



Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

Editores Técnicos

Paulo Ricardo Santos Cerqueira

Claudivan Feitosa de Lacerda

Gherman Garcia Leal de Araujo

Hans Raj Gheyi

Welson Lima Simões

AGRICULTURA IRRIGADA EM AMBIENTES SALINOS

**Brasília, DF
Codevasf
2021**

© 2021 Codevasf

É permitida a reprodução de dados e informações contidas nessa publicação, desde que citada a fonte.

Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/Plone/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha> → Catálogo on-line

Disponível também em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes>

A Webinar “Agricultura irrigada em Ambientes Salinos” pode ser vista em:
<https://www.youtube.com/watch?v=y6cfXm6Fit4&t=42s>

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf
SGAN 601 – Conj. I – Ed. Deputado Manoel Novaes
CEP 70.830-019 Brasília - DF

Capa

Frederico Celente

Paulo Ricardo Santos Cerqueira

Fotos da capa

Gherman Garcia Leal de Araujo (Embrapa Semiárido)

Acervo Codevasf

Projeto gráfico

Nilva chaves

Normalização bibliográfica

Nilva Chaves

Diana Augusta Formiga da Luz

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Agricultura irrigada em ambientes salinos / editores técnicos, Paulo Cerqueira *et al.* –
Brasília : Codevasf, 2021.
363 p : il.

ISBN 978-65-88380-06-2 - eBook

1. Agricultura biossalina. 2. Planta halófitas. 3. Sustentabilidade. 4. Drenagem agrícola. 5. Solo e água - monitoramento. 6. Região semiárida. I. Lacerda, Claudivan Feitosa de. II. Araujo, Gherman Garcia Leal de. III. Gheyi, Hans Raj. IV. Simões, Welson Lima. V. Codevasf.

CDU: 631.587

CAPÍTULO 5

Cultivo de cana-de-açúcar em áreas salinizadas: seleção de cultivares tolerantes e manejo de irrigação

Welson L. Simões, A. Ramos de Oliveira, Alessandra M. Salviano, Miguel J. M. Guimarães, Jucicléia S. da Silva, Carlos R. S. de Oliveira

5.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das mais importantes culturas do cenário agrícola mundial, sendo amplamente cultivada em regiões semitropicais e tropicais. No Brasil, a espécie foi introduzida ainda no período colonial e tornou-se uma *commodity* que movimenta uma cadeia de elevado impacto econômico, social e ambiental. Atualmente, o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, também, o maior produtor de açúcar e etanol (anidro e hidratado). Outrossim, os subprodutos e resíduos da atividade sucroalcooleira têm conquistado espaço e se destacam na cadeia produtiva, como é o caso do bagaço (resíduo obtido após a moagem dos colmos) e da palhada de cana-de-açúcar que podem ser utilizados na cogeração de energia (bioenergia), no processamento de ração para animais, ou serem utilizados como fonte de nutrientes na forma de fertilizantes (INÁCIO *et al.*, 2017; MANOCHIO *et al.*, 2017; OLIVEIRA; SIMÕES, 2020; SICA *et al.*, 2020).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a produção nacional de cana-de-açúcar na safra 2020/2021 é de, aproximadamente, 655 milhões de toneladas de colmos em área cultivada de 8,6

milhões de hectares, com produtividade média de 76 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2021). Entretanto, diferenças na quantificação da produção de colmos são observadas nas regiões brasileiras, sendo a região Sudeste responsável por 65% da produção total.

Neste contexto, o cultivo de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro, mais especificamente no Vale do Submédio do São Francisco, merece destaque, pois tornou-se referência internacional no cultivo de cana-de-açúcar irrigada, apresentando produtividades superiores à média nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2014; SIMÕES *et al.*, 2015; SIMÕES *et al.*, 2018). As condições edafoclimáticas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura sob condições irrigadas no Vale do Submédio do São Francisco constituem-se no principal diferencial do cultivo da cana-de-açúcar nesta região, que faz uso de irrigação e fertirrigação plena durante todo o ciclo produtivo. Todavia, a prática da irrigação em regiões semiáridas tem intensificado os processos de salinização do solo que já ocorrem naturalmente devido suas condições edafoclimáticas, destacando-se a baixa e irregular precipitação, a ocorrência de solos rasos, de baixa drenagem natural e ou solos ricos em minerais primários, pelo manejo inadequado da irrigação ou pelo uso de água de baixa qualidade (VASCONCELOS, 2014; CASTRO; SANTOS, 2020). Assim, considerando-se a extensão de solos salinos nas regiões semiáridas, principalmente em ambientes irrigados, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que permitam o uso desses solos ou de águas de baixa qualidade em sistemas de produção sustentáveis.

Alternativas para minimizar o problema causado pela salinização de áreas cultivadas com cana-de-açúcar na região semiárida constituem-se em objeto de trabalho de pesquisadores e estudiosos. Dentre elas, destacam-se a seleção e uso de cultivares de cana-de-açúcar mais tolerantes ao estresse salino e o manejo da irrigação com o uso de frações de lixiviação, as quais consistem na aplicação de

lâminas de água na irrigação superiores à demandada pela cultura, no intuito de retirar os sais do perfil do solo onde fica distribuído o sistema radicular da planta.

Assim, neste capítulo serão abordados a salinização dos solos da região semiárida; os efeitos do excesso de sais no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar; e as alternativas para garantir a sustentabilidade da atividade canieira em condições de estresse salino, por meio do uso de cultivares tolerantes ao estresse hídrico e um manejo eficiente da irrigação.

