



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

HALINA STÉFFANY LOPES COSTA

EFEITO DO ESTRESSE SALINO E HÍDRICO EM SEMENTES DE QUINOA
TRATADAS COM GA₃

FORTALEZA

2018

HALINA STÉFFANY LOPES COSTA

EFEITO DO ESTRESSE SALINO E HÍDRICO EM SEMENTES DE QUINOA TRATADAS
COM GA₃

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Tecnologia de Sementes.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

C872e Costa, Halina Stéffany Lopes.
Efeito do estresse salino e hídrico em sementes de quinoa tratadas com GA₃/
Halina Stéffany Lopes Costa. – 2018.
73 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2018. Orientação: Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho.

1. Chenopodium quinoa. 2. Hormônio. 3. Salinidade. 4. Tolerância. I. Título.

CDD630

HALINA STÉFFANY LOPES COSTA

EFEITO DO ESTRESSE SALINO E HÍDRICO EM SEMENTES DE QUINOA TRATADAS
COM GA₃

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Tecnologia de Sementes.

Aprovada em: __/__/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Rosilene Oliveira Mesquita
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Aiala Vieira Amorim
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade de concluir mais um projeto de vida, sustentando meu corpo e mente, enviando anjos e luz divina para auxiliar nessa árdua caminhada da vida.

À Universidade Federal do Ceará, que me proporcionou esta oportunidade tão enriquecedora para o desenvolvimento de minhas atividades de pesquisa.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho, pela oportunidade da construção do conhecimento.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof.^a Dra. Rosilene Oliveira Mesquita e Prof.^a Dra. Aiala Vieira Amorim pelo tempo, disposição e as valiosas colaborações.

Aos professores do programa de pós-graduação Agronomia/Fitotecnia, que contribuíram na construção do conhecimento, com paciência e dedicação.

Aos colegas do Laboratório de Análise de Sementes, pelas reflexões, críticas, sugestões recebidas, paciência e colaboração nos experimentos e na vida, em especial ao Charles, Selma, Kaiane, Regina, Silvana, Jesimiel, Luma, Kelly Lima, Ana Kelly, Antônio, Wendson, Liliani, Lilian, Paloma, Hellen e Luci.

Aos colegas de residência, Josiane e Clark, com os quais compartilhei momentos de alegria, tristeza e aflições.

Aos amigos paraenses Laís, Jamille, Josielma, Ítalo e Nouglas, pelo companheirismo.

Aos amigos que conquistei durante o mestrado, Jéssica, Daniel, Alex e Poliana com quem compartilhei momentos de alegria e muito estudo.

Aos meus parentes e amigos, em especial ao meu querido tio Dário Lopes pelo incentivo na busca do conhecimento e formação.

Ao meu pai Raimundo Costa e minha amável mãe, Socorro Costa (*in memoriam*), que com muita dedicação e amor contribuíram na minha formação e jamais mediram esforços para que eu pudesse concretizar mais uma etapa de minha vida.

Enfim, a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho, pois esta experiência foi e será inesquecível no amadurecimento e na realização de novas conquistas da minha vida.

A todos, o meu MUITO OBRIGADA!!!

“...tudo posso naquele que me fortalece”
(Filipenses 4.13)

