidade e plasticidade, permitindo sua expansão. Netondo et al. (2004) afirmam que a salinidade também ocasiona efeito negativo na fotossíntese o que conduz a redução no crescimento da folha.

Em estudo realizado no Irã sobre o efeito da aplicação de diferentes doses de nitrogênio: 200, 300 e 400 kg de ureia ha<sup>-1</sup> e da salinidade da água de irrigação nos níveis de 1, 2, 4 e 8 dS m<sup>-1</sup>, sendo as águas aplicadas de 90 aos 180 DAP, Nadian et al. (2012) encontraram uma redução na assimilação da fotossíntese, condutância estomática e conseqüentemente uma diminuição na área foliar em cana-de-açúcar cultivar CP69-1062 a medida em que se aumentou a salinidade da água de irrigação. No trabalho realizado por Souto Filho (2013) na Paraíba e também em lisímetros de drenagem com as cultivares SP 8132550 e RB 92579 foi observado efeito significativo da salinidade da água de irrigação na área foliar aos 135 e 255 DAP com reduções de 6,08 e 7,54% respectivamente. No trabalho do referido autor utilizou-se água preparada com NaCl, CaCl<sub>2</sub> e MgCl<sub>2</sub>, nos níveis de salinidade que variaram de 0,6 à 4,6 dS m<sup>-1</sup>.

O fator lâmina de irrigação no presente estudo afetou de maneira significativa dos 90 aos 210 DAP. Ainda para área foliar verificou-se interação significativa entre os fatores aos 120 DAP. O resultado das médias para área foliar em função da lâmina de irrigação aplicada podem ser verificados na Tabela 8. A lâmina de irrigação não proporcionou efeito na AF nas últimas avaliações devido a este período ser o de maiores precipitações, o que provavelmente acarretou numa maior lixiviação dos sais para fora da zona das raízes e maior absorção de água pelas plantas, sendo o efeito da salinidade minimizado de maneira a não haver mais influência da lâmina de irrigação.

**Tabela 8.** Valores médios de Área foliar da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação (Sem e com fração de lixiviação)

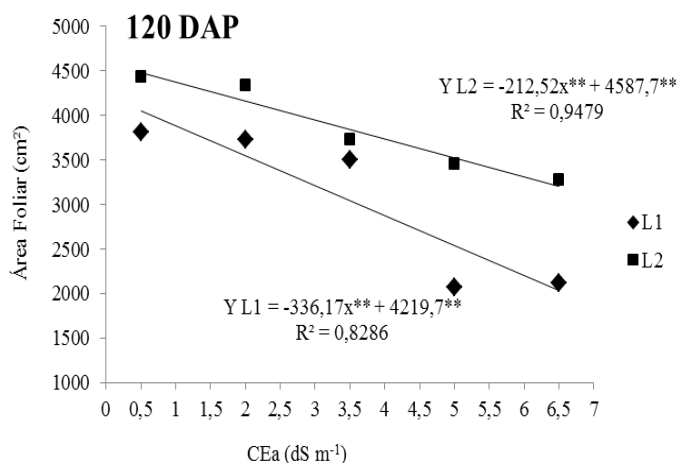
Causa de variação	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150DAP	180DAP	210DAP	240 DAP	270DAP	300DAP
L1_100	1101,9a	2151,1b	3043,1b	3439,1b	4674,5b	5205,4b	5813,5a	5552,9a	4506,8a
L2_120	1174,0a	2459,5a	3843,9a	4600,4a	5028,2a	5529,9a	6286,3a	6148,3a	5029,1a
DMS	181,9	165,6	118,3	284,8	331,9	235,1	558,6	774,9	591,4

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Uma maior quantidade de água disponível para as plantas proporciona um maior crescimento foliar, Inman-Bamber e Jage (1986), já afirmavam que dentre os processos afetados pela menor disponibilidade de água, o crescimento da folha da cana-de-açúcar é um dos mais sensíveis. Smit e Singels (2006) em experimento na Africa do Sul com cana-de-açúcar em condições ideais de água no solo até os quatro meses de plantio, e realizando um progressivo déficit hídrico na cultura, observou diminuição na área foliar das plantas sob estresse.

Na Figura 12 pode-se observar o desdobramento da interação aos 120 DAP, da salinidade dentro de cada lâmina, e na Tabela 9 o desdobramento da lâmina dentro de cada nível de salinidade, no qual, observou-se que os maiores resultados de AF foram encontrados com o uso da fração de lixiviação. Por meio da Figura 12 observa-se na lâmina L1 e L2 uma perda de AF percentual de 7,97 e 4,63%, respectivamente para cada acréscimo unitário da salinidade da água de irrigação. Estes resultados confirmam que, o uso da fração de lixiviação proporciona condições mais favorável à cana-de-açúcar.

Trabalhando com três variedades de sorgo forrageiro e quatro frações de lixiviação (0, 5, 10 e 15%) com uso de efluente salino proveniente da piscicultura, Simões et al. (2014) encontraram maiores valores de área foliar, com a utilização das maiores frações de lixiviação. Santos et al. (2015), estudando a aplicação de seis frações de lixiviação (4, 17, 20, 25, 35 e 42%) sobre o cultivo do mamão irrigado com água de 1,4 dS m<sup>-1</sup>, a excessão da testemunha que recebeu apenas água de abastecimento com 0,3 dS m<sup>-1</sup>, observaram que aos 90 dias após a semeadura a AF das plantas que receberam fração de lixiviação de 42% estavam maior do que a testemunha. Por meio destes estudos, pode-se comprovar que o uso da fração de lixiviação proporciona um aumento no desenvolvimento de diversas culturas (Assis Junior et al., 2007; Santos et al., 2012).



**Figura 12.** Desdobramento para AF da salinidade dentro de cada lâmina de água aos 120 DAP em cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e frações de lixiação

**Tabela 9.** Desdobramento dos valores médios para área foliar (AF) em função das lâminas de irrigação dentro de cada nível salino na cana-de-açúcar aos 120 DAP

Lâminas	0,5	2,0	3,5	5,0	6,5
	dS m <sup>-1</sup>				
L1_100	3808,9175b	3725,7500b	3496,8825a	2067,1075b	2116,9700b
L2_120	4427,9175a	4335,3925a	3726,8500a	3455,2050a	3274,1450a
DMS	264,5387	264,5387	264,5387	264,5387	264,5387

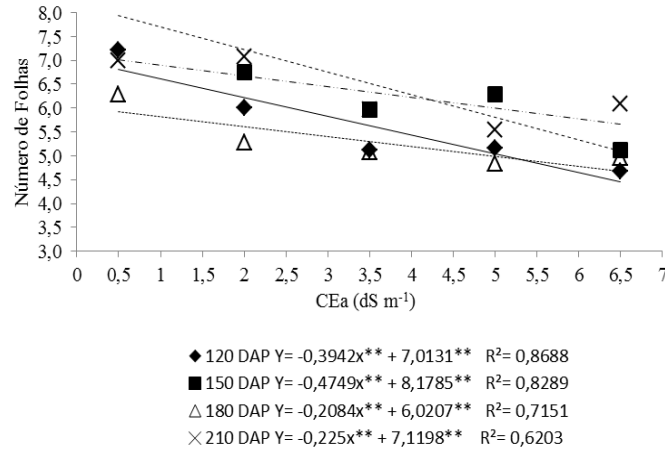
Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

### 6.2.5 Número de Folhas

Observou-se para o número de folhas efeito significativo do fator salinidade em quatro datas de coletas (120, 150, 180 e 210 DAP) com decréscimos linear em função do aumento da salinidade da água de irrigação (Figura 13).

Assim como as demais variáveis afetadas pela salinidade o efeito ocorreu em períodos mais críticos para a cultura, ou seja, aqueles em que houve menores precipitações pluviométricas. Verificou-se efeito mais acentuado aos 120 e 150 DAP com reduções de 5,62 e 5,80% no NF respectivamente em função do aumento da CEa, e aos 180 e 210 DAP foi encontrada menores reduções percentuais, na ordem de 3,46 e 3,16% respectivamente, por aumento de CEa. Oliveira et al.(2013) afirmam que, em condições de estresse salino é comum ocorrerem alterações morfológicas e anatômicas nas plantas refletindo redução de

transpiração como alternativa para manter a absorção de água; uma dessas adaptações é a redução do número de folhas.



**Figura 13.** Número de folhas da cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação em diferentes épocas do ciclo

Em pesquisa com dois genótipos de cana-de-açúcar (PR692176 e V78-1) consideradas tolerante e sensível ao sal respectivamente, Garcia e Medina (2010) em Carolina do Norte nos Estados Unidos, avaliaram dos 60 aos 120 DAP a utilização de diferentes sais na água de irrigação e observaram diminuição significativa no número de folhas verdes para ambas as cultivares que receberam irrigação com água preparada com NaCl, sendo este resultado mais expressivo na cultivar mais sensível (V78-1). Já no trabalho realizado por Simões et al. (2016) em 10 variedades de cana e seis salinidades da água de irrigação que variava de 0 à 8 dS m<sup>-1</sup> irrigadas por 60 dias, foi observado que o número de folhas não apresentou efeito decorrente da salinidade da água, embora tenha ocorrido diferença entre as cultivares. Para Silva Júnior et al. (2012) o NF não é uma variável apontada como um bom parâmetro para indicar tolerância à salinidade, pois, uma planta pode ter seu número total de folhas reduzido, e apresentar um aumento na área de cada folha, o que compensaria uma possível perda de área fotossinteticamente ativa, fato este, que não ocorreu no presente experimento, visto que, nas datas em que houve efeito da salinidade sobre o NF também ocorreu diminuição de área foliar em decorrência do aumento da salinidade da água, provando desta maneira que a cultivar estudada (RB867515) apresenta-se sensível aos sais.

O fator lâmina exerceu efeito significativo sobre o NF aos 120, 150 e 180 DAP (Tabela10), conforme já bastante mencionado estas datas foram as épocas mais secas e ao

utilizar uma maior quantidade de água por se tratar de água salobra a lâmina 2 proporcionou maiores resultados. Neste estudo não ocorreu interação entre salinidade e lâmina de irrigação em nenhuma época de avaliação.

**Tabela 10.** Valores médios de NF da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação (Sem e com fração de lixiviação)

Causa de variação	60 DAP	90 DAP	120 DAP	150DAP	180DAP	210DAP	240 DAP	270DAP	300DAP
L1_100	5,93a	6,18a	5,40b	5,93b	4,57b	6,23a	6,08a	8,18a	7,71a
L2_120	6,13a	6,33a	5,86a	7,10a	6,01a	6,43a	6,33a	8,46a	7,83a
DMS	0,363	0,413	0,454	0,422	0,378	0,684	1,08	0,753	0,779

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Quando a planta está sob condição de não absorção de água o que pode ocorrer quando se utiliza água salobra para irrigação, Inman-Bamber (2004) afirma que à falta de água afeta de forma negativa o crescimento da parte aérea, principalmente o número de folhas verdes, devido à progressão da senescência foliar, o que pode ocasionar uma menor interceptação da radiação solar e conseqüente redução na eficiência de uso da água e na fotossíntese. Devido à menor interceptação da radiação solar, ocorre um aumento da radiação transmitida pelo solo, além disso, sem uma quantidade de água adequada pode ocasionar a inibição do surgimento de novas folhas. O grau de ocorrência dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse e dependente do genótipo (Smit e Singels, 2006; Machado et al., 2009).

Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), durante o período de estresse por falta de água as folhas emergentes tendem a ficar acumuladas no cartucho da planta, isso porque o desenvolvimento é impedido pelo baixo potencial de água na planta e no solo. Batista (2013) afirma que quando o adequado regime hídrico é retomado, essas folhas passam a se desenvolver de forma normal, sendo que após sete dias da retomada do suprimento de água, as folhas da planta apresentam desenvolvimento parecido com o de plantas que não estavam sob nenhum tipo de estresse, o que pode justificar os resultados desta pesquisa quando não houve efeito dos sais ou da lâmina de irrigação nos períodos de maiores precipitações.

### 6.3. Rendimento da cana-de-açúcar

Verifica-se por meio da análise de variância (Tabela 11) que a salinidade exerceu efeito sobre todas as variáveis de rendimento analisadas, assim como, o fator lâmina de

irrigação isoladamente também exerceu efeito significativo, exceto unicamente para a MSPF. A interação entre os dois fatores analisados só foi encontrada para a variável MSPF à 5% de probabilidade.

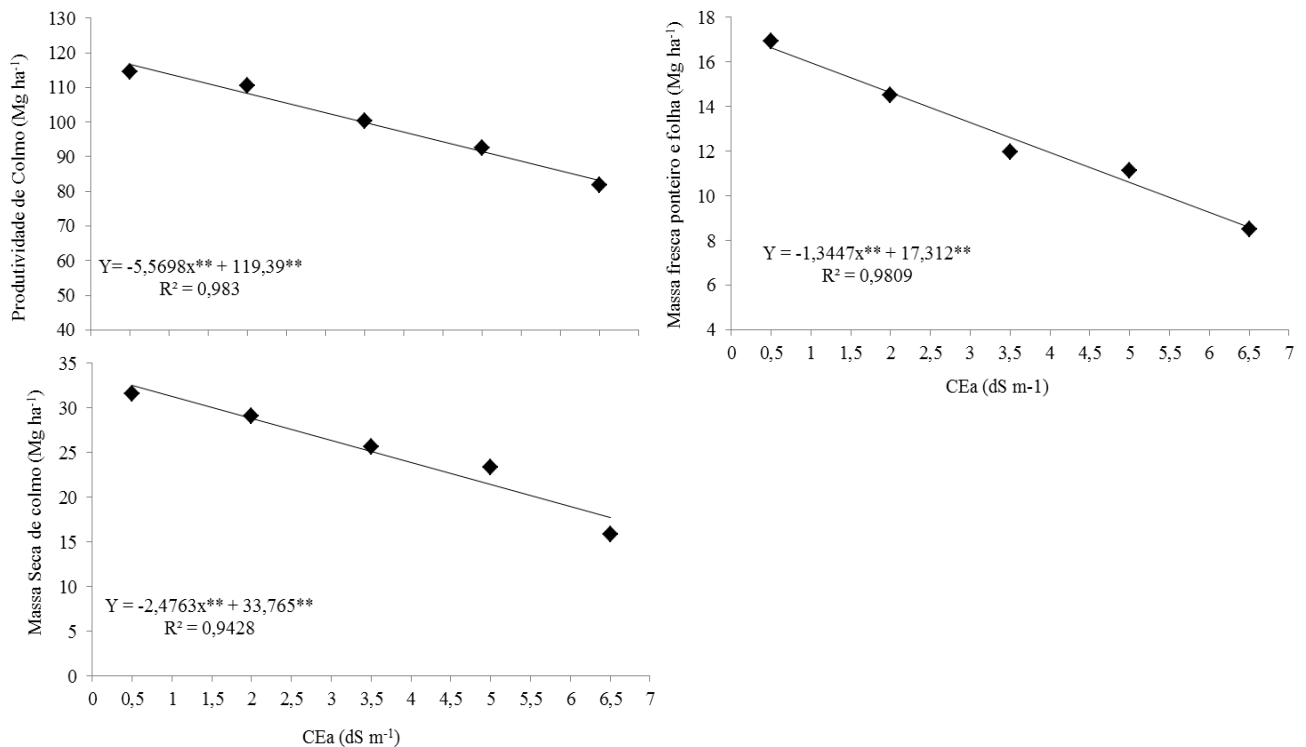
**Tabela 11.** Análise de variância das variáveis massa fresca de ponteiro e folha(MFPF), massa seca de ponteiro e folha (MSPF), produtividade de colmos (PROD) e massa seca de colmo (MSC) na cana-de-açúcar

Fonte	GL	PROD.	MSC	MFPF	MSPF
Varição		-----	(Pr>F) -----		
360 DAP					
CEa (S)	4	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
Lâmina (L)	1	0,0044**	0,0164*	0,0061**	0,0511ns
S x L	4	0,5611ns	0,0983ns	0,8141ns	0,0356*
CV (%)		9,98	17,18	10,89	15,59

\* e \*\* significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo

Ao analisar o o fator salinidade observou-se que, as reduções percentuais calculadas como a razão entre os coeficientes angular e linear (a/b) mostrou uma perda relativa com o aumento unitário da salinidade da água em  $\text{dS m}^{-1}$  de 4,67; 7,77; e 7,33%, para as variáveis PROD, MFPF e MSC respectivamente, (Figura 14).

A salinidade é um dos principais fatores limitantes a agricultura. As respostas ao estresse salino variam amplamente dependendo da espécie e do genótipo da planta. Enquanto algumas espécies apresentam elevada tolerância à salinidade, outras são altamente susceptíveis. Verifica-se, portanto, através dos resultados desta pesquisa ao aplicar a equação proposta por Fageria et al. (2010) uma redução na produção da ordem de 28,64; 49,67 e 49,76% para PROD, MFPF e MSC respectivamente para o tratamento de  $6,5 \text{ dS m}^{-1}$  quando comparado com a testemunha ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). De acordo com o resultado de massa seca a cultivar estudada nesta pesquisa (RB 867515) pode ser classificada como moderadamente susceptível aos sais, segundo a classificação de Fageria (1985) que demonstra esta classificação quando a redução na produção é da ordem de 41 à 60% em termos de matéria seca. Este resultado corrobora com a classificação proposta por Maas e Hoffmam (1977) que já haviam classificado a cana-de-açúcar como moderadamente sensível aos sais.



**Figura 14.** Produtividade de colmo (PROD), massa fresca de ponteiro e folhas (MFPP) e massa seca de colmo (MSC) da cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação

Resultado semelhante foi encontrado por Simões et al. (2016) em pesquisa com 10 variedades de cana e seis níveis de salinidade da água de irrigação, no qual, foi constatado reduções linear em função do aumento da salinidade da água para as variáveis de rendimento, sendo as variedades também classificadas como moderadamente sensível à salinidade, incluindo o genótipo estudado nesta pesquisa. No trabalho de Souto Filho (2013) o autor também encontrou decréscimo em função do aumento da CEa, porém, o autor pesquisou duas cultivares diferentes da cultivar desta pesquisa, e encontrou que a cultivar SP813250 é bem mais sensível ao sal, quando comparada com a RB92579.

A produtividade média encontrada neste estudo mostra-se acima da média nacional e do estado de Pernambuco que são de 76,152 e 53,019 ton ha<sup>-1</sup> respectivamente de acordo com a CONAB 2016. Obteve-se uma produtividade média nesta pesquisa de 114, 55 ton ha<sup>-1</sup> no nível mais baixo de CE da água (0,5 dS m<sup>-1</sup>) e no nível mais alto aplicado, encontrou-se uma produtividade média de 81, 73 ton ha<sup>-1</sup>, isto para as condições ambientais em que foi desenvolvido este trabalho.

O fator lâmina de irrigação apresentou efeito isolado para as variáveis: PROD, MSC e MFPP, sendo estes resultados apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12.** Valores médios de PROD, MSC, MFPP e MSPF da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação (Sem e com fração de lixiviação)

Causa de variação	PROD	MSC Mg ha <sup>-1</sup>	MFPP	MSPF
L1_100	95,0462b	23,3638b	11,7453b	3,6703a
L2_120	104,7451a	26,8314a	13,4661a	3,9207a
DMS	6,438	2,784	1,190	0,251

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Observa-se através da Tabela 12 que a exceção da MSPF as maiores médias foram encontrados na lâmina de irrigação L2 independente do nível salino aplicado. Fato ocorrido por se tratar da utilização de água salobra na irrigação e como já mencionado, dependendo do nível salino e da espécie e genótipo da planta, a salinidade pode provocar sintomas semelhantes ao do estresse hídrico nas culturas. Machado et al. (2009) afirmam que, alterações morfofisiológicas são realizadas pela planta para evitar os efeitos da baixa disponibilidade hídrica, e mesmo considerando essas alterações, a cana-de-açúcar apresenta decréscimo significativo na produção de fitomassa. Segundo Endres et al. (2010) para que a cultura expresse seu máximo potencial produtivo depende de condições ambientais favoráveis, dentre as quais, destaca-se a disponibilidade de água durante todo o ciclo. A cana-de-açúcar apresenta elevado consumo hídrico, necessitando, em média de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca durante seu período de crescimento (Larcher, 2006).

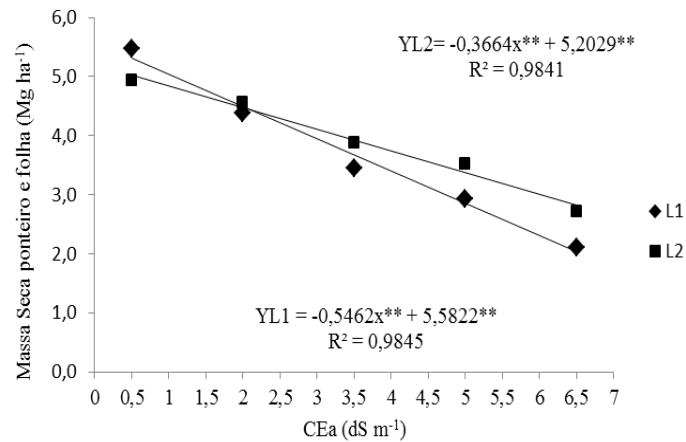
Nadian et al. (2012) estudando o efeito da água de irrigação com CE variando de 1 à 8 dS m<sup>-1</sup> juntamente com três taxas de nitrogênio na cultivar CP691062 dos 90 aos 180 DAP observaram diminuição no peso dos colmos à medida que a salinidade aumentava, e na menor aplicação de nitrogênio este efeito foi mais acentuado. Gava et al. (2011) estudando três cultivares de cana (RB867515, RB855536 e SP80-3280) com irrigação por gotejamento e sequeiro, observaram um aumento na produtividade de colmo de 24% sob as plantas irrigadas em comparação ao sistema de sequeiro, com uma média dos três genótipos de 132,2 e 106 ton ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Desta forma, fica evidenciado que a irrigação é um fator fundamental para maximizar a produtividade no setor canavieiro, mas não se pode esquecer que o seu manejo é muito importante, pois a irrigação superestimada também pode trazer sérios prejuízos. De acordo com Caldwell et al. (1994) a elevada e constante umidade no solo no solo causa deficiência na sua aeração e conseqüentemente diminuição no sistema radicular e redução na produção. Costa (2012) estudando a produtividade em função de diferentes lâminas de irrigação (25,50,75,



100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura) observou para a variedade RB855453 que as maiores produtividades ocorreram quando se utilizou 75 e 100% da evapotranspiração da cultura, e com a diminuição e aumento dessas lâminas de água, houve redução na produtividade. Ressalta-se desta forma, a importância de se ter um manejo adequado da água na irrigação, principalmente quando se trata de água salobra, que pode-se trazer sérios prejuízos a agricultura. Neste caso, a utilização de uma quantidade de água a mais que a necessidade da cultura pode trazer um ambiente mais favorável à planta por promover o arraste dos sais para fora da zona radicular, fato que ficou evidente no presente trabalho, mas, se faz necessário portanto, novos estudos com diferentes frações de lixiviação para se ter um conhecimento mais adequado de até que ponto esta fração favorecerá a planta.