5.2 RISCOS DE SALINIZAÇÃO DOS SOLOS

Uma das principais características do Semiárido Tropical brasileiro, no que diz respeito à sua cobertura pedológica, de acordo com Cunha *et al.* (2008) e Cunha *et al.* (2010), é a heterogeneidade das condições de ambientes e de paisagens. Segundo os mesmos pesquisadores, a interação entre os diversos materiais de origem, relevo e regime hídrico resulta na presença de diferentes classes de solos, destacando-se grandes extensões de solos jovens, e também alguns ambientes com solos mais evoluídos e profundos. Considerando-se esta complexidade de paisagens, deve-se entender que o solo, a vegetação e o clima coexistem num equilíbrio dinâmico, que pode ser alterado pela mudança do uso da terra (CUNHA *et al.*, 2008; CUNHA *et al.*, 2010).

Na região de Petrolina-Juazeiro, região do Vale do Submédio São Francisco, considerada pólo de desenvolvimento agrícola da região Nordeste do Brasil, os grandes projetos de irrigação estão implantados, principalmente, nas áreas de baixos platôs e em áreas com terrenos arenosos devido à proximidade com o rio e pela topografia plana que domina nestas áreas, favorecendo o manejo das culturas e da água (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2013).

No entanto, as condições geoambientais de algumas áreas irrigadas apresentam fragilidade intrínseca, devido às características dos solos e da

paisagem, podendo intensificar problemas ambientais como a salinização quando submetidos a manejos intensivos. Entre as características que imprimem fragilidade aos agroecossistemas, segundo Oliveira Neto *et al.* (2015), estão as áreas de ocorrência de solos rasos, como os Neossolos Litólicos e os Planossolos com caráter nátrico ou solódico, os Vertissolos, os Cambissolos e os Luvisolos.

A baixa profundidade efetiva desses solos, associados ao uso de irrigação, pode proporcionar uma elevação mais rápida do lençol freático, e, conseqüentemente, uma ascensão de sais por capilaridade, incrementando a salinidade em camadas mais superficiais do solo, próximas ao sistema radicular das plantas. Além disso, alguns deles já têm problemas de salinização natural, pois ocorrem em condições imperfeitas de drenagem, como os Planossolos, alguns Vertissolos e alguns Cambissolos Flúvicos e/ou com caráter vértico.

A riqueza em minerais primários presente na matriz de alguns desses solos também pode ser um fator de aceleração da salinização, pela intensificação dos processos de intemperismo. Corrêa *et al.* (2003) e Mota e Oliveira (1999) destacam que, em ambiente semiárido, a presença de minerais primários do solo ricos em cálcio e sódio, associados à restrição de drenagem são os fatores condicionantes dos percentuais elevados de sódio em solos como os Vertissolos, Luvisolos, Planossolos e Neossolos flúvicos. Além desses, tem-se também os solos profundos, mas de textura essencialmente arenosa, como os Neossolos Quartzarênicos e Regolíticos; os Argissolos e os Latossolos, estes últimos, em geral, com textura franco arenosa na superfície e de coloração amarelo ou vermelho-amarelo, como os Argissolos arênicos e espessarênicos e os Latossolos psamíticos (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2015). Esses solos, na sua grande maioria, apresentam características que lhes conferem elevada suscetibilidade à degradação física, química e/ou biológica e requerem estratégias especiais de manejo e conservação para o uso sustentável, principalmente em agroecossistemas irrigados, onde a mecanização e a aplicação

de elevadas lâminas de irrigação e altas taxas de insumos podem superar a capacidade de adsorção do solo e, assim, promover perdas por lixiviação, aumentando os custos de produção e os riscos de contaminação de águas subsuperficiais e até a salinização dos mesmos (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2015).

Assim, fatores como ausência ou deficiência de drenagem, elevação do lençol freático e manejo inadequado do solo e da água, podem acarretar em acúmulo de sais no solo (RIBEIRO *et al.*, 2016). Essa condição é caracterizada por duas propriedades únicas: baixos potenciais osmóticos e elevadas concentrações de Na e outros íons específicos (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , etc.), que podem ser tóxicos às plantas (TOPPA; BRAMBILLA, 2011). O processo de salinização se dá, em áreas agrícolas irrigadas, principalmente, pelo uso de água de má qualidade, deficiência de drenagem e do uso excessivo de água de irrigação e de fertilizantes, sendo que a salinidade e a sodicidade do solo são os principais fatores limitantes da produtividade das culturas (PEDROTTI *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2008).

O excesso de sais solúveis provoca a redução do potencial osmótico do solo, reduzindo a absorção de água pelas plantas e, conseqüentemente, prejudicando o seu desenvolvimento. Deve-se destacar também que, quando a salinidade está associada ao excesso de sódio trocável no complexo de troca do solo, o mesmo pode comprometer a sua qualidade física, refletindo diretamente no grau de estabilização de seus agregados devido à dispersão das argilas.

5.3 EFEITO DA SALINIDADE NO DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SELEÇÃO DE CULTIVARES TOLERANTES AO ESTRESSE SALINO

Os efeitos dos sais sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas é variável em função da espécie, da quantidade e do tipo de sal presente no solo ou na água de irrigação, do estágio de desenvolvimento fenológico, do estado

nutricional da planta, da tolerância ao estresse salino expressada por cultivares, da taxa de evapotranspiração e, principalmente, do manejo da irrigação no que tange à disponibilidade e qualidade da água aplicada (BRINDHA *et al.*, 2021; DIAS *et al.*, 2016). Assim, o efeito da salinização sobre as plantas é considerado um fenômeno extremamente complexo, envolvendo alterações morfológicas (BRAZ *et al.*, 2019; TARGINO *et al.*, 2017), fisiológicas (LIRA *et al.*, 2018) e bioquímicas (SIMÕES *et al.*, 2019).

A cana-de-açúcar é uma cultura relativamente tolerante a estresses abióticos, pois sendo uma planta do tipo C4, apresenta elevada capacidade compensatória no processo fotossintético, desde que as condições de temperatura e umidade estejam ótimas, o que possibilita maior crescimento e maior eficiência no uso de água (SRIVASTAVA; KUMAR, 2020). No entanto, os efeitos da salinidade podem afetar significativamente a produtividade da cultura, por isso, a compreensão dos processos fisiológicos envolvidos é fundamental para entender como as práticas agrícolas e como o ambiente nos quais as plantas são cultivadas afetam seu crescimento e desenvolvimento.