RESUMO

O cultivo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) tem significativa importância por ser uma espécie de alto valor nutritivo e apresenta uma ampla adaptação às condições adversas. Objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito do tratamento de sementes com ácido giberélico sobre a germinação, crescimento inicial de plântulas e processos fisiológicos da quinoa, BRS Piabiru, submetidas a estresse salino e hídrico. O trabalho foi realizado em quatro experimentos. No experimento I, as sementes foram umedecidas com a solução de PEG 6000 e de NaCl para simular o efeito do estresse hídrico e salino respectivamente, sendo as soluções ajustadas a 0,0; -0,2; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0; -1,2; -1,4 e -1,6 MPa. Foram avaliados porcentagem e índice de velocidade de germinação, crescimento e acúmulo de matéria seca das plântulas. No experimento II, as sementes foram tratadas em ácido giberélico em 0, 0,005, 0,010 e 0,015 mg L⁻¹ e semeadas em placas de Petri umedecido com as concentrações 0,0; -0,4; -0,8; -1,2 e -1,6 MPa de PEG 6000 e de NaCl. Foram avaliadas as mesmas variáveis do primeiro experimento. No experimento III e IV, as sementes foram tratadas com ácido giberélico 0; 0,005; 0,010 e 0,015 mg L⁻¹, semeada em copos descartáveis e cultivado em solução salina 0,0; -0,4; -0,8 MPa de NaCl no experimento III e umedecido com 10%, 50% e 100% de água na capacidade de campo no experimento IV. Foram avaliados o crescimento, trocas gasosas, teores de clorofila e carotenoides. O resultados de germinação e o crescimento de plântulas de quinoa em ambiente controlado foram reduzidos com os maiores níveis de estresse salino, porém o estresse hídrico foi limitante para germinação a partir de -0,8 MPa. O efeito da embebição das sementes em água e em ácido giberélico à 0,005 e 0,010 mg L⁻¹ foram mais significativos nas menores concentrações salinas para germinação e crescimento inicial da quinoa. Já nas condições de estresse hídrico o GA₃ não influenciou na germinação, mas a embebição em 0,005 e 0,010 mg L⁻¹ de GA₃ contribuiu para o aumento radicular e de massa seca. Em casa de vegetação, o aumento da concentração salina reduziu o crescimento das plantas, trocas gasosas e incrementou as concentrações de clorofila e carotenoides. A aplicação de 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ reduziu a área foliar e a fotossíntese na testemunha e aumentou a fotossíntese nas concentrações salinas. No estresse hídrico, o crescimento da quinoa foi reduzido na menor disponibilidade hídrica, mas o tratamento das sementes com GA₃ minimizou os efeitos do estresse através do aumento das trocas gasosas e carotenoides.

Palavras-chave: *Chenopodium quinoa*. Hormônio. Salinidade. Tolerância.

ABSTRACT

The cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is significant because it is a species of high nutritional value and has a wide adaptation to adverse conditions. The objective of this study was to evaluate the effect of seed treatment with gibberellic acid on germination, initial seedling growth and physiological processes of quinoa, BRS Piabiru, submitted to saline and water stress. The work was carried out in four experiments. In the experiment I, the seeds were moistened with PEG 6000 and NaCl solution to simulate the effect of water and saline stress, respectively, with the solutions adjusted to 0,0; -0.2; -0.4; -0.6; -0.8; -1.0; -1.2; -1.4 and -1.6 MPa. The percentage and rate of germination, growth and dry matter accumulation of the seedlings. In experiment II, the seeds were treated in gibberellic acid at 0, 0.005, 0.010 and 0.015 mg L⁻¹ and seeded in Petri dishes moistened with the concentrations 0,0; -0.4; -0.8; -1.2 and -1.6 MPa of PEG 6000 and NaCl. The same variables of the first experiment were evaluated. In experiment III and IV, the seeds were treated with gibberellic acid 0; 0.005; 0.010 and 0.015 mg L⁻¹, seeded in disposable cups and cultured in 0.0 saline solution; -0.4; -0.8 MPa of NaCl in experiment III and moistened with 10%, 50% and 100% of water in field capacity in experiment IV. Growth, gas exchange, chlorophyll, and carotenoid content. The results of germination and growth of quinoa seedlings in a controlled environment were reduced with higher levels of saline stress, but the water stress was limiting to germination from -0.8 MPa. The effect of imbibition of seeds in water and gibberellic acid at 0.005 and 0.010 mg L⁻¹ were more significant at the lower salt concentrations for germination and initial growth of quinoa. In the water stress conditions GA₃ did not influence germination, but the imbibition in 0.005 and 0.010 mg L⁻¹ of GA₃ contributed to root and dry mass increase. In greenhouse, the increase of the saline concentration reduced the growth of the plants, gas exchanges and increased the concentrations of chlorophyll and carotenoids. The application of 0.015 mg L⁻¹ of GA₃ reduced leaf area and photosynthesis in the control and increased photosynthesis at salt concentrations. In water stress, quinoa growth was reduced at lower water availability, but seed treatment with GA₃ minimized the effects of stress through increased gas and carotenoid changes.