Neste trabalho, apenas a variável massa seca de ponteiro e folhas apresentou interação entre salinidade e lâmina de irrigação, a análise do desdobramento da salinidade dentro das lâminas pode ser observada na Figura 15 e o desdobramento das lâminas dentro de cada salinidade pode ser verificado na Tabela 13.



**Figura 15.** Desdobramento para MSPF da salinidade dentro de cada lâmina de irrigação em cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação

**Tabela 13.** Desdobramento dos valores médios das lâminas de irrigação dentro de cada nível de salinidade para MSPF em cana-de-açúcar

Lâminas	0,5	2,0	3,5	5,0	6,5
	dS m <sup>-1</sup>				
L1_100	5,4817a	4,3792a	3,4460a	2,9405b	2,1042b
L2_120	4,9407a	4,5555a	3,8777a	3,5175a	2,7122a
DMS	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Observa-se através da Figura 15 que a salinidade proporcionou decréscimos na massa seca de ponteiro e folhas, porém esse decréscimo foi menor quando se utilizou a fração de lixiviação (L2). De acordo com as equações encontradas a diminuição foi na ordem de 9,78 e 7,0% quando se aplicou L1 e L2 respectivamente. Por meio do desdobramento realizado para as lâminas observou-se que dos quatro níveis de salinidade apenas em dois níveis a fração de lixiviação proporcionou maiores médias, à exceção da testemunha que não apresentava sal na água utilizada para irrigação. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de a maior quantidade de água sem a necessidade da planta proporcionar maiores perdas de nutrientes por lixiviação, ocasionando desta maneira um menor acúmulo de massa seca nas plantas. Verifica-se portanto que neste trabalho ao se utilizar água salobra na irrigação o uso da fração de lixiviação proporcionou melhores rendimentos.

Em estudo na cultura do sorgo forrageiro irrigado com efluente salino proveniente da piscicultura (CEa 2,5 dS m<sup>-1</sup>) e quatro frações de lixiviação (0, 5, 10 e 15%), Guimarães et al. (2016) observaram um maior aumento no rendimento do sorgo, quando se utilizou a maior fração de lixiviação, correspondente a 15%. Em pesquisa realizada com milho verde utilizando-se cinco frações de lixiviação, (0, 5, 10, 15 e 20%) e dois níveis de salinidade da água de irrigação (CEa 1,2 e 3,3 dS m<sup>-1</sup>), Carvalho et al. (2012) observaram que as variáveis de produção de grãos verdes, matéria fresca e seca da parte aérea apresentaram valores próximos ao recomendado quando se utilizou água de 3,3 dS m<sup>-1</sup> e fração de lixiviação de 10%, obtendo efeito deletério quando se utilizou fração de lixiviação maiores.

#### **6.4. Teor nutricional e íon sódio na parte aérea da cana-de-açúcar**

Observa-se por meio da análise de variância para o teor nutricional da cana-de-açúcar (Tabela 14) que o fator salinidade foi altamente significativo para todos os elementos analisados tanto no colmo como no ponteiro e folhas, exceto o elemento enxofre que não apresentou nenhum efeito dos fatores analisados.

O fator lâmina exerceu efeito significativo a 1% de probabilidade sobre os teores dos elementos: N, K, Ca, Mg, Na e Cl no colmo. Em ponteiro e folhas esses efeitos foram constatados sobre fósforo, potássio, cálcio, sódio e cloreto em (Tabela 14). Já a 5% de probabilidade o fator lâmina de irrigação mostrou efeito sobre o fósforo e magnésio no colmo e em nitrogênio no ponteiro e folhas.

Houve interação entre a salinidade e a lâmina de irrigação para os íons sódio e cloreto tanto no colmo como em ponteiro e folhas, e também nos nutrientes fósforo e cálcio em ponteiro e folhas (Tabela 14).

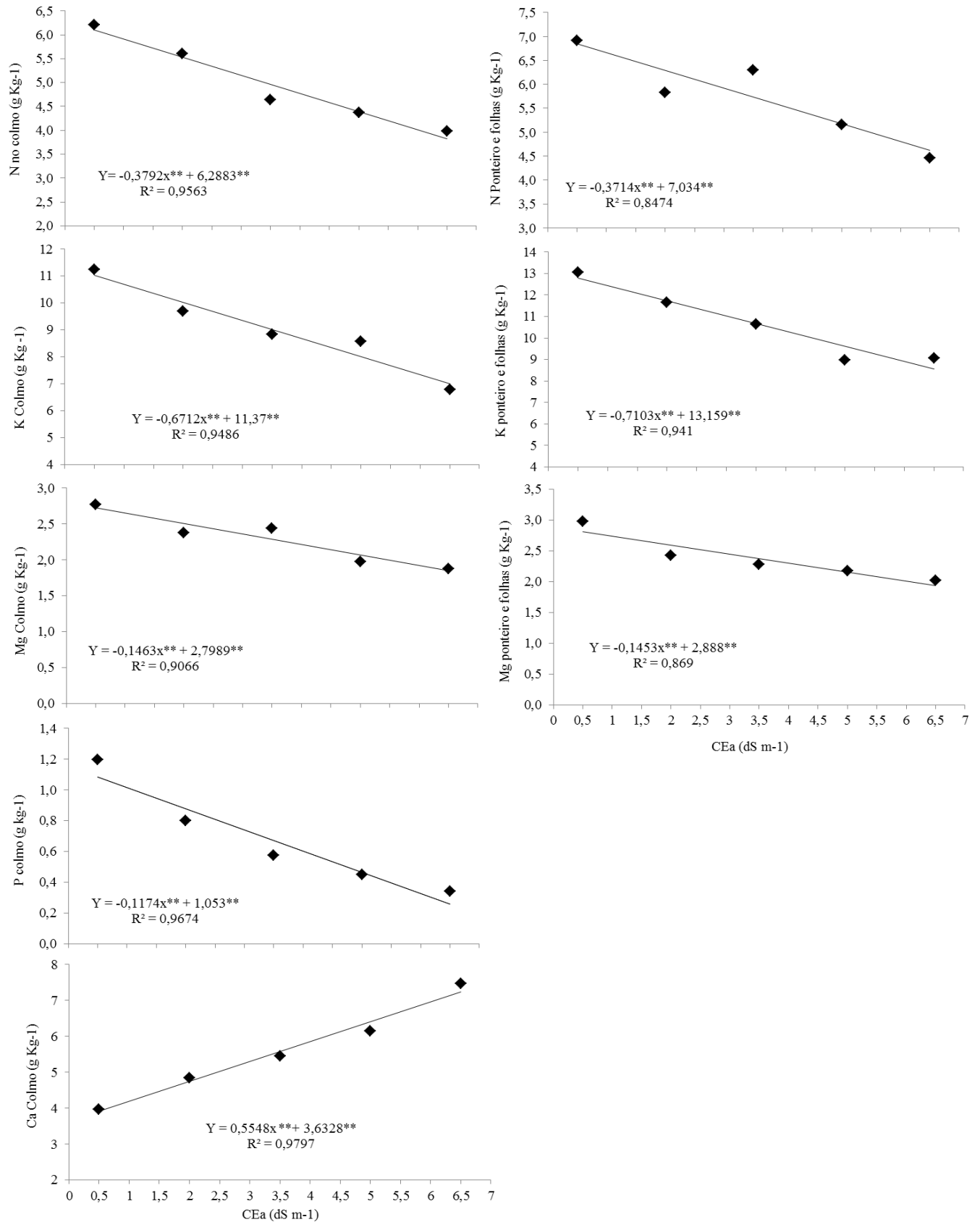
**Tabela 14.** Resumo da análise de variância dos íons nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), Cloro (Cl) e sódio (Na) na cana-de-açúcar em função dos níveis de salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação

Fonte Variação	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
----- (Pr>F) -----									
Colmo									
CEa (S)	4	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0001**	0,1729 ns	0,0000**	0,0000**
Lâmina (L)	1	0,0000**	0,0165*	0,0000**	0,0003**	0,0101*	0,5494 ns	0,0000**	0,0000**
S x L	4	0,8205ns	0,2530ns	0,5897ns	0,3870ns	0,5300ns	0,5136 ns	0,0000**	0,0003**
CV (%)		11,57	23,36	12,53	7,82	15,63	23,41	13,67	8,93
Ponteiro e Folhas									
CEa(S)	4	0,0000**	0,0000**	0,0001**	0,0000**	0,0000**	0,4625 ns	0,0000**	0,0000**
Lâmina (L)	1	0,0121*	0,0015**	0,0000**	0,0000**	0,7815ns	0,8672 ns	0,0000**	0,0000**
S x L	4	0,9423ns	0,0321*	0,1273ns	0,0233*	0,5513ns	0,2764 ns	0,0000**	0,0006**
CV (%)		14,69	12,37	13,58	13,91	12,82	53,73	21,14	14,11

\* e \*\* significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. ns - não significativo

Os resultados evidenciam que, de modo geral, houve uma redução dos elementos em função do aumento da salinidade da água, exceto para aqueles que fizeram parte na composição química da solução irrigante (Na, Cl e Ca) (Figuras 16 e 17), no qual, resultou em aumento dos teores destes elementos. Para o nitrogênio constatou-se que além do decréscimo do nutriente em função do aumento da salinidade da água, os teores deste elemento nas folhas não estão dentro da faixa adequada para a cultura de acordo com Malavolta et al. (1997), os quais, afirmam que a faixa normal é da ordem de 19-21 g kg<sup>-1</sup> e Bezerra Neto e Barreto (2011) que indicam teor adequado em folhas de cana-de-açúcar em torno de 16 g kg<sup>-1</sup>.

Nesta pesquisa o teor de N nas folhas variaram de 7 (testemunha) à 4,5 g kg<sup>-1</sup> (maior nível salino-T5), as plantas do referido estudo não demonstravam sintomas de deficiência de nitrogênio, e na literatura sobre a concentração ideal não há uma explicação de qual idade da planta e de que condições como tipo de solo proporcionaria esses valores, visto que neste trabalho a colheita foi realizada aos 360 DAP e as plantas haviam apresentado florescimento, fato que pode ter resultado neste valor baixo de nitrogênio para a testemunha.



**Figura 16.** Teores de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no colmo e N, K e Mg no ponteiro e folhas da cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação

Não foi encontrado na literatura o teor ideal dos nutrientes no colmo, e neste trabalho para o macronutriente nitrogênio encontrou-se valores que variavam de 6,3 à 4,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca. Em pesquisa do teor de macronutrientes em 11 variedades de cana-de-açúcar incluindo a que foi estudada neste trabalho (RB 867515), Oliveira (2008) verificou que a concentração de nutrientes foram decrescentes com o tempo, ou seja, na primeira análise aos 120 DAP observou-se um teor maior de nutrientes, no qual, o N estava dentro da faixa considerada adequada, e nas demais avaliações, que ocorreram a cada 30 dias, este teor diminuiu. Apenas para alguns nutrientes como o P e o Ca em algumas variedades, o teor diminuiu após os 120 DAP, mas depois aumentou, e voltou a diminuir com o passar dos dias, indicando assim, uma maior eficiência dos nutrientes com a idade. Neste trabalho de Oliveira (2008) aos 360 DAP, ou seja, mesma data em que ocorreu a colheita deste experimento, o autor encontrou uma média de 4 g kg<sup>-1</sup> de nitrogênio no colmo da variedade RB867515, sendo sua pesquisa realizada com irrigação plena até os 300 DAP. Nesta pesquisa, este valor foi o encontrado no nível mais alto de salinidade da água, comprovando desta maneira a não deficiência deste elemento no colmo das plantas. Isto evidencia que são importantes mais pesquisas com relação a quantificação dos teores nutricionais na cultura da cana-de-açúcar.