O primeiro e principal efeito dos sais nas plantas está relacionado ao potencial osmótico (ψ_o), que corresponde à presença de sais dissolvidos na solução do solo. As concentrações elevadas de sais no solo aumentam o efeito osmótico da solução aquosa, dificultando a absorção de água pelas raízes, causando deficiência hídrica nas plantas, desbalanceamento osmótico, fechamento estomático, toxidez iônica e danos ao citoplasma, afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas (DIAS *et al.*, 2016; SINGH; SENGAR, 2020a; WATANABE *et al.*, 2020). É importante destacar que quanto mais salino for o solo ou a água de irrigação, menor é o potencial osmótico e, portanto, mais difícil será o processo de absorção de água. Nestas condições, mesmo que o solo esteja em sua capacidade de campo, com elevada umidade, a planta dificilmente conseguirá absorver a água. Além disso,

ainda sob salinidade excessiva, a planta aumenta o consumo de energia na tentativa de absorver água do solo e realizar os ajustes bioquímicos necessários para sobreviver em condição de estresse (RHOADES *et al.*, 2000).

Em estudos realizados com a cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade, Lira *et al.* (2018) observaram que o aumento da salinidade da água de irrigação inibiu a condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese das plantas, com redução linear na taxa e no potencial hídrico. Bernstein *et al.* (1993) citam a redução no crescimento foliar e, conseqüentemente, na área foliar disponível para a fotossíntese como uma das primeiras respostas das plantas submetidas ao estresse salino, que pode ocorrer, possivelmente, devido à inibição da expansão e à divisão das células nas regiões meristemáticas. Trabalhos demonstram que dependendo do grau de salinidade da solução do solo, a planta poderá sofrer com a plasmólise, onde ao invés de absorver, o vegetal perde água para o meio, que está mais concentrado em sais, provocando modificações no balanço nutricional, redução generalizada do crescimento, redução da área foliar, aumento da espessura das folhas, que tendem a apresentar coloração verde mais escura, sendo capaz de resultar em clorose e necrose, redução da produção e, às vezes, morte da planta (DIAS *et al.* 2016; JINDAL *et al.*, 1976; NEGRÃO *et al.*, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2010).

Segundo Ayers e Westcot (1999), a cana-de-açúcar é considerada moderadamente sensível à salinidade, cuja salinidade limiar é $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ (MAAS; HOFFMAM, 1977). No entanto, segundo Plaut *et al.* (2000) e Meinzer *et al.* (1994), algumas cultivares podem tolerar até 8 dS m^{-1} . Rozeff (1995) encontrou redução no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar com o aumento da salinidade e relatou que as plantas podem sobreviver até $10 - 15 \text{ dS m}^{-1}$ e que este fato depende da cultivar. Entretanto, considerando-se que esta resposta pode variar significativamente entre os materiais cultivados, uma das alternativas para a

sustentabilidade da atividade sucroenergética na região Semiárida pode ser a identificação de materiais mais tolerantes à salinidade, que possam ser cultivados em ambientes salinos, que se ajustem osmoticamente à salinidade e que alcancem rendimentos que justifiquem seus custos, estando esta condição associada ao adequado manejo do solo e da irrigação (DAKER, 1988). Vários outros trabalhos reportam a existência de diferenças na tolerância à salinidade entre as cultivares de cana-de-açúcar (SIMÕES *et al.*, 2018; SIMÕES *et al.*, 2021b; SINGH; SENGAR, 2020a; VASANTHA *et al.*, 2017).

A identificação de materiais tolerantes em programas de melhoramento genético da cultura da cana-de-açúcar é precedida pela caracterização de acessos do gênero *Saccharum* e por outros gêneros filogeneticamente próximos ao *Saccharum*, capazes de fornecer genes de elevado interesse para cruzamentos interespecíficos, como é o caso dos gêneros *Erianthus*, *Miscanthus*, *Sclerostachya* e do *Narenga* que juntos formam o denominado complexo *Saccharum* (ROACH; DANIELS, 1987; TODD *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2017; SIMÕES *et al.*, 2021b). Assim, o conhecimento de características biométricas e fisiológicas de acessos do complexo *Saccharum* em condições salinas é de fundamental importância para recomendação de materiais para uso em programas de melhoramento da espécie com vistas à obtenção de cultivares com tolerância à salinidade.

Em pesquisa realizada por Simões *et al.* (2021b), em acessos do complexo *Saccharum* submetidas a estresse salino, foi constatado que acessos de *Erianthus arundinaceus* apresentam maior taxa fotossintética, taxa de transpiração, altura de plantas e comprimento das folhas, indicando maior adaptabilidade ao estresse salino. Estudo de Augustine *et al.* (2015) demonstrou que o *E. arundinaceus* apresenta proteínas de choque térmico, conhecidas como HSPs, sendo que a expressão da proteína HSP70 tem papel relevante na tolerância ao estresse em plantas, tanto hídrico quanto salino.

Simões *et al.* (2019), estudando cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes níveis de condutividade elétrica, observaram que a cultivar RB867515 mantém a mesma taxa fotossintética com o aumento da salinidade, apesar de apresentar redução na condutância estomática, demonstrando relativa tolerância à salinidade. Lira *et al.* (2018) em estudo com a cultivar RB867515, concluíram que o incremento na salinidade da água de irrigação também inibiu a condutância estomática, porém, para o nível de salinidade utilizado, prejudicou a capacidade fotossintética das plantas. Segundo Inman-Bamber *et al.* (2005), a redução da condutância estomática é uma estratégia da cana-de-açúcar para evitar a desidratação das folhas. Tal fato foi observado por Simões *et al.* (2021b) em plantas de *S. officinarum* submetidas a níveis de salinidade, as quais reduziram sua condutância estomática, com conseqüente redução na absorção de água, o que sinaliza uma habilidade para minimizar a perda de água pela transpiração.