Keywords: *Chenopodium quinoa*. Hormone. Salinity. Tolerance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Porcentagem de germinação de sementes de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017. ...	31
Figura 2 -	Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.	32
Figura 3 -	Comprimento da raiz de plântulas de sementes de quinoa submetidas a diferentes em concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.	33
Figura 4 -	Comprimento da parte aérea de plântulas de semente de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.	34
Figura 5 -	Massa seca da plântula de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.	35
Figura 6 -	Curvas de embebição de sementes de quinoa BRS Piabiru em solução de GA3.	36
Figura 7 -	Porcentagem de germinação de sementes de quinoa tratadas com GA3 e submetidas a diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.	37
Figura 8 -	Porcentagem de germinação de sementes de quinoa tratadas com GA3 e submetidas a diferentes em concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017. .	38
Figura 9 -	Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de quinoa tratadas com GA3 e submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.	39
Figura 10 -	Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de quinoa tratadas com GA3 e submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.	40
Figura 11 -	Comprimento da raiz de quinoa tratadas com GA3 e submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.	41
Figura 12 -	Comprimento da raiz de quinoa tratadas com GA3 e submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.	42
Figura 13 -	Comprimento da parte aérea de quinoa tratadas com GA3 submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.	43

Figura 14 -	Comprimento da parte aérea de quinoa tratadas com GA3 submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.	44
Figura 15 -	Massa seca da planta de quinoa tratadas com GA3 submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.	45
Figura 16 -	Massa seca da planta de quinoa tratadas com GA3 submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.	46
Figura 17 -	Altura (A), comprimento radicular (B), área foliar (C) e alocação de biomassa (D) em plantas de quinoa em função do tratamento de sementes com GA3 e submetidas ao estresse salino. Fortaleza/CE, 2017.	47
Figura 18 -	Fotossíntese líquida (A), transpiração (B), condutância estomática (C), relação da concentração interna e externa de CO ₂ (C _i /C _a) (D), de plantas de quinoa em função do tratamento de sementes com GA3 e submetidas ao estresse salino. Fortaleza/CE, 2017.	50
Figura 19 -	Teores foliares de clorofilas a (A), b (B), total (C) e carotenoides (D) de plantas de quinoa em função do tratamento de sementes com GA3 e submetidas ao estresse salino. Fortaleza/CE, 2017.	53
Figura 20 -	Altura (A), comprimento da raiz (B), área foliar (C), alocação de biomassa (D) e biomassa do caule (E) em plantas de quinoa em função do tratamento com GA3 e submetidas ao estresse hídrico. Fortaleza/CE, 2017.	55
Figura 21 -	Fotossíntese (A), transpiração (B), condutância estomática (C), relação da concentração interna e externa de CO ₂ (C _i /C _a) (D) em plantas de quinoa em função do tratamento com GA3 e submetidas ao estresse hídrico. Fortaleza/CE, 2017.	58
Figura 22 -	Teores foliares de clorofilas a (A), b (B), total (C) e carotenoides (D) em plantas de quinoa em função do tratamento com GA3 e submetidas ao estresse hídrico. Fortaleza/CE, 2017.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOD	Demanda Biológica de Oxigênio
cc	Capacidade de campo
clf	Clorofilas
DAS	Dias após a semeadura
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DMSO	Dimetilsulfóxido
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EROs	Espécies reativas de oxigênio
GA ₃	Ácido giberélico
IVG	Índice de velocidade de germinação
MPa	Mega Pascal
NaCl	Cloreto de sódio
NaClO	Hipoclorito de sódio
PEG 6000	Polietilenoglicol
PG	Porcentagem de germinação
RAS	Regras para Análise de Sementes

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
%E	Porcentagem de embebição
°C	Graus Celsos
C	Concentração
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g	Gramas
Há	Hectare
K	Potássio
L	Litros
Li	Lítio
Mg	Magnésio
mg/L	Miligramas por litro
mM	Milimolar
MPa	Mega Pascal
Na	Sódio
R	Constante universal dos gases
T	Temperatura
Zn	Zinco
Ψ_o	Potencial osmótico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Aspectos gerais da quinoa	14
3.2	Efeito da salinidade em plantas	15
3.3	Efeito da deficiência hídrica em plantas	18
3.4	Estresse salino e hídrico durante a germinação	20
3.5	Influência do ácido giberélico na germinação e crescimento inicial sobre estresse	21
4	MATÉRIAS E MÉTODOS	23
4.1	Experimento 1	24
4.2	Experimento 2	25
4.3	Experimento 3	27
4.4	Experimento 4	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Experimento 1	31
5.2	Experimento 2	36
5.3	Experimento 3	47
5.3.1	<i>Análises de crescimento</i>	47
5.3.2	<i>Trocas gasosas</i>	50
5.3.3	<i>Teores de clorofila e carotenoides</i>	52
5.4	Experimento 4	54
5.4.1	<i>Análises de crescimento</i>	54
5.4.2	<i>Trocas gasosas</i>	57
5.4.3	<i>Teores de clorofila e carotenoides</i>	60
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	64
	ANEXO A – ANÁLISE DE SOLO	73