Apesar da não constatação de deficiência de nitrogênio nas plantas a diminuição do elemento em função do aumento da salinidade da água pode estar relacionada às elevadas concentrações de Cl na solução do solo, que de acordo com Marschner (2012) existe um efeito antagônico entre estes elementos, de maneira que altas concentrações de Cl diminui a absorção de N. Bar-tal, et al. (1991) em pesquisa realizada com milho, afirmam que o teor de N nas plantas é afetado pela salinidade e o transporte e a absorção de nitratos, são limitados em condições de salinidade devido ao efeito antagônico existente entre os íons de nitrato e cloro. Em cultivo de melão, Feigin et al. (1982) encontraram que o aumento da concentração do íon cloreto na solução nutritiva conduzia a uma diminuição do conteúdo de nitrato nos tecidos das plantas.

Para o elemento potássio (K) observou-se uma diminuição linear em função do aumento da salinidade da água na ordem de 5,9 e 5,3% para o colmo e para o ponteiro e folhas respectivamente em função do aumento da CEa (Figura 16). Os valores encontrados foram de 13 g kg<sup>-1</sup> (testemunha) e 9,05 g kg<sup>-1</sup> (T5) em ponteiro e folhas. De acordo com Bezerra Neto e Barreto (2011) o teor adequado em folhas de cana-de-açúcar é da ordem de 12 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, enquanto Malavolta et al. (1997) afirmam ser de 11-13 g kg<sup>-1</sup> e Raij et al. (1996) indica um teor adequado de 10-16 g kg<sup>-1</sup>, provando desta maneira que apesar da

redução no teor de K nas folhas e ponteiro, houve uma leve deficiência apenas nos dois níveis salinos mais altos (5 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>). Já para o colmo foram encontrados valores que variaram de 11 à 7 g kg<sup>-1</sup>. Esta redução do teor de K no colmo em função do aumento da salinidade ocorre pelo fato de que o Na e o K competirem pelo mesmo sítio de absorção. Segundo Deinlein et al. (2014) o K é o nutriente mais prejudicado por ambos serem cátions monovalentes, e quanto maior a concentração de um elemento na solução do solo o mesmo tende a ser mais absorvido pela planta e menor será a absorção do outro, fato ocorrido neste experimento quando se utilizou a lâmina de irrigação L1, ou seja, fração de lixiviação 0 que correspondia a 100% da evapotranspiração da cultura (Figuras 16 e 17).

Chiconato (2016) analisando duas variedades de cana SP 81-3250 e IAC 87-3396 com experimento em vaso em casa-de-vegetação aplicando irrigação aos 30 dias após o plantio (DAP) com águas salinizadas com NaCl (0, 4, 8 e 16 dS m<sup>-1</sup>) e avaliando os teores de sódio, potássio e a relação Na/K aos 45 e 60 (DAP) verificou que aos 45 DAP, ambas cultivares apresentaram maiores absorção de sódio na folha +3 e raízes, conforme maior concentração de NaCl. Aos 60 DAP, a cv. SP 81-3250 apresentou incremento de sódio sob salinidade somente nas raízes, demonstrando inibição do transporte deste elemento para a parte aérea. De acordo com Munns (2011), as plantas apresentam alguns mecanismos fisiológicos quando submetidas à salinidade. Entre estes mecanismos está a capacidade de excluir ou compartimentalizar os íons tóxicos nos vacúolos, de forma a inibir os efeitos negativos da salinidade nos tecidos vegetais. Ainda no estudo citado acima apenas a cv. IAC 87-3396 apresentou acentuada relação Na/K tanto nas folhas quanto nas raízes aos 60 DAP.

Gandonou et al. (2011) ao estudarem o efeito do estresse salino em duas cultivares de cana-de-açúcar no Marrocos CP66-346 (tolerante ao sal) e CP65-357 (sensível ao sal) irrigando por duas semanas as plantas com águas preparadas com NaCl e condutividade elétrica da água (CEa) de: 0,9; 2,8; 4,2 e 6,6 dS m<sup>-1</sup>, observaram que os níveis de Na, Cl nas folhas e raízes de ambas cultivares apresentaram um aumento desses elementos com o aumento da CEa e uma diminuição do K. Foi observado que a maior concentração de sódio e cloro ocorreu em folhas da cultivar mais tolerante, juntamente com menor redução do potássio.

Schossler et al. (2012) afirmam que, o menor desenvolvimento vegetal ocasionado pela salinidade geralmente tem sido atribuído à redução na absorção de nutrientes, principalmente o K e o Ca. Ferreira et al. (2001), afirmam que uma das respostas da planta à aplicação de NaCl é o aumento nas concentrações de Na e Cl e, conseqüentemente, redução nos níveis de K e Ca no diversos órgãos da planta. No presente estudo apesar de ser verificado um aumento no teor de Na

e Cl na parte aérea da planta (Figura 17) e redução do teor de K (Figura 16), observou-se também um aumento no teor de cálcio na parte aérea da planta (Figuras 16 e 17) em função do aumento da CEa, fato que ocorreu devido a água de irrigação apresentar alta concentração de Ca favorecendo sua absorção.

Neste experimento foi encontrada quantidades de Ca variando de 4 à 7,5 g kg<sup>-1</sup> no colmo e de 5 à 9 g kg<sup>-1</sup> no ponteiro e folhas na lâmina L1 e 4,7 à 7,5 g kg<sup>-1</sup> no ponteiro e folhas na lâmina L2 na testemunha e T5, respectivamente (Figuras 16 e 17). Observou-se que de acordo com a literatura para a concentração nas folhas de cana-de-açúcar esses teores encontram-se na faixa ideal, no qual Bezerra Neto e Barreto (2011) afirmam ser este valor em média de 4 g kg<sup>-1</sup>, já para Raij et al. (1996) a faixa de normalidade está entre 2 e 8 g kg<sup>-1</sup> e de acordo com Malavolta et al. (1997) este valor vai até 10 g kg<sup>-1</sup>.

Segundo Rengel (1992) quando a concentração de Na eleva-se no citosol ocorrem alterações na absorção e no metabolismo do Ca. O Na substitui o Ca das membranas celulares afetando a permeabilidade das mesmas. No entanto, a existência de uma alta concentração de cálcio na solução do solo tende a minimizar os efeitos do sódio no ambiente salino, pois o mesmo apresenta uma alta energia de adsorção no solo e de acordo com (Pizarro, 1985) o cálcio é o cátion mais sujeito a reação na troca iônica. LaHaye e Epstein (1969) Observaram durante a década de 1960, que a adição de Ca ao solo diminuiu a desestabilidade das membranas nas plantas ocasionadas pelo Na. Porém, neste trabalho observou-se um aumento tanto de sódio, quanto de cálcio na parte aérea das plantas.

Marschner (2012) afirma que, o Ca em baixas concentrações favorece a absorção do K, porém, o mesmo autor afirma que em altas concentrações o Ca inibe a absorção do K e do Mg, fato que pode ter ocorrido neste trabalho, pois observou-se também uma redução significativa do nutriente magnésio em função do aumento da salinidade da água (Figura 16). Prado (2008) afirma que há um efeito antagônico entre Ca e Mg, ou seja, o excesso de um prejudica a absorção do outro. Em estudo com diferentes doses de N e Ca na cultura do pinhão manso Garrone et al. (2016) observaram que com o aumento das doses de Ca na água de irrigação houve uma diminuição na absorção do Mg pelas plantas.

De acordo com Hu e Schmidhalter (1997) há também uma competição iônica entre o Na e o Mg de maneira que elevadas concentrações de sódio pode proporcionar diminuição da absorção de magnésio, fato que também contribuiu para que este elemento fosse reduzido na parte aérea das plantas com o aumento salinidade da água de irrigação. Nesta pesquisa apesar de se ter evidenciado diminuição do teor de magnésio em função do aumento da salinidade, os teores encontrados estão dentro da faixa da normalidade (2-3 g kg<sup>-1</sup>) para as folhas de acordo

com Malavolta et al. (1997) e Bezerra Neto e Barreto (2011), foi encontrado valores médios que variaram de 3 à 2 g kg<sup>-1</sup> para ponteiro e folhas e de 2,7 à 1,8 g kg<sup>-1</sup> em colmos na testemunha e no nível de salinidade T5.

O teor de fósforo também decresceu em função do aumento da salinidade da água, isto pode ter ocorrido devido a competição iônica que ocorre entre o Cl e o P (Marschner, 2012). Os resultados encontrados nesta pesquisa, demonstram que apenas a testemunha estava dentro da normalidade do teor de fósforo nas folhas, onde de acordo com Bezerra Neto e Barreto (2011) o teor adequado é por volta de 1,2 g kg<sup>-1</sup>, já para Malavolta et al. (1997) esta faixa é de 2 à 2,4 g kg<sup>-1</sup> e neste trabalho foi encontrado valores que variaram entre 1,16 à 0,31 g kg<sup>-1</sup> em ponteiro e folhas na lâmina L1 e 1,18 à 0,6 g kg<sup>-1</sup> em ponteiro e folhas na lâmina L2 e 1,2 à 0,34 g kg<sup>-1</sup> em colmos (Figuras 16 e 17). Outra resposta fisiológica das plantas ao estresse é que o aumento nas concentrações de Ca no citoplasma, pode acarretar em prejuízos como a precipitação do fosfato, prejudicando assim o metabolismo energético da planta (Epstein e Bloom, 2006).

De maneira geral a salinidade, reduz a atividade dos íons em solução e altera os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes nas plantas (Farias et al., 2009). Lauchli e Epstein (1990) afirmam que os íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, podem provocar desequilíbrio nutricional nas plantas, sendo frequente a deficiência de elementos como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e nitrato.

Com o objetivo investigar os efeitos dos sais NaCl e Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sobre o conteúdo de Ca, Cl, K, Mg, N, P, S, Na, na macrófita aquática flutuante *Salvinia auriculata*, Gomes et al. (2011) observaram diminuição do conteúdo dos íons Ca, K, Mg, P, N nas plantas a medida em que se aumentava a concentração dos sais nos tratamentos. Coelho (2013) ao estudar 10 genótipos de sorgo forrageiro e seis condutividades elétricas da água de irrigação variando de 0 à 12,5 dS m<sup>-1</sup> em experimento em vaso em casa-de-vegetação encontrou uma diminuição nos teores de P, K, Ca e S nos colmos das plantas independente do genótipo estudado. Em experimento com solução nutritiva preparada com NaCl Lira et al. (2015) também verificaram redução nos teores de N, K, Ca e Mg em folhas de couve chinesa. No entanto as reduções nutricionais em função da salinidade dependem da concentração, do tipo de sal, do tempo de exposição e da espécie da planta, pois, Cruz et al. (2006) estudando plântulas de Maracujazeiro-amarelo, durante 50 dias de crescimento sob condições salinas, observaram que a concentração dos íons Na e Cl no tecido foliar aumentaram com o acréscimo da salinidade no meio de cultivo. Já com relação as concentrações de N, P e Ca foi observado



pelos autores que as plantas não foram afetadas pela salinidade nessa fase de desenvolvimento. As concentrações de K, ao contrário, decresceram, enquanto as do enxofre (S) foi reduzida apenas nas raízes.