Outro fator que pode sinalizar a tolerância da cana-de-açúcar à salinidade está relacionada aos maiores teores de clorofila em plantas submetidas ao estresse salino, pois teores elevados favorecem a troca gasosa e contribuem para a adaptação das plantas às condições ambientais adversas (SIMÕES *et al.*, 2019), além de possibilitarem maior número de folhas, maior diâmetro de colmo e biomassa de cultivares tolerantes (SIMÕES *et al.*, 2016). No trabalho de Simões *et al.* (2019), as cultivares de cana-de-açúcar apresentaram diferenças no índice de clorofila, no entanto, o índice aumentou linearmente com o aumento da condutividade elétrica (Figura 1)

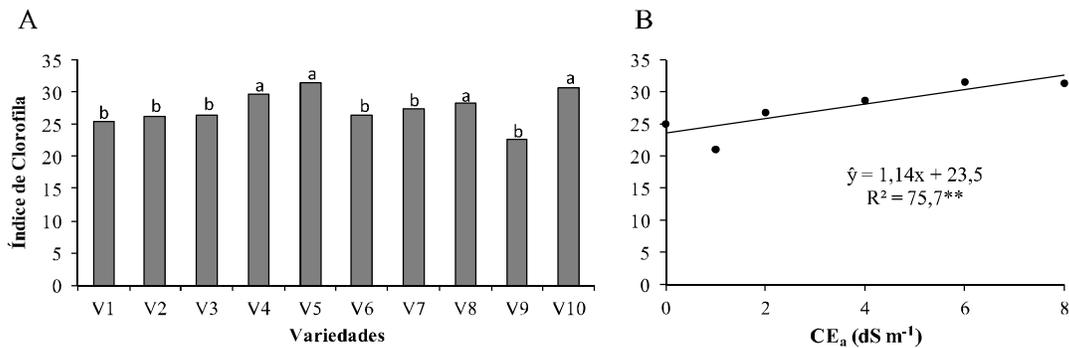


Figura 1 – Diferenças no índice de clorofila de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse salino.

Fonte: SIMÕES *et al.*, 2019

Em cultivo de cana-de-açúcar sob condições salinas, além do estresse osmótico e da toxicidade iônica dos sais que reduzem a absorção de água, há também a redução da absorção de elementos essenciais à nutrição da planta. O efeito da salinidade no potencial osmótico de plantas e sua influência sobre a absorção de nutrientes foi estudado por Vasantha *et al.* (2017) que constataram redução superior a 50% no teor de fósforo durante as fases de crescimento vegetativo da cultura; os teores de ferro e zinco também sofreram redução em decorrência da presença de sais no solo que interferiram no transporte ou absorção inadequada desses elementos, entretanto, o teor de sódio aumentou em plantas submetidas ao estresse salino.

A salinidade também afeta a dinâmica de produção de aminoácidos. A prolina, por exemplo, tem sido observada após a ocorrência de vários estresses, como a salinidade (SIRIPORNADULSIL *et al.*, 2002). De maneira geral, o conjunto dos aminoácidos livres totais e dos açúcares solúveis representam quantitativamente os solutos orgânicos mais importantes no ajustamento osmótico, além de conferir proteção às estruturas celulares (SILVEIRA *et al.*, 2016).

Estudo de Singh e Sengar (2020b) sob os efeitos da salinidade em cultivares de cana-de-açúcar, demonstrou que alguns materiais desenvolveram tolerância

moderada aos sais ao acumularem K^+ , prolina e açúcar, realizando um ajuste osmótico das células da folha, o que reduz o potencial osmótico e hídrico de uma planta tolerante em comparação com uma planta sensível (SINGH; SENGAR, 2020b). Segundo Ghoulam *et al.* (2002), a determinação da tolerância da cultura à salinidade pode ser realizada por meio do ajustamento osmótico, que é definido como a diminuição do potencial osmótico em resposta ao déficit hídrico ou à salinidade, devido à acumulação de açúcares, aminoácidos e íons orgânicos no vacúolo.

5.4 MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO PARA SOLO SALINIZADO

A mitigação dos efeitos danosos da salinidade do solo nas áreas de cultivo pode ser realizada por meio da aplicação de uma quantidade de água de irrigação diferenciada. Esta técnica, caracterizada como fração de lixiviação, consiste em aplicar na irrigação uma lâmina de água além da necessitada pela cultura para que parte dos sais, proveniente da salinidade excessiva do solo ou da água utilizada na irrigação, se concentre abaixo da zona radicular (MANZOOR *et al.*, 2019; NING *et al.*, 2020), mantendo assim a salinidade do solo explorado pela cultura num nível que permita bons rendimentos e produção.

Avanços na tecnologia de irrigação, tais como sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), fornecem oportunidade para irrigar com valores baixos da fração de lixiviação (LETEY *et al.*, 2011) e com maior frequência de aplicação, tornando assim o método de irrigação seguro e sustentável. No geral, torna-se necessária a manutenção de um equilíbrio adequado entre o sal acumulado na zona radicular e o sal lixiviado para as águas subterrâneas, no sentido de reduzir o transporte de componentes químicos que degradem a qualidade das

águas subterrâneas, bem como promover um uso eficiente deste limitado recurso natural (CORWIN *et al.*, 2007).

Para se estimar a necessidade de lixiviação (NL), necessita-se conhecer tanto a salinidade da água de irrigação como a salinidade tolerada pela cultura e solo (RICHARDS, 1954; BARROS *et al.*, 2005). Tal necessidade é variável em virtude de o aumento da salinidade do solo reduzir a transpiração da planta e causar elevação do nível de água no perfil do solo, tendo como consequência, o aumento da condutividade hidráulica e da lixiviação (BRESLER, 1987). Segundo Duarte *et al.* (2015), a necessidade de lixiviação pode-se ser obtida conforme a Equação 1:

$$NL = \frac{CEi}{CEd} = \frac{d}{i}$$

Onde:

- NL – necessidade de lixiviação;
- CEi – condutividade elétrica da água de irrigação;
- CEd – condutividade elétrica da água de drenagem;
- hd – lâmina de água de drenagem; e
- hi – lâmina de água de irrigação.