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Chenopodium quinoa* Willd. é originária dos Andes, na América do Sul e domesticada principalmente pela população local da Bolívia e Peru por volta de 7.000 anos A.C (ZURITA-SILVA *et al.*, 2014). Recentemente, está sendo produzida e consumida em muitos países, sendo popularmente conhecida como quinoa, suba em Bogotá e como dahue no Deserto do Atacama, Bolívia, Peru, Equador, Chile e Argentina (NAVRUZ-VARLI; SANLIER, 2016; JELLEN *et al.*, 2014).

A cultura da quinoa expressa sua importância social que advém dos benefícios alimentares, devido seus altos teores de vitaminas, proteínas e uma valiosa fonte de minerais como Ca e Mg (NAVRUZ-VARLI; SANLIER, 2016). Além de reunir propriedades nutricionais mais completas, com a presença de maiores teores de aminoácidos como a lisina e metionina, sendo considerado um alimento de grande importância para a segurança alimentar e combate à desnutrição (FAO, 2013). Também pode ser utilizada na alimentação animal, na diversificação de cultivo, na proteção do solo devido a quantidade de biomassa produzida, além de ser cultivada em regiões mais sujeitas as condições de baixa pluviosidade e em áreas com problemas de salinidade (FAO, 2013).

A quinoa é considerada uma espécie halófito facultativa, que sob condições adversas como baixa disponibilidade hídrica e/ou sob estresse salino é menos afetada que a maioria das espécies cultivadas (CHILO *et al.*, 2009). Este fato vem despertando o interesse em estudos que mostrem o real potencial para o cultivo em regiões do semiárido. O efeito desse estresse provoca a redução do potencial osmótico, ocasionando a redução da absorção de água e nutrientes pelas sementes e plantas, redução das taxas fotossintéticas, da produção de biomassa, da velocidade e porcentagem de germinação, do desenvolvimento e do crescimento das plantas (HARIADI *et al.*, 2011).

Uma das alternativas utilizadas para amenizar os estresses abióticos, tem sido a utilização de hormônios vegetais, que atuam no desenvolvimento da planta reduzindo os efeitos de condições ambientais desfavoráveis (LANA *et al.*, 2009). Segundo Taiz e Zeiger (2017) a utilização de estimulantes é importante para a ativação metabólica. Nesse sentido, o ácido giberélico vem sendo utilizado visando estimular a produção de enzimas, por meio do aumento da absorção de água, facilitando o desdobramento das reservas das sementes, o que irá contribuir na promoção da emergência e conseqüente crescimento e desenvolvimento da plântula (TAIZ; ZEIGER, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito do tratamento de sementes com ácido giberélico em relação a germinação, crescimento inicial e processos fisiológicos da quinoa cultivar BRS Piabiru, como atenuante dos efeitos deletérios dos estresses salino e hídrico.

2.2 Específicos

1. Avaliar a germinação, vigor e crescimento das plântulas de quinoa, cultivar BRS Piabiru, em ambiente controlado, simulando diferentes concentrações de estresse salino e hídrico;
2. avaliar a germinação, vigor e crescimento das plântulas de quinoa em ambiente controlado, utilizando sementes tratadas com diferentes concentrações de ácido giberélico, e semeadas sob diferentes concentrações de estresse salino e hídrico;
3. avaliar o crescimento inicial, trocas gasosas, teores de clorofila e carotenóides de plantas de quinoa em condições de casa de vegetação, após o tratamento das sementes com ácido giberélico, e submetidas às condições de estresse salino;
4. avaliar o crescimento inicial, trocas gasosas e teores de clorofila e carotenóides de plantas de quinoa em condições de casa de vegetação, após o tratamento das sementes com ácido giberélico, e submetidas às condições de estresse hídrico.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos gerais da quinoa