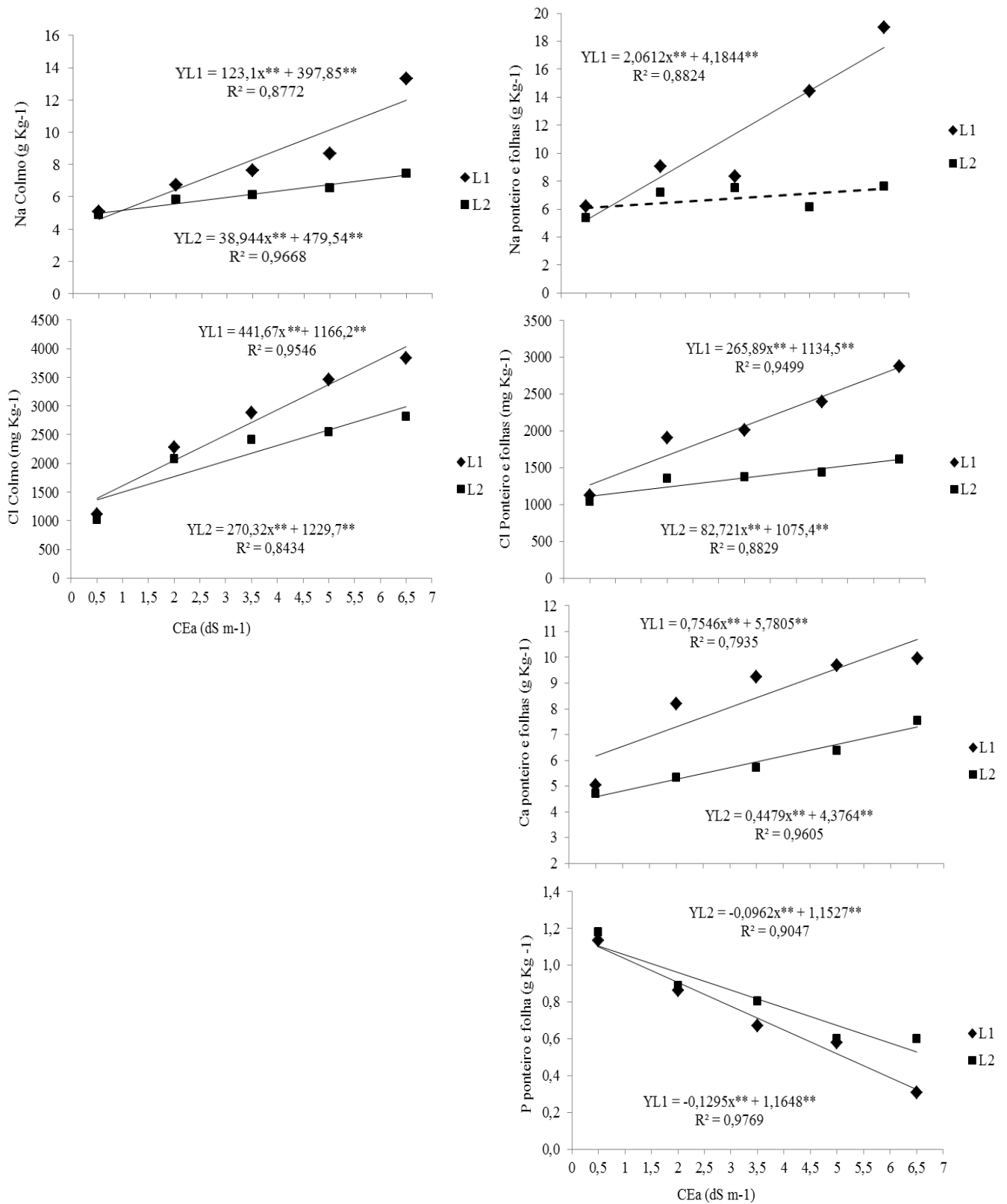
No presente estudo verificou-se que o fator lâmina exerceu influência significativa isolada para quase todos os elementos analisados, exceto para Mg no ponteiro e folhas e para o nutriente enxofre tanto no colmo quanto no ponteiro e folhas (Tabela 15). Observou-se portanto, que para os macronutrientes com a utilização da maior lâmina ocorreu uma maior absorção dos mesmos, exceto para o cálcio que ocorreu da mesma forma para os íons tóxicos (Cl e Na) onde a maior lâmina de água proporcionou uma redução destes elementos nos órgãos das plantas de cana-de-açúcar avaliados. Isto ocorreu provavelmente porque, já que foi aplicado uma maior lâmina do que a necessidade da planta, ocorreu uma maior dissolução desses elementos favorecendo uma maior absorção dos nutrientes essenciais e redução na concentração dos íons sódio, cloreto e cálcio na parte aérea da planta.

**Tabela 15.** Valores médios dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e o íon sódio (Na), e o micronutriente cloro (Cl) no colmo e ponteiro e folhas da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação (Sem e com fração de lixiviação)

Causa de Variação	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
-----Colmo -----								
L1	4,1825b	0,5818b	8,1691b	5,8574a	2,1316b	0,5986a	8,2871a	2712,08a
L2	5,7400a	0,7022a	9,8721a	5,2916b	2,4419a	0,6260a	6,1584b	2175,86b
DMS	0,3708	0,0968	0,7301	0,2816	0,2307	0,0925	0,6374	140,8870
-----Ponteiro e Folhas-----								
L1	5,3783b	0,7113b	9,5634b	8,4217a	2,3659a	0,4013a	11,3987a	2065,08a
L2	6,0900a	0,8159a	11,7819a	5,9440b	2,3929a	0,4130a	6,7778b	1364,90b
DMS	0,5438	0,0609	0,9362	0,6454	0,1970	0,1413	1,2405	156,2329

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

A interação entre os fatores salinidade e lâmina de irrigação apresentou efeito significativo sobre os nutrientes fósforo e cálcio no ponteiro e folhas, e também sobre os íons sódio e cloreto na parte aérea da planta. O desdobramento do fator salinidade dentro de cada lâmina pode ser verificado através da Figura 17. E o desdobramento das lâminas dentro de cada nível salino pode ser verificado na Tabela 16.



**Figura 17.** Desdobramento dos teores de sódio (Na), cloreto (Cl), fósforo (P) e cálcio (Ca) em função da salinidade dentro de cada lâmina de irrigação na cana-de-açúcar

**Tabela 16.** Desdobramento dos valores médios de sódio (Na), cloreto (Cl), cálcio (Ca) e fósforo (P) em função das lâminas de irrigação dentro de cada nível de salinidade na cana-de-açúcar

Causa de variação	0,5	2,0	3,5	5,0	6,5
	-----dS m <sup>-1</sup> -----				
	---(Na) Colmo (g kg <sup>-1</sup> )---				
L1_100	5,0742a	6,7327a	7,6237a	8,6633a	13,3415a
L2_120	4,8762a	5,8168a	6,1138b	6,5594b	7,4257b
DMS	1,4253	1,4253	1,4253	1,4253	1,4253
	---(Na) Ponteiro e folhas (g kg <sup>-1</sup> )---				
L1_100	6,2132a	9,0273a	8,3489a	14,4354a	18,9685a
L2_120	5,3951a	7,1796a	7,5269a	6,1594b	7,6279b
DMS	2,7739	283,996	283,996	283,996	283,996
	---(Cl) Colmo (g kg <sup>-1</sup> )---				
L1_100	1107,8750a	2282,2225a	2880,4750a	3456,5700a	3833,2425a
L2_120	1019,2450a	2082,8050a	2415,1675b	2548,1125b	2814,0025b
DMS	315,0329	315,0329	315,0329	315,0329	315,0329
	--- (Cl) Ponteiro e folhas (g kg <sup>-1</sup> ) ---				
L1_100	1130,0325a	1905,5450a	216,3325a	2393,0100a	2880,4750a
L2_120	1041,4025a	1351,6075b	1373,7650b	1440,2375b	1617,4975b
DMS	349,3474	349,3474	349,3474	349,3474	349,3474
	--- (Ca) Ponteiro e folhas (g kg <sup>-1</sup> )---				
L1_100	5,0335a	8,1895a	9,2500a	9,6950a	9,9405a
L2_120	4,7200a	5,3290b	5,7360b	6,3825b	7,5525b
DMS	1,4433	1,4433	1,4433	1,4433	1,4433
	--- (P) Ponteiro e folhas (g kg <sup>-1</sup> )---				
L1_100	1,1363a	0,8636a	0,6704a	0,5795a	0,3068b
L2_120	1,1818a	0,8863a	0,8068a	0,6022a	0,6022a
DMS	0,1363	0,1363	0,1363	0,1363	0,1363

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Observa-se através da Figura 17 um incremento nos teores de sódio, cloro e cálcio nas plantas de cana-de-açúcar, sendo este aumento atenuado com a utilização da fração de lixiviação (L2). Verifica-se portanto que, o uso da fração de lixiviação foi eficiente na remoção destes sais das camadas de solo em que foi explorado pelo sistema radicular da planta. Confere-se para o elemento sódio no colmo, que quando se utilizou a fração de lixiviação para o nível mais salino (6,5 dS m<sup>-1</sup>) uma concentração de 7,42 g kg<sup>-1</sup> e na lâmina de irrigação L1 obteve-se um teor de 13,35 g kg<sup>-1</sup>, ou seja, com a utilização da lâmina L2 houve redução de 44,4% na concentração deste íon que é considerado tóxico para a cana-de-açúcar.

Para o cloreto observou-se um incremento de 37,87 e 22,64% em colmo e ponteiro e folhas respectivamente, quando se utilizou a lâmina de irrigação L1. No entanto, este incremento foi da ordem de 21,98 e 7,69% em colmo e ponteiro e folhas quando se utilizou a fração de lixiviação correspondente a lâmina (L2). Já para o nutriente cálcio no ponteiro e

folhas houve um aumento de 13,05 e 7,69% com a utilização da L1 e L2 respectivamente (Figura 17). O fósforo apresentou uma maior concentração no ponteiro e folhas com a utilização da fração de lixiviação (L2) que apesar de apresentar redução em função do aumento da salinidade da água obteve-se uma diminuição de 8,34% enquanto que na utilização da lâmina L1 essa redução foi de 11,11%.

Com os resultados encontrados verifica-se, de maneira geral, que o uso da fração de lixiviação diminuiu os desequilíbrios nutricionais provocados pela salinidade da água de irrigação (Figura 17 e Tabela 16), corroborando com Medeiros et al. (2010) que afirmam que, quando se trabalha com água salina para irrigação, a aplicação de uma lâmina de água a mais que a necessidade da cultura pode promover um ambiente mais aceitável pela planta.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2005) em pesquisa sobre os efeitos do sódio e os nutrientes cálcio, magnésio e potássio na cultura do milho em experimento conduzido em lisímetros de drenagem, aplicando irrigação com água doce (sem lixiviação) e água de  $1,2 \text{ dS m}^{-1}$  com frações de lixiviação de (40, 30, 20, 15, 10 e 5% da lâmina de irrigação), sendo esta água preparada com NaCl e  $\text{CaCl}_2$ , os autores verificaram que exceto para o tratamento que foi irrigado com água doce, os demais proporcionaram um aumento na condutividade elétrica do solo (CEes), sendo este aumento atenuado com o acréscimo da fração de lixiviação. Foi observado no referido trabalho um incremento linear do íon sódio nas folhas do milho a medida em que se aumentou a CEes, ou seja, nas menores frações de lixiviação acarretaram em um maior acúmulo de sódio, sendo este resultado inversamente proporcional para os elementos Ca, Mg e K que foram mais absorvidos quando se utilizou as maiores frações de lixiviação.