Rhoades (1974) afirma que a Equação 1 pode ser utilizada para calcular a NL em cultivos com irrigação convencional. Já em sistemas com alta frequência de irrigação, Rhoades e Merrill (1976), sugerem outra equação, a qual leva em consideração a condutividade elétrica média do extrato do solo que a cultura tende a rendimento zero, conforme a Equação 2:

$$NL = \frac{CEa}{2CE \max}$$

Onde:

- NL – necessidade de lixiviação;
- CEa – condutividade elétrica da água de irrigação em $dS\ m^{-1}$;
- CE max – condutividade elétrica média do extrato do solo que a cultura tende a rendimento zero, em $dS\ m^{-1}$.

Outra forma, muito utilizada, de se calcular a lâmina de lixiviação, consiste na simples adição de uma porcentagem de lâmina de água sobre a lâmina de irrigação exigida pela cultura. Neste método, assume-se que as irrigações irão manter a umidade do solo na capacidade de campo, e que toda água adicionada a mais que a necessitada pela cultura irá percolar, levando consigo parte dos sais presentes no solo. Desta forma, a fração de lixiviação consiste na lâmina de água que atravessa e percola a zona radicular da cultura, sendo calculada pela Equação 3:

$$FL = \frac{Lx}{Ln}$$

Onde:

FL – fração de lixiviação

Lx - lâmina de lixiviação ou lâmina que percola abaixo da zona radicular

Ln - lâmina de irrigação necessária para satisfazer a demanda hídrica da cultura mais a lixiviação.

Tal metodologia já foi utilizada experimentalmente por vários autores no cultivo de diversas culturas, com a obtenção de resultados satisfatórios. Guimarães *et al.* (2016) ao utilizarem frações de lixiviação de até 15% no cultivo de sorgo forrageiro irrigado com água salina (cerca de 5 dS m⁻¹), verificaram aumento de até 25% na produtividade de biomassa seca das plantas. Simões *et al.* (2016) constataram que o uso de frações de lixiviação de até 15% no cultivo da beterraba proporciona melhor distribuição de sais no perfil do solo e, conseqüentemente, maior produtividade das plantas submetidas a esta forma de cultivo.

Em se tratando do cultivo de cana-de-açúcar irrigada, em solo salinizado no Semiárido brasileiro, Simões *et al.* (2021a) avaliaram a influência do uso de frações de lixiviação nas características produtivas de cultivares desta cultura e concluíram que as cultivares SP943206 e VAT90212 demonstram maior produtividade

utilizando-se a fração de lixiviação de 9,1 % nos dois ciclos de cultivo, chegando a 151,88 Mg ha⁻¹. Os autores demonstraram ainda que os maiores valores de eficiência do uso da água foram observados para a cultivar VAT90212 nos dois ciclos, também sob fração de lixiviação de 9,1 %, correspondente a lâmina de 110 % da ETc (Tabela 1). Os autores destacam que a redução da produtividade para maior lâmina aplicada (120 % da ETc) pode estar associada ao excesso de umidade no solo ou à lixiviação de nutrientes, demonstrando assim a importância de se conhecer o manejo correto da lâmina de irrigação a ser aplicada nesta forma de cultivo visando a sustentabilidade do sistema de produção. Deve-se destacar que o uso de cultivares de culturas com elevada eficiência do uso da água (EUA), conduz para uma agricultura mais sustentável Tayade *et al.* (2020).

Tabela 1 - Médias de produtividade e eficiência do uso da água (EUA) de duas cultivares de cana-de-açúcar em função do ciclo de cultivo e lâminas de irrigação, cultivadas em um solo salinizado na região do Submédio São Francisco.

Lâmina (% ETc)*	Produtividade (Mg ha ⁻¹)		EUA (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	Cana Planta			
	SP943206	VAT90212	SP943206	VAT90212
100	120,75	90,86	73,53	55,33
110	141,75	151,88	78,47	84,07
120	112,00	99,25	56,84	50,36
Cana Soca				
100	104,00	118,12	58,35	66,27
110	116,13	137,25	59,23	70,00
120	97,50	128,00	45,58	59,84

Fonte: Adaptado de SIMÕES *et al.*, 2021a.

*ETc - refere-se à evapotranspiração da cultura.

Segundo Simões *et al.* (2021a), o manejo da irrigação sem o uso da fração de lixiviação, para o cultivo da cana-de-açúcar em solo salinizado, proporciona menor número de folhas por planta e índice de área foliar, os quais são

consequências do estresse provocado pela salinidade. Lira (2016), ao estudar o efeito de frações de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar, também observou comportamento prejudicial da salinidade no índice de área foliar ao se aplicar apenas 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) na irrigação.

No cultivo da cana-de-açúcar em um solo salinizado no Semiárido brasileiro, o uso da fração de lixiviação com água de boa qualidade proporciona a redução da CE e da porcentagem de sódio trocável (PST) no perfil do solo, onde há maior distribuição do sistema radicular (Figura 3), o que pode aumentar a disponibilidade do volume de solo para exploração das raízes das plantas, diminuindo assim o estresse provocado pelo acúmulo de sais.