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) pertencente à família *Amarantaceae*, subfamília *Chenopodiaceae* e gênero *Chenopodium* é uma espécie herbácea anual, que pode atingir, de acordo com as variedades e os fatores climáticos, de dois a três metros de altura (MUJICA-SANCHEZ *et al.*, 2001). O sistema radicular é do tipo pivotante, profundo, ramificado, características estas relacionadas a tolerância à seca. O caule é cilíndrico, com folhas alternadas e com presença de oxalato de cálcio, que auxilia na retenção de umidade e controle de temperatura na folha (MUJICA-SANCHEZ *et al.*, 2001).

Peru, Bolívia e Equador são os principais produtores mundiais de quinoa, apresentando produção no ano de 2016 de aproximadamente 79.269; 65.548 e 3.903 toneladas respectivamente (GRANADOS, 2016; FAO, 2016). Foi introduzida recentemente em mais de 50 países, da Europa, América do Norte, Ásia e África. No Brasil, foi introduzida na década de 1990, pela EMBRAPA Cerrados com o intuito de obter variedades tolerantes para melhor adaptação da quinoa as condições ambientais do Brasil. Assim, no ano 2000 foi lançada a cultivar BRS Piabiru, com a linhagens selecionadas pela EMBRAPA, sendo a primeira cultivar de quinoa granífera recomendada para o cultivo comercial no país, apresentando adaptação as condições do cerrado, ausência de saponinas e produtividade de 2,8 t ha⁻¹ (SPEHAR; SANTOS, 2002).

A cultivar BRS Piabiru, se caracteriza por apresentar hipocótilo com variável coloração de verde e róseo, folhas com polimorfismo, inflorescência com coloração amarela (maturidade fisiológica) e amarantiforme, grãos cilíndricos e achatados, com pequenas dimensões, a planta possui cerca de 1,9 m de altura, com ciclo de 80 a 145 dias, sendo comumente utilizada posterior e na entressafra da soja (SPEHAR; SANTOS, 2002).

A área plantada com quinoa no Brasil ainda é reduzida, sendo a maioria dos estudos concentrados no cerrado brasileiro, porém apresenta potencial de crescimento para atender à demanda que a alguns anos é suprida pela importação (SPEHAR *et al.*, 2014). Sabe-se que o que dificulta o consumo do produto, são os preços elevados de importação, além de um incipiente conhecimento pela população das propriedades nutricionais da cultura.

No entanto, percebe-se um aumento no interesse voltado a produção e consumo de quinoa em escala mundial principalmente a partir do ano de 2013, em que foi considerado

“O ano internacional da quinoa”, sendo classificado pela ONU como alimento importante na segurança alimentar (GRANADOS, 2016). Isso ocorreu em consequência do maior conhecimento da cultura, com estudos que comprovam seus benefícios nutricionais, proporcionando crescente consumo pelos adeptos aos produtos mais saudáveis como os orgânicos e aos que possuem estilo alimentar na forma de produtos vegetarianos e veganos (NAVRUZ-VARLI; SANLIER 2016).

Considerada como um pseudocereal, a quinoa, é uma dicotiledônea, que apresenta quantidades aproximadas em carboidratos e fibras comparadas aos outros cereais (NOWAK; DU; CHARRONDIÈRE, 2016). No entanto, apresenta maiores teores de proteínas e lipídeos em seu embrião, com 12-18% de proteínas; aminoácidos essenciais como a metionina e lisina; vitaminas A, B, C e E; minerais Ca, Mg, Zn, Cu, Li e Fe; ácidos graxos e carboidratos em maiores ou equivalentes quantidades do que outros grãos, como o sorgo, milho, trigo e arroz (STIKIC *et al.*, 2012; BORGES *et al.*, 2010). Além disso, a quinoa torna-se uma alternativa de consumo no tratamento a indivíduos com doenças celíacas, visto que em sua composição encontra-se ausência de gliadinas (proteína formadora de glúten) (SAMPAIO, 2014). Logo, estudos comprovaram em análises sensoriais resultados superiores a 70% de aceitabilidade por pessoas intolerantes a glúten (CASTRO *et al.*, 2007, ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2010).