Com a mesma pesquisa citada anteriormente Garcia et al. (2005) pesquisaram as relações do micronutriente Cl com os nutrientes N, P e S, e os resultados foram semelhantes ao de Na e os demais elementos, ou seja, houve um incremento linear do cloreto nas folhas de milho a medida em que diminuiu-se as frações de lixiviação, e redução nos elementos N, P e S com as reduções das frações de lixiviação.

## 7. CONCLUSÕES

- A fração de lixiviação proporcionou maior crescimento e rendimento na cana-de-açúcar nas diferentes datas de análises;
- No final do experimento o maior diâmetro do colmo foi encontrado nas plantas na qual, utilizou-se a fração de lixiviação;
- A salinidade influenciou de maneira negativa as variáveis de crescimento (AP, NP, AF, DC e NF) e rendimento (PROD, MSC, MFPP e MSPF) na cana-de-açúcar em diferentes épocas do ciclo;
- O diâmetro do colmo foi a variável mais afetada pelo aumento da salinidade da água de irrigação apresentando reduções lineares dos 90 DAP até a última análise 300 DAP;
- O aumento da salinidade da água de irrigação resultou em menores concentrações de N, P, K e Mg, e elevou os teores de Na, Cl e Ca na parte aérea da cana-de-açúcar;
- O uso da fração de lixiviação proporcionou maior absorção dos macronutrientes essenciais para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, exceto para o elemento Ca, no qual na lâmina L1 apresentou maior concentração;
- O uso da fração de lixiviação mostrou-se eficiente na remoção dos sais Na, Cl e Ca das camadas de solo em que foi explorado pelo sistema radicular da cana-de-açúcar;
- Nas condições deste experimento, a cana-de-açúcar cultivar RB86 7515 foi classificada como moderadamente sensível a salinidade.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque Filho, J. A. C.; Lima, V. L. A.; Menezes, D.; Azevedo, C. A. Dantas Neto, J.; Silva Júnior, J. G. Características vegetativas do coentro submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.671–679, 2009.

- Almeida, O. A. de. Qualidade da água de irrigação. – Dados eletrônicos. – Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. [http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro\\_qualidade\\_agua.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro_qualidade_agua.pdf). 24 de Nov 2014.
- Armas, C.; Padilla, F. M.; Pugnaire, F. I.; Jackson, R. B. Hydraulic lift and tolerance to salinity of semiarid species: Consequences for species interactions. **Ecologia**, v.162, p.11-21, 2010.
- Assis Júnior., J. O.; Lacerda, C. F.; Silva, F. B.; Silva, F. L. B.; Bezerra, M. A; Gheyi, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3 p.702-713, 2007.
- Azevedo Neto, A. D. Estresse salino, estresse oxidativo e tolerância cruzada em plantas de milho. In: Nogueira, R. M. C.; Araújo, E. L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, v.1, 2005. 499 p.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. Qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. **Estudos FAO: Irrigação e Drenagem**, 29.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.
- Barros, A. H. C. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Árvore do conhecimento - Território Mata Sul Pernambucana – Clima**. 2011. [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html). 12 Abr 2016.
- Barros, M. de F. C.; Fontes, M. P. F.; Alvarez, V. V. H.; Ruiz, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n.3, p. 320-326, 2005.

- Bar-tal, A.; Feigenbaum, S.; Sparks, D. L. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. **Irrigation science**, v.12, p.27-35, 1991.
- Batista, L. M. T. **Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos**. Brasília. Universidade de Brasília, 2013. 125p. Dissertação de mestrado.
- Benincasa, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal : UNESP-Campus de Jaboticabal. 1988. 41p.
- Benites, V.M.; Carvalho, M.C.; Resende, A.V.; Polidoro, J.C.; Bernardi, A.C.C.; Oliveira, F.A. O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura Brasileira. In: Prochnow, L.I.; Casarin, V. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Distrito Federal, 2009. Cap. 16, p. 100-130.
- Bermann, C. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.60, n.3, p.20-29, 2008.
- Bernardo, S.; soares, A. A.; Mantovani, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2010. 625p.
- Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267 p.
- Bezuidenhout, C. N.; O'Leary, G. J.; Singels, A.; Bajic, V.B. A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural Systems**, v.76, n. 2, p. 589-599, 2003.
- Brady, N. C.; Weil, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 975p.
- Bray, S. C. **A cultura da cana-de-açúcar no Vale do Paranapanema**. São Paulo. Universidade de São Paulo, 1980. 304p. Tese de doutorado em Geografia.

- Bresler, E.; McNeal, B. L.; Carter, D. L. **Saline and sodic soils: principles dynamics - modeling**. Berlin: Springer-Verlag, 1982. 236p. (Advanced series in Agricultural Sciences, 10).
- Brito, R. A. L.; Andrade, C. L. T. Qualidade da água na agricultura e no ambiente. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.31, n.259, p. 50-57, 2010.
- Cabanero, F. J., Martinez, V., Carvajal, M. Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants, or is it water flux, which determines calcium uptake. **Plant Science**, v.166, p.443-450, 2004.
- Caldwell, D. S.; Spurgeon, W. E.; Manges, H. L. Frequency of irrigation subsurface drip-irrigated corn. **Transactions of the ASAE**, Manhattan, v. 37, n.4, p. 1099-103, 1994.
- Campos, L. R.; Raposo, I. P. A.; Maia, A. I. S. O Trabalhador na Entressafra: atividades desenvolvidas e condições de vida. In: GALINDO, O. **Desemprego sazonal na atividade açucareira pernambucana: Zona da Mata e Região Metropolitana do Recife**. Recife: Editora Massangana, 2009, p.84-109.
- Carlin, S. D.; Silva, M. A.; Perecin, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n.296, p.457-466, 2004.
- Carvalho, J. F.; Tsimpho, C. J.; Silva, E. F. F.; Medeiros, P. R. F.; Santos, M. V.; Santos, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 368-374, 2012.
- Casagrande, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia de cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP. 157 p., 1991.
- Cesnik, R.; Miocque, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.



- Chaves, M. M.; Flexas, J.; Pinheiro, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551–560, 2009.
- Chiconato, D. A. **Estresse salino em plantas jovens de cana-de-açúcar: Respostas bioquímicas e fisiológicas**. Jaboticabal: UNESP, 2016. 89p. Tese Doutorado.
- Cidade, D. A. P.; Garcia, R. O.; Duarte, A.C.; Sachettos-Martins, G.; Mansur, E. Morfogênese in vitro de variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.4, n.3, p.385-391, 2006.
- Coelho, D. S. **Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológico de genótipos de sorgo forrageiro**. Juazeiro. Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2013, 85 p. Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v.3, n.1 - safra 2016/2017 – Primeiro levantamento, Brasília, p.1-66, Abril 2016.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v.2, n.3 - safra 2015/2016 – terceiro levantamento, Brasília, p.1-65, dezembro 2015.
- Cosgrove, D. J. Water uptake by growing cells: an assessment of the controlling roles of wall relaxation, solute uptake and hydraulic conductance. **International Journal of Plant Science**, v. 154, p. 10-21, 1993.
- Costa Sobrinho, A.F. **Análise de cenários da salinização dos aquíferos costeiros da planície do Recife levando em conta os efeitos da elevação do nível do mar**. Recife. Universidade Federal de Pernambuco, 2014. 229p. Tese de doutorado.

- Costa, C. T. S. **Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis, SP.** Botucatu. Universidade estadual Paulista, 2012. 102p. Tese de doutorado.
- Costa, D. M. A.; Melo, H. N. S.; Ferreira, S. R.; Dantas, J. A. Conteúdo de N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no amaranto (*Amaranthus* spp) sob estresse salino e cobertura morta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n.2, p.209-216, 2008.
- Costa, C. C. **Medidas protecionistas utilizadas pelos Estados Unidos e União Européia para o açúcar: impacto sobre a economia das regiões exportadoras do Brasil.** Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. 291p. Tese de doutorado em Economia Aplicada.
- Cramer, G. R.; Alberico, G. J.; Schmidt, C. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.21, p.675-692, 1994.
- Cronquist, A. **An Integrated System of Classification of Flowering Plants.** New York: Columbia University Press. 1262 p. 1981.
- Cruz, J. L.; Pelacani, C. R.; Coelho, E. F.; Caldas, R. C.; Almeida, A. Q.; Queiroz, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2006.
- Custódio, E. Coastal aquifers of Europe: an overview. **Hydrogeology Journal**, v.18, p.269–280, 2010.
- Deinlein, U.; Stephan, A. B.; Horie, T.; Luo, W.; XU, G.; Schroeder, J. I. Plant salt-tolerance mechanisms. **Trends in Plant Science**, Oxford, v.6, p.371-379, 2014.

- Dias, N. S.; Blanco, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. Cap.9, p.127-141.
- Dillewijn, C. Van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botânica, 1952. 433 p.
- Diola, V.; Santos, F. Fase de cultivo. In: Santos, F.; Borém, A.; Caldas, C. **Bioenergia, açúcar e álcool-tecnologia e perspectivas**. Viçosa, MG, 2010. Cap. 2, p. 25-49.
- Doorenbos, J. Y Pruitt, W. O. Crop water requirements. **FAO Estudio de Riego y Drenaje**, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, n. 24, 1977. 144 p.
- Endres, L.; Silva, J. V.; Ferreira, V. M.; Barbosa, G. V. S. Photosynthesis and Water Relations in Brazilian Sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v.4, p.31-37, 2010.
- Engvild, K.C. Chlorine-containing natural compounds in higher plants. **Phytochemistry**, v.25, p.781- 791,1986.
- Epstein, E.; Bloom, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- Fageria, N. K.; Soares Filho W.; Gheyi H. R. Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: Ghey H. R.; Dias N. S.; Lacerda C. F. (Eds.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. Cap.13, p.205-218.
- Fageria, N.K. Salt tolerance of rice cultivars. **Plant and Soil**, v.88, n.2 p.237-243, 1985.
- Farias, S. G. G.; Santos, D. R.; Freire, A. L. O.; Silva, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de *Gliricídia* (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1499-1505, 2009.

- Feigin, A., Letey, J., Jarreth, W. M. Nitrogen utilization efficiency by drip irrigated celery receiving or water applied N fertilizer. **Agronomy Journal.**, Madison, v.74 p.978-983, 1982.
- Ferreira, F. **Avaliação dos Impactes das Alterações Climáticas nos Aquíferos Costeiros do Concelho de Almada.** Lisboa: Faculdade de ciências, 2014. 89p. Dissertação Mestrado.
- Ferreira, P. A.; Moura, R. F.; Santos, D. B.; Fontes, P. C. R.; Melo, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.570–578, 2006.
- Ferreira, P. A.; Garcia, G. O.; Santos, D. B.; Oliveira, F. G.; Neves, J. C. L. Estresse salino em plantas de milho: II – Macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Suplemento, p.11-15, 2005.
- Ferreira, P. A.; Freire, M. B. G. dos S.; Freire, F. J. Sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de água salinas de irrigação. In: **XII Reunião Brasileira de manejo e conservação do solo e da água**, Cuiabá: UFMT, p.13-13, 2002.
- Ferreira, R. G.; Távora, F. J. A. F.; Hernandez, F. F. F. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.79-88, 2001.
- Figueiredo, P. Breve história da cana-de-açúcar e o papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: **Cana-de-Açúcar**. 1.ed. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2008. Cap. 1, p.31-44.
- Folegatti, M. V.; Blanco, F. F. Desenvolvimento vegetativo do pepino enxertado irrigado com água salina. **Scientia Agricola**, v.57, p.451-457, 2000.
- Fuller, W. H. **Water soil and crop management, principles for the control of salts.** Tucson: University of Arizona. 1967. 21 p. (University of Arizona. Bulletin, A – 23).