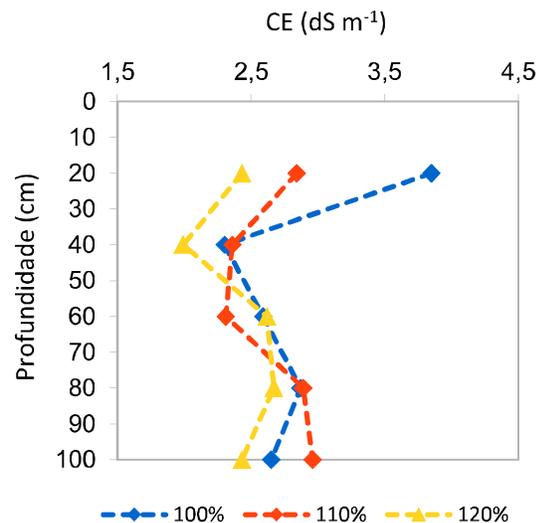


Figura 3 - Imagem dos sais no solo e comportamento da porcentagem de sódio trocável (PST) no perfil do solo após dois ciclos de cultivo com cana-de-açúcar, cultivar VAT9021, cultivada em Cambissolo salino utilizando diferentes lâminas de irrigação (100; 110 e 120% da evapotranspiração da cultura), Juazeiro-BA.

Outros trabalhos registram que o aumento da fração de lixiviação reduz a CE e o acúmulo de sódio trocável na camada superficial, além de promover melhor

distribuição de sais no perfil do solo, como observado no cultivo de amendoim (SANTOS *et al.*, 2012) e beterraba (SIMÕES *et al.*, 2016), comprovando que a lixiviação, resultante da passagem de água através do perfil, é uma prática eficaz para reduzir o excesso de sais solúveis na zona radicular das culturas.

Neste contexto, quanto ao manejo da irrigação, o uso da fração de lixiviação deve ser suficientemente adequado para prevenir acumulação de sais na zona radicular, mas sem excessos para que não haja elevação do lençol freático. Ou seja, a lâmina infiltrada de água deve ser suficiente para satisfazer as necessidades da cultura e proporcionar a lixiviação adequada, sem escoamento superficial nem percolação profunda excessiva.

Com relação a outras formas de manejo da irrigação para ambientes salinos, a escolha do momento certo para realização da irrigação pode evitar potenciais mátricos baixos da água do solo e como consequência concentrações relativamente mais elevadas dos sais próximos ao sistema radicular, o que tende a dificultar o desenvolvimento da cultura. Assim, deve-se destacar que irrigações mais frequentes, como geralmente utilizado nas irrigações localizadas, tendem a manter o movimento dos sais para fora da zona radicular.

Seguindo uma recomendação de Hoffman *et al.* (1992), o intervalo de irrigação deve ser diminuído quando se utiliza água salina na irrigação. Quando o solo perde água, ele seca pela ação da evapotranspiração, com isto, há uma diminuição do bulbo molhado formado devido à distribuição de água no solo. Assim, considerando-se que os sais se concentram na extremidade do bulbo molhado, a diminuição do mesmo, permite a reentrada dos sais na zona radicular, ficando em contato direto com as raízes e assim potencializando os efeitos deletérios da salinidade nas plantas.

Quanto às práticas do manejo, como os sistemas de irrigação localizada proporcionam concentrações elevadas de sais na superfície do solo e contorno do

bulbo, chuvas inesperadas podem mover os sais para dentro da zona radicular. Por isso, segundo Pizarro (1990), as irrigações devem ser manejadas durante ou após as chuvas para lixiviar os sais antes que crie situações de danos às culturas.

Considerando-se a forma de cultivo de cana-de-açúcar na região do Submédio São Francisco, com uma linha de irrigação por gotejamento subsuperficial, para duas fileiras de plantio de cana-de-açúcar, a escolha do espaçamento entre gotejadores torna-se uma etapa fundamental para o adequado manejo do cultivo em área salinizada. Para o plantio, Oliveira *et al.* (2013) recomendam o uso de espaçamentos de 0,50 m entre gotejadores para solos de textura média a argilosa e espaçamentos menores para solos de textura mais arenosa, no intuito de manter uma faixa molhada para abrigar o sistema radicular efetivo das plantas. A manutenção da faixa molhada torna-se fundamental uma vez que o sistema radicular é constante na faixa de plantio e a falha da faixa molhada faz com que os sais façam contato direto com as raízes, potencializando os efeitos danosos do mesmo para cultura.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do cultivo irrigado de cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro merecer destaque, por apresentar produtividades superiores à média nacional, a prática inadequada da irrigação nesta região tem conduzido à salinização do solo, devido à baixa e irregular precipitação, associado a solos rasos e de baixa drenagem natural, ao excesso da água de irrigação aplicada, ou devido ao uso de água de irrigação de baixa qualidade. Dentre as práticas de manejo que podem ser utilizadas para mitigação dos efeitos danosos da salinidade do solo nas áreas de cultivo, recomenda-se a seleção de cultivares de cana-de-açúcar mais tolerantes ao estresse salino e o manejo da irrigação com o uso de frações de lixiviação, para que o excesso de sais seja transportado para abaixo da zona radicular da cultura,

mantendo assim a salinidade do solo explorado pela cultura num nível que permita bons rendimentos e produção. Recomenda-se ainda irrigações mais frequentes para ambientes salinos, como realizado em irrigações localizadas, o que tende a manter o movimento dos sais para fora da zona radicular. A redução do espaçamento entre gotejadores pode ser aconselhada, no intuito da formação e manutenção de uma faixa molhada durante o ciclo de cultivo, para que os sais não façam contato direto com as raízes, o que pode potencializar os efeitos danosos da salinidade para cultura.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTINE, S. M.; NARAYAN, J. A.; SYAMALADEVI, D. P.; APPUNU, C.; CHAKRAVARTHI, M.; RAVICHANDRAN, V.; SUBRAMONIAN, N. *Erianthus arundinaceus* HSP70 (EaHSP70) overexpression increases drought and salinity tolerance in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid). **Plant Science**, Amsterdã, v. 232, p. 23-34, 2015.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.
- BARROS, M. 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.
- BERNSTEIN, N.; SILK, W. K.; LÄUCHLI, A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of Na/Cl stress. **Planta**, Nova York, v. 191, p. 433 – 439, 1993.
- BRAZ, R. S.; LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; FERREIRA, J.F.S.; OLIVEIRA, A. C.; RIBEIRO, A. A. Growth and physiology of maize under water salinity and nitrogen fertilization in two soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, p. 907-913, 2019.

BRESLER, E. Application of conceptual model to irrigation water requirement and salt tolerance of crops. **Journal of the American Society for Soil Science**, [S. l.], v. 51, p. 788-793, 1987.

BRINDHA, C.; VASANTHA, S.; RAJA, A. K.; TAYADE, A. S. Characterization of the salt overly sensitive pathway genes in sugarcane under salinity stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 171, n. 4, p. 677-687, 2021.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, p. 1-12, 2020.

CAVALCANTE, L. F.; CORDEIRO, J. C.; NASCIMENTO, J. A. M. do; CAVALCANTE, I. H. L.; DIAS, T. J. Fontes e níveis da salinidade da água na formação de mudas de mamoeiro cv. Sunrise solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 31, p. 1281-1290, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB – **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 8, n. 1, mai. 2021. Safra 2021/2022, Primeiro levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 07 jun. 2021.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, Eduardo Sá. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 311-324, 2003.

CORWIN, D. L.; RHOADES, J. D.; SIMUNEK, J. Leaching requirement for soil salinity control: steady-state versus transient models. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 90, p. 165-180, 2007.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 2, p. 50-87.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, M. S. L. da; GIONGO, V.; SA, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; CAVALCANTI, A. C. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. 60 p. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 211).

DAKER, A. **A água na agricultura**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. 453 p. v. 3.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 11, p. 151-162.

DUARTE, S. N.; SILVA, Ê. F. de F.; MIRANDA, J. H. de.; MEDEIROS, J.F. de; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H, R. **Fundamentos de drenagem agrícola**. Fortaleza, CE: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2015. 356 p.

GHOULAM, C.; FOURSRY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and praline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 47, p. 39–50, 2002.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E. D.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016.

HOFFMAN, G. J.; RHOADES, J. D.; LETEY, J.; SHENG, F. Salinity management. *In*: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. (ed.) **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE; PAMELA De-Vore-Hansen, 1992. (ASAE Monograph, 9).

INÁCIO, J. G.; FERREIRA, M. D. A.; SILVA, R. C.; SILVA, J. D. L.; OLIVEIRA, J. C. V. D.; SANTOS, D. C. D.; CAMPOS, J. M. D. S. Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy heifers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 46, n. 1, p. 80-84, 2017.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SMITH, D. M.; THORBURN, P. J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, Amsterdã, v. 92, p. 115-117, 2005.

JINDAL, P. C.; SINGH, J. P.; GUPTA, O. P. Studies on salt tolerance in mango-injurious effects of salt on young mango seedlings. **Prog. Hort.**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 65-71, 1976.

LETEY, J.; HOFFMAN, G. J.; HOPMANS, J. W.; GRATTAN, S. R.; SUAREZ, D.; CORWIN, D. L.; OSTER, J. D.; WU, L. Amrhein. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 98, p. 502-506, 2011.

LIRA, R. M. **Salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar**. 2016. 101 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

LIRA, R. M.; SILVA, E. F.F.; BARROS, M. S.; GORDIN, L. C.; WILLADINO, L. G.; BARBOSA, R. F. Water potential and gas exchanges in sugarcane irrigated with saline waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, p. 679-682, 2018.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division of ASCE**, Nova York, v. 103, p. 115-134, 1977.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B. R.; RODRIGUEZ, R. P.; MORAES, B. S. Ethanol from biomass: a comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 80, p. 743-755, 2017.

MANZOOR, M. Z.; SARWAR, G.; AFTAB, M.; TAHIR, M. A.; SABAH, N.; ZAFAR, A. Role of leaching fraction to mitigate adverse effects of saline water on soil properties. **Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 57, n. 4, p. 275-280, 2019.

MEINZER, F. C.; PLAUT, Z.; SALIENDRA, N.C. Carbon isotope discrimination, gas exchange and growth of sugarcane cultivars under salinity. **Plant Physiology**, [S. l.], n. 104, p. 521-526, 1994.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 799-806, 1999.

NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, M. S.; TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of Botany**, Londres, v. 119, n. 1, p. 1-11, 2017.

NING, S.; ZHOU, B.; WANG, Q.; TAO, W. Evaluation of irrigation water salinity and leaching fraction on the water productivity for crops. **Internacional Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 170-177, 2020.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no Vale do São Francisco. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 27-38, 2014.

OLIVEIRA, A. R.; SIMÕES, W. L. Manejo e produção de palhada da cana-de-açúcar em um sistema irrigado por gotejamento subsuperficial para geração de bioetanol. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 4, p. 516-530, 2020.

OLIVEIRA, A. R.; SIMÕES, W. L.; CALGARO, M. **Espaçamento e profundidade do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em cultivo de cana-de-açúcar**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2013. (Instrução Técnica, 114).

OLIVEIRA, L. A. R.; MACHADO, C. A.; CARDOSO, M. N.; OLIVEIRA, A. C. A.; AMARAL, A. L.; MUNIZ, A. V. C. S.; LEDO, A. S. Genetic diversity of *Saccharum* complex using ISSR markers. **Genetics and Molecular Research**, Riberão Preto, v. 16, p. 1-10, 2017.

OLIVEIRA NETO, M. B. de; CUNHA, T. J. F.; NASCIMENTO, A. F. do; AMARAL, A. J. do; ALVES, E. da S.; MARQUES, F. A. Relação solo-geologia da área de estudo do projeto Fragissolos em Petrolina/PE. *In*: REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 2013, Areia. Soluções de desafios para o uso sustentável dos solos da região Nordeste. **Anais [...]**. Areia: PPGCS; UFPB-CCA; SBCS, 2013. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA NETO, M. B. de; NASCIMENTO, A. F. do; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J. do; HERNANI, L. C.; CUNHA, T. J. F. Contribuição ao estudo de solos frágeis na Região Semiárida: Petrolina, PE. *In*: CASTRO, S. S. de; HERNANI, L. C. (ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 5, p. 111-133.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PIZARRO, F. C. **Riego localizado de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Mundi Prensa, 1990. 471 p.