- Gandonou, C. B.; Bada, F., Gnancadja; S. L., Abrini, J.; Skali-senhaji, N. Effects of NaCl on  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{K}^+$  ions accumulation in two sugarcane (*Saccharum* sp.) cultivars differing in their salt tolerance. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, Ilhas Vitória, v.3, p.155-162, 2011.
- García, M. Medina, E. Crecimiento y morfología radical en dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) sometidos a salinización con sales simples o suplementadas con cálcio. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.27,n.1, p. 17-38, 2010.
- Garcia, G. O.; Ferreira, P. A.; Miranda, G. V.; Neves, J. C. L.; Moraes, W. B.; Santos, D. B. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. **IDESIA**, v. 25, n. 3, p. 93-106, 2007.
- Garcia, G. O.; Ferreira, P. A.; Santos, D. B.; Oliveira, F. G.; Miranda, G. V. Estresse salino em plantas de milho: I – macronutrientes aniônicos e suas relações com o cloro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.26-30, 2005.
- García, M.; Medina, E. Crecimiento y acumulación de prolina en dos genotipos de caña de azúcar sometidos a salinización con cloruro de sódio. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.20, p.168-179, 2003.
- Garrone, R. F.; Campos, A. G.; Silveira, C. P.; Lavres Júnior, J. Produção de biomassa, diagnose nutricional e absorção de nitrogênio e cálcio durante crescimento inicial do pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n.1, p. 22-31, 2016.
- Gascho, G. J.; Shih, S. F. Sugarcane. In: Teare, I. D.; Peet, M. M. **Crop-water relations**. New York: John Wiley. 1983. 547p.
- Gava, G. J. de C.; Silva, M. A.; Silva, R. C.; Jeronimo, E. M.; Cruz, J. C. S.; Kölln, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por

gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 250-255, 2011.

Gheyi, H. R.; Medeiros, S. S.; Soares, F. A. L. Uso e reúso de águas de qualidade inferior: realidade e perspectivas. In: Workshop uso e reúso de águas de qualidade inferior, 1., 2005, Campina Grande. **Transcrição das palestras ...** Campina Grande: UFCG; UEPB; 2005. 1 CD-ROM.

Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Batista, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação dos solos salinos e sódicos**. Curso de Especialização em Irrigação e Drenagem. Mossoró: ESAM, 1991. 56p. Apostila.

Gomes, M. A. C.; Suzuki, M. S.; Cunha, M. Tullii, C. F. Effect of salt stress on nutrient concentration, photosynthetic pigments, proline and foliar morphology of *Salvinia auriculata* Aubl. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 23, n. 2, p. 164-176, 2011.

Gomes, G. (Ed.). **Engenho e Arquitetura**. Recife: Massangana, 2006. 411 p.

Grattans, S.R.; Grieve, C.M. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessaraki, M. (Ed). **Plant and Crop Stress**. Tucson: Marcel Dekker, 1993. p.203-226.

Guimarães, M. J. M.; Simões, W. L.; Tabosa, J. N.; Santos, J. E.; Willadino, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016.

Hermann, E. R.; Câmara, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.

- Hespanhol, I. Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.4, p. 75-95, 2002.
- Hoffman, G. J. Alleviating salinity stress. In: G. F. Arkin and H. M. Taylor, (Eds.). **Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress**. American Society of Agricultural Engineers, Michigan, p. 305-341, 1981.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 43-61.
- Hu, Y.; Schmidhalter, U. Interactive effects of salinity and macronutrient level on wheat - part II: composition. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, n.9, p.1169-1182, 1997.
- Hussain, A.; Khan, Z. I. ; Ashraf, M.; Rashid, M. H.; Akhtar, S. Effect of salt stress on some growth attributes of sugarcane cultivars CP-77-400 and COJ-84. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.6, n.1, p.188-191, 2004.
- Inman-Bamber, N. G; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.185-202, 2005.
- Inman-Bamber, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.89, p.107-122, 2004.
- Inman-Bamber, N. G.; Jager, J. M. Effect of water stress on growth, leaf resistance and canopy temperature in field grown sugarcane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, June 1986.
- IPA – Instituto de Pesquisa Agrônômica de Pernambuco. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3.ed. Recife: IPA, 2008. 212 p.

- Ishiguro, M.; Song, K. C.; Yuita, K. Ion transport in an Allophanic Andisol under the influence of variable charge. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, no. 6, p. 1789–1793, 1992.
- Jacobsen, T., Adams, R. M. Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture. **Science**, v.128, p. 1251–1258, 1958.
- Jadoski, C. J. et al. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, 3, set. 2011.
- Kafkafi, U. Plant nutrition under saline conditions. In: Shainberg, I., Shalhevet, K. (Ed.). **Soil salinity under irrigation**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p. 319-338. (Ecological Studies, 51).
- Keller, J.; Karmeli, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, v.17, p.678-684, 1974.
- Kumar, T.; Khan, M. R.; Abbas, Z.; Ali, G. M. Genetic improvement of sugarcane for drought and salinity stress tolerance using *Arabidopsis* vacuolar pyrophosphatase (AVP1) gene. **Molecular Biotechnology**, Totowa, v.56, n.3, p.199-209, 2014.
- LaHaye, P. A.; Epstein, E. Salt toleration by plants: enhancement with calcium. **Science**, v.166, p.395-396, 1969.
- Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A; Franco. A. C. São Carlos, 2006. 531p.
- Larcher, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A; Franco. A. C. São Carlos, 2000. 533p.



- Läunchli, A.; Epstein, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: Tanji, K.K. (ed), **Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers.** 1990. p.113-137.
- Letey, J. Soil salinity poses challenges for sustainable agriculture and wildlife. **California Agriculture**, v. 54, n.2, p.43–48, 2000.
- Lima, V. L. A.; Farias, M. S. S.; Borges Junior, J. C. F. Drenagem agrícola no manejo de solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados.** Fortaleza, INCTSal, 2010, Cap. 20, p.369-382.
- Lima, V. L. A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem.** Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1998. 87p. Tese de Doutorado.
- Lima, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. M. **Manejo e controle da salinidade na agricultura.** Campina Grande: UFPB; SBEA, 1997. p. 113-136.
- Lima Júnior, J. A.; Silva, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera.** Goiânia, v.6, n.11, 2010.
- Lira, R. M.; Silva, E. F. F.; Silva, G. F.; Santos, A. N.; Rolim, M. M. Production, water consumption and nutrient content of Chinese cabbage grown hydroponically in brackish water. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 497-505, 2015.
- Lopes, O. D.; Kobayashi, M. K.; Oliveira, F. G.; Alvarenga, I. C. A.; Martins, E. R.; Corsato, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.548-553, 2011.

- Lopes, J. F. B; Andrade, E. M; Chaves, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na bacia do Acaraú Ceará, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.34-43, 2008.
- Ly, S.; Zhang, K.; Qiang, G.; Lian, L.; Yingjie, C.; Zhang, J. Overexpression of an H<sup>+</sup>-PPase gene from *Thellungiella halophila* in cotton enhances salt tolerance and improves growth and photosynthetic performance. **Plant & Cell Physiology**, v. 49, n. 08, p. 1150-1164, 2008.
- Maas, E. V. Salt tolerance of plants. In: Christie, B. R. (Ed.) **The handbook of plant science in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1984.
- Maas, E. V.; Hoffman, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.103, n.IR2, p.115-134, 1977.
- Machado, R. S.; Ribeiro, R. V. Marchiori, P. E. R.; Machado, D. F. S. P.; Machado, E. C.; Landell, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p.1575-1582, 2009.
- Malavolta, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.
- Manhães, C. M.C.; Garcia, R. F.; Francelino, F. M. A.; Francelino, H. O.; Coelho, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, v.17, n.1, p. 163-181, 2015.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. **Cana de açúcar. Sapcana- sistema de acompanhamento de produção canavieira.** 2014.  
<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. 17 de maio de 2016.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balço nacional de cana-de-açúcar e agroenergia.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. MAPA/SPA. Brasília, 2007.

Marfá, O. Fertirriego. **Revista Sociedad Española de Horticultura**, Madrid, v.68, p.32-33, 1987.

Marin, F.; Nassif, D.S.P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.232–239, 2013.

Marin, F. R.; Pellegrino, G. Q.; Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Zullo Junior, J. Cana de açúcar. Brasília: DF, 2009. In: Monteiro, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola.** Brasília: DF, 2009. Cap. 7, p. 111-130.

Martinez, M.A.; Silva, J.B.G.; Pereira, D.R. Modelagem do movimento de sais no solo. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.** Fortaleza, INCT Sal, 2010. Cap.7, p.93-113.

Marschner, P. **Mineral nutrition of higher plants.** 3ª ed. Austrália: Elsevier, 2012, 651p.

Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London, Academic Press, 1995. 889p.

Matsuoka, S.; Garcia, A. A. F.; Arizono, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: Borém, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: Ed. da UFV, 2005. p. 205-251.

Medeiros, J. F.; Nascimento, I. B.; Gheyi, H. R. Manejo do solo-água-plantas em áreas afetadas por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.** Fortaleza, INCT Sal, 2010. Cap.16, p.279-299.

- Medeiros, J. F.; Gheyi, H.R. Riscos de salinidade em áreas irrigadas. In: Miranda, J. H.; Pires, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.5, p. 255-314. (Série Engenharia Agrícola, Irrigação, 1).
- Medeiros, J.F. **Manejo da água de irrigação salobra em estufa cultivada com pimentão**. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998. 152 p. Tese de doutorado.
- Medeiros, J. F.; Gheyi, H. R. Manejo do sistema solo - água - planta em solos afetados por sais. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E. ; Medeiros, J. F. (ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura**. Campina Grande: UFPB - SBEA, 1997. p.239-287.
- Medeiros, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE**. Campina Grande. Universidade Federal da Paraíba, 1992. 173p. Dissertação de mestrado.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001.
- Munns, R. Plant Adaptations to Salt and Water Stress: Differences and Commonalities. **Advances in Botanical Research**, New York, v.57, p.1-32, 2011.
- Munns, R.; Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.
- Munns, R. R. A.; James R. A.; Lauchli, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 1025-1043, 2006.
- Nadian, H.; Nateghzadeh, B.; Jafari, S. Effects of salinity and nitrogen fertilizer on some quantity and quality parameters of sugar cane (*Saccharum* sp.). **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.10, n.1, p. 470-474 ,2012

- Navarro, J. M.; Garrido, C.; Martinez, V.; Carvajal, M. Water relations and xylem transport of nutrients in pepper plants grown under two different salts stress regimes. **Plant Growth Regulators**, v.41, p.237-245, 2003.
- Netondo, G. W.; Onyango, J. C.; Beck, E. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. **Crop Science**, v. 44, n. 3, p.806-811, 2004.
- Neumann, P.M.; Azaizeh, H.; Leon, D. Hardening of root cell walls: A growth inhibitory response to salinity stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 16, p. 15-24, 1994.
- Neves, M. F.; Trombin, V. G.; Consoli, M. O mapa sucroenergético do Brasil. In: Sousa, E.L.L.; Macedo, I.C. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: UNICA, 2010. Cap.1, p.15-43.
- Neves, O. S. C.; et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) submetidas a níveis de salinidade em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 997-1006, 2004.
- Nobre, R. G. et al. Acúmulo de NPK e sódio na mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1066–1073, 2013.
- Novacana. **Usinas de açúcar e álcool no estado de Pernambuco**. 2016. [www.novacana.com/usinas-brasil/nordeste/pernambuco/](http://www.novacana.com/usinas-brasil/nordeste/pernambuco/). 15 Mai. 2016.
- Oca, P. M.; Mata, R.; Chaves, M. A. Respuestas de tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp* ) a tres concentraciones de sal en um vertisol de guanacaste. **Agronomía Costarricense**, v.20, n.2; p.135-140, 1996.
- Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Oliveira, M. K. T.; Souza, A. A. T.; Ferreira, J. A.; Souza, M. S. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.465–471, 2013.