PLAUT, Z.; MEINZER, F. C.; FEDERMAN, E. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. **Plant Soil**, [s. l.], v. 218, p. 59-69, 2000.

RHOADES, J. D. Drainage for salinity control. *In*: VAN SCHILFGAARDE, J. (ed.). **Drainage for agriculture**. Madison: [s.n.]1974. p. 433-461. (Agronomy, 17).

RHOADES, J. D., MERRIL, S. Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches. *In*: **Prognosis of salinity**. Rome: FAO, 1976. p. 69-110. (FAO. Soil Bulletin, 31)

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **O uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução: GHEYI; H. R.; SOUZA, J. R.; QUEIROZ, J.E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p. (Estudos da FAO: Irrigação e drenagem, 48).

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.2, p. 9-16

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 60 p. (Handbook, 60).

ROACH, B. T.; DANIELS, J. A review of the origin and improvement of sugarcane. *In*: COPERSUCAR. **Copersucar International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: Copersucar, 1987. p. 1-30.

ROZEFF, N. Sugarcane and salinity: a review paper. **Sugar Cane**, [s. l.], v. 5, p. 8–19, 1995.

SANTOS, D. B.; AFONSO, F. P.; GONÇALVES, O. F.; OLIVEIRA, B. R.; CARLOS, C. A.; OLIVA, C. M. A. Produção e parâmetros fisiológicos do amendoim em função do estresse salino. **Idesia**, Casilla, v. 30, n. 2, p. 69-74. 2012.

SICA, P.; CARVALHO, R.; DAS, K. C.; BAPTISTA, A. S. Biogas and biofertilizer from vinasse: making sugarcane ethanol even more sustainable. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, [s. l.], v. 22, n. 5, p. 1427-1433, 2020.

SILVEIRA, J. A.; SILVA, S. L.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 13, p.181-196.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J.; OLIVEIRA, A. R. DE; PINHEIRO, M. P. M. A. Sugarcane crops with controlled water deficit in the Sub-Middle São Francisco Valley, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, p. 963-971, 2018.

SIMÕES, W. L.; COELHO, D. S.; MESQUITA, A. C.; CALGARO, M.; SILVA, J. S. Physiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, p. 1069-1076, 2019.

SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; SALVIANO, A. M.; SILVA, J. S.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J. Efficient irrigation management in sugarcane cultivation in saline soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 9, p. 626-632, 2021a.

SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; SILVA, J. S.; TORRES JUNIOR, V. G.; SILVA, W. O.; MORAIS, L. K. Characterization and gas exchange in accessions of *Saccharum* complex under salinity in the Sub-middle São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, p. 163-167, 2021b.

SIMÕES, W. L.; YURI, J. E.; GUIMARÃES, M. J.; SANTOS, J. E. D.; ARAÚJO, E. F. Beet cultivation with saline effluent from fish farming. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 62-66, 2016.

SINGH, R.; SENGAR, R. S. Effect of salinity stress on morphological and yield attributes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes. **International Journal of Chemical Studies**, Chhattisgarh, v. 8, n. 5, p. 2312-2316, 2020a.

SINGH, R.; SENGAR, R. S. Impact on proline content of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under salinity stress. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 3599-3605, 2020b.

SIRIPORNADULSIL, S.; TRAINA, S.; VERMA, D.P.S.; SAYRE, R.T. Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. **Plant Cell**, Oxford, v. 14, p. 1-11, 2002.

SRIVASTAVA, S.; KUMAR, P. Abiotic stress responses and tolerance mechanisms for sustaining crop productivity in sugarcane. **Agronomic Crops.**, Singapore, p. 29-47, 2020.

TARGINO, H. C. O.; SILVA, J. A. B.; SILVA, E. P.; AMORIM, M. N.; SEABRA, T. X. Soil salinization and its effects on morpho-physiological characteristics of sugarcane varieties. **Revista Geama**, Recife, v. 3, n. 4, p. 184-190, 2017.

TAYADE, A. S.; VASANTHA, S.; KUMAR, A. R.; ANUSHA, S.; KUMAR, R.; HEMAPRABHA, G. Irrigation water use efficiency and water productivity of commercial sugarcane hybrids under water-limited conditions. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 63, n. 1, p. 125-132, 2020. Doi:10.13031/trans.13548.

TODD, J.; WANG, J.; GLAZ, B.; SOOD, S.; AYALA-SILVA, T.; NAYAK, S. N.; GLYNN, N. C.; GUTIERREZ, O. A.; KUHN, D. N.; TAHIR, M. Phenotypic characterization of the Miami World Collection of sugarcane (*Saccharum* spp.) and related grasses for selecting a representative core. **Genetic Resources and Crop Evolution**, [s. l.], v. 61, p. 1581-1596, 2014.

TOPPA, E. V. B.; BRAMBILLA, W. P. O melhoramento de plantas e a salinidade dos solos. **Revista Verde**, Pombal, v. 6, n. 1, p. 21-25. 2011.

VASANTHA, S.; GOMATHI, R.; BRINDHA, C. Growth and nutrient composition of sugarcane genotypes subjected to salinity and drought stresses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 9, p. 989-998, 2017.

VASCONCELOS, M. C. C. A. Salinização do solo em áreas irrigadas: Aspectos físicos e químicos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 10, p. 20-25, 2014.

WANG, Y. G.; XIAO, D. N.; LI, Y.; LI, X. Y. Soil salinity evolution and its relationship with dynamics of groundwater in the oasis of inland river basins: case study from the Fubei region of Xinjiang province, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 140, n. 1-3, p. 291-302, 2008.

WATANABE, K.; TAKARAGAWA, H.; UENO, M.; KAWAMITSU, Y. Changes in agronomic and physiological traits of sugarcane grown with saline irrigation water. **Agronomy**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 722, 2020.