- Oliveira, F. M.; Aspiazú, I.; Kondo, M. K.; Borges, I. D.; Pegoraro, R. F.; Vianna, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.5, n.1, p.56, 2011.
- Oliveira, E. C. A.; Oliveira, R. I.; Andrade, B. M. T.; Freire, F. J.; Júnior, M. A. L.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.14, n.9, p.951–960, 2010.
- Oliveira, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008. 73 p. Dissertação de mestrado em agronomia.
- Oliveira, R. H.; Rosolem, C. A.; Trigueiro, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 439–445, 2004.
- Orcutt, D.M.; Nilsen, E.T. **Physiology of Plants Under Stress**. New York, John Willey & Sons, 2000.
- Orteli, J. J. Effects of external salt concentrations on water relations in plants. **Soil Science**, New Brunswick, v.105, p.216-221, 1968.
- Paz, V.P.S.; Teodoro, R.E.F.; Mendonça, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n.3, p.465-473, 2000.
- Pescod, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992. 125 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 47).

- Pizarro, F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación.** 3ª Edición. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 511p.
- Pizarro, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos.** Madrid: Editorial Española, 1985. p. 542.
- Prado, R. M. **Nutrição de plantas.** São Paulo: Editora Unesp, 2008. 407p.
- Prado, A. P. A. **Perfilhamento e produção da cana-de-açúcar em função da densidade de plantio.** Piracicaba. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, 1988. 69p. Dissertação de mestrado em agronomia.
- Quintela, A. C. R. **Avaliação do plantio convencional e de cana inteira com e sem desponte, e da compactação pós cobertura, em duas variedades de cana-de-açúcar.** Lavras. Universidade Federal de Lavras, 1996. 37 p. Dissertação de mestrado em agronomia.
- Raij, B.van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. 285p.
- Ravaneli, G. C.; Mutton, M. A.; Mutton, M. J. R. Efeitos do desponte e das épocas de colheita sobre parâmetros tecnológicos em cana-de-açúcar. **Científica**, v.32, n.2, p.185-190, 2004.
- Rengel, Z. The role of calcium in salt toxicity. **Plant Cell Environment**, v. 15, p. 625-632, 1992.
- Rhoades, J.D. Drainage for salinity control. In: Van schilfgaard, J. (ed.). **Drainage for agriculture.** Madison (EUA), 1974. p. 433-461. (Agronomy, 17).
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola.** Tradução de H. R. Gheyi, J. R. de Sousa e J. E. Queiroz. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 48).

- Ribeiro, M. R.; et al. Química dos solos salinos e sódicos. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo. Parte II – Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 449-484, 2009.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- Richards, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 60 p. Handbook, 60.
- Ripoli, T. C. C.; Ripoli, M. L. C. Sistemas de colheita de colmos. In: Santos, F.; Bo-Rém, A.; CALDAS. C (Ed). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – tecnologia e perspectivas**. Viçosa, MG, 2010. p.271-312.
- Rossetto, R.; Santiago, A. D. **Árvore do conhecimento: Cana-de-açúcar**. AGEITEC – Agência Embrapa de informação tecnológica. 2015.  
[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_33\\_711200516717.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html). 21 Nov 2015.
- Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Batista, G. T.; Lee, D. The contribution of qualitative variables to a sugarcane yield model based on spectral vegetation index. In: Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota, 7., 1995, Puerto Vallarta. **Anais...** Puerto Vallarta: SELPER/SIE, 1995. v.1, p. 705-708.
- Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H.; Silva, V. M.; Alves, G. D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.269-279, 1995.
- Santana, M. J. Carvalho, J. A. Souza, K. J. Sousa, A. M. G. Vasconcelos, C. L. Andrade, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da



cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1470-1476, 2007.

Santos, D. B.; Coelho, E. F.; Simões, W. L.; Santos Júnior, J. A.; Coelho Filho, M. A.; Batista, R. O. Influência do balanço de sais sobre o crescimento inicial e aspectos fisiológicos de mamoeiro. **Magistra**, Crus das Almas-BA, v.27, n.1, p.44-53, 2015.

Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumbrreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F.; Oliveira, J.B. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

Santos, D. B.; Ferreira, P. A.; Oliveira, F. G.; Batista, R. O.; Costa, A. C.; Cano, M. A. O. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Idesia**, vol.30, n.2, p. 69-74. 2012

Santos, R.V.; Cavalcante, L.F.; Vital, A.F.M. Interações salinidade-fertilidade do solo. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. Cap. 14, p. 221-252.

Scarpari, M. S.; Beauclair, E. G. F. Anatomia e botânica. In: Dinardo-Miranda, L. L.; Vasconcelos, A. C. M.; Landell, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p.47-56.

Schossler, T. R.; Machado, D. M.; Zuffo, A. M.; Andrade, F. R.; Piauilino, A. C. Salinidade: Efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15; p.1563-1578, 2012.

Sengar, K.; Sengar, R. S.; Singh, A. Biotechnological and Genomic Analysis for Salinity Tolerance in Sugarcane. **International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research**, Baoding, v.4, n.5, p.407-414, 2013.

- Shabala, S., Pottosin, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 151, p. 257–279, 2014.
- Shannon, M. C.; Grieve, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Science Horticulture**, v.78, p.5-38, 1999.
- Shannon, M.; Francois, L. Salt tolerance of three muskmelon cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria. v.103, p.127-30, 1978.
- Silva, A. P. F. **Déficit hídrico na cana-de-açúcar**. Araçatuba. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2012a. 49p. Monografia de graduação.
- Silva, A. O.; Silva, E. F. F.; Moura, G. B. A.; Lopes, P. M. O. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para região norte de Recife-PE. **Engenharia na agricultura**, Viçosa-MG, v. 20, n.2, p. 163-174, 2012b.
- Silva, I. N.; Fontes, L. O.; Tavella, L. B.; Oliveira, J. B.; Oliveira, A. C. Qualidade de água na irrigação. **ACSA-Agropecuária científica no semiárido**, v.07, n 03, p. 01 – 15, 2011a.
- Silva, T. G. F.; Moura, M. S. B.; Zolnier, S.; Soares, J. M.; Vieira, V. J. de S.; Gomes Júnior, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.12, p.1257-1265, 2011b.
- Silva, E. N.; Silveira, J. A. V.; Fernandes, C. R. R.; Dutra, A. T. B.; Aragão, R. M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão- manso sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 240-246, 2009.
- Silva, M. O.; Freire, M. B. G. S.; Mendes, A. M. S.; Freire, F. J.; Sousa, C. E. S.; Góes, G. B. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n. 6, p. 593-605, 2008.

- Silva Júnior, G. S.; Camara, T. R.; Willadino, L. G.; Martins, L. S. S.; Silva, L. E. Parâmetros biométricos, nutricionais e bioquímicos em cultivares e somaclones de bananeira submetidos à salinidade. **Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE – CIENTEC**, v.4, n.1, p.10-36, 2012.
- Simões, W. L.; Calgaro, M.; Coelho, D. S.; Santos, D. B.; Souza, M. A. Growth of sugar cane varieties under salinity. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.2, p. 265-271, 2016.
- Simões, W. L.; Guimarães, M. J. M.; Willadino, L. G.; Santos, J. E. dos; Lima, J. A.; Lopes, I. Crescimento de variedades de sorgo forrageiro submetido a frações de lixiviações com efluente salino da piscicultura. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 24, 2014, Brasília, DF. **Anais...** Reservação e alocação da água para a agricultura irrigada. Brasília, DF: ABID, 2014. CD Rom.
- Smanhotto, A; Prior, M.; Dieter, J.; Soncelar, R.; Dal Bosco, T.C.; Tessaro, D. Lixiviação de sais em lisímetros de drenagem submetidos a aplicação de água residuária da suinocultura. In: Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos de animais,1, 2009, Florianópolis. **Anais...**, SBERA, 2009. p. 361-366.
- Smit, M. A.; Singels, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91–97, 2006.
- Soares, T. M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007. 267p. Tese de Doutorado.
- Souto Filho, L.T. **Crescimento e produção de dois genótipos de cana-de-açúcar com suplementação de regas com águas salinizadas**. Campina Grande: UFCG. 2013, 70p. Dissertação Mestrado.

- Souza, A. E. R.; Oliveira, F. J.; Anunciação Filho, C. J.; Melo Filho, P. A.; Melo, L. J.O. T.; Tabosa, J. N. Seleção de famílias RB visando à alta produtividade e precocidade na maturação em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.70, n.4, p.788-795, 2011.
- Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- Tarumoto, M. B.; Arana, A. R. A.; Ferreira, T. E.; Silva, M. A. Impactos positivos da cultura da cana-de-açúcar no Brasil. **Journal of Agronomic Sciences**, v.4, n.especial, p.526-545, 2015.
- Toppa, E. V. B.; Jadoski, C. J.; Julianetti, A.; Hulshof, T.; Ono, E. O.; Rodrigues, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, n.3, p.215-221, 2010.
- Townsend, C. R. **Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia**. Embrapa. Rondônia, n.21, p. 1-5, 2000.
- Tzvelev, N. N. The system of grasses Poaceae and their evolution. **The Botanical Review. Lancaster**, v.55, n.3, p.141-204, 1989.
- UNICA – União Agroindústria Canavieira de São Paulo. **Estatísticas**. 2006. [www.portalunica.com.br/acao/cana.jsp](http://www.portalunica.com.br/acao/cana.jsp). 15 de out. de 2015.
- Willadino, L.; Camara, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.11, p. 1-23, 2010.
- Wilcox, L. V. **The quality of water for irrigation use**. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1948. 40 p. (USDA. Technical Bulletin, 962).
- Zhao, K., LI, X., Zhou, X., Dodson, J., JI, M. Impact of agriculture on an oasis land scape during the late Holocene: palynological evidence from the Xintalasite in Xinjiang. NW China. **Quaternary International**, v. 311, p.81–86, 2013.

Zhao, D.; Glaz, B.; Comstock, J. C. Sugarcane Response to Water-Deficit Stress during Early Growth on Organic and Sand Soils. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.5, p.403-414, 2010.

Zhou, X., LI, X., Dodson, J., Zhao, K., Atahan, P., Nan, S., Yang, Q. Land degradation during the bronze age in Hexi Corridor (Gansu China). **Quaternary International**, v. 254, p. 42–48, 2012.

Zuanazzi, J. A. S.; Mayorga, P. Fitoprodutos e desenvolvimento econômico. **Química Nova**, Porto Alegre, v.33, n.6, p.1421-1428, 2010.