O consumo da quinoa se realiza com grãos, que são os componentes da planta mais explorados na alimentação humana, podendo ser utilizados em sopas, moídos para fazer farinha, consumido na forma de massas, flocos, biscoitos, barras energéticas e óleos essenciais (BHARGAVA; SHUKLA; OHRI, 2006). As folhas podem ser utilizadas no preparo de saladas e no preparo para produção de forragem (SPEHAR; SANTOS, 2002).

Com a crescente demanda da quinoa, tem-se observado a necessidade do investimento na produção e em novas pesquisas para o estabelecimento da cultura em diferentes regiões do mundo, sendo apresentado diferentes respostas no crescimento e na produção, com demonstração de ampla adaptabilidade ao clima seco e frio (ZURITA-SILVA *et al.*, 2014).

3.2 Efeito da salinidade em plantas

A necessidade de aumento na produção de alimentos para segurança alimentar, contribui na expansão de áreas para o cultivo e gera um aumento no uso do manejo e técnicas inadequadas para o uso dos solos, o que influencia na crescente problemática sobre a

degradação ambiental relacionada ao desmatamento, erosão, salinização entre outros. Segundo estudos realizados pela FAO e colaboradores, é estimado que 30% dos solos do mundo estão degradados (EMBRAPA, 2015). E entre as ameaças ambientais, encontra-se a salinidade que por meio das atividades antrópicas atingem aproximadamente 9.500.000 km² de terra distribuídos nas regiões da Austrália, Ásia, América do Sul e África (AHMED; QAMAR, 2004).

No Brasil, as principais áreas de salinização ocorrem no Rio Grande do Sul e na região Nordeste, onde é intensificada devido as extensas áreas de irrigação de aproximadamente 500 mil ha (RIBEIRO; FREIRE; MONTENEGRO, 2003; HEINZE, 2002). A salinização pode ser encontrada em regiões áridas e semiáridas, sendo considerada uma das principais causas da degradação dos solos, com consequentes prejuízos no desenvolvimento e na produtividade das plantas (SILVA *et al.*, 2011).

Os efeitos causados pela salinidade nas plantas são desencadeadas pelos estresses osmótico e iônico, que propicia o início de efeitos primários com a redução do potencial hídrico, desidratação celular e citotoxicidade iônica e por efeitos secundários mediante redução da expansão celular/foliar, redução das atividade celulares e metabólicas, fechamento estomático, abscisão foliar, inibição fotossintética, desequilíbrio de membranas e proteínas, intensificação da produção de EROs (espécies reativas de oxigênio), entres outros, até chegar a morte celular (TAIZ; ZEIGER, 2017).

As plantas respondem a salinidade de acordo com a concentração salina do solo, a espécie da planta, o clima, as prática agrícolas, genótipo e estágio de desenvolvimento (KOYRO; EISA, 2008; GONÇALVES, 2013). Dessa forma, o efeito tóxico da salinidade nas plantas, pode ocorrer em qualquer cultura a partir de concentrações toleráveis pela mesma, propiciando uma instabilidade citoplasmática, podendo ser observado pelas mudanças morfológicas utilizando a plasticidade fenotípica para o desenvolvimento e adaptação as condições ambientais, que pode ser observado principalmente na parte aérea da planta (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Maas e Hoffman (1977) estudaram os níveis de tolerância a salinidade para várias culturas, tomando como base a produtividade da cultura em níveis satisfatórios e utilizaram avaliações de condutividade elétrica para caracterização de níveis de salinidade nos solos. Dessa forma as plantas são sensíveis a salinidade (CE: 0-8 dS m⁻¹), moderadamente sensíveis a salinidade (CE: 8-16 dS m⁻¹), moderadamente tolerantes a salinidade (CE: 16-24 dS m⁻¹) ou tolerantes a salinidade (CE: 24-32 dS m⁻¹). A partir dessa classificação tem-se um parâmetro para nortear decisões em atividades agrícolas.

A tolerância das plantas a ambientes salinos está relacionada ao mecanismo de ajuste interno de potencial hídrico e assim controlar a produção de EROs (SHABALA *et al.*, 2012). O desenvolvimento das EROs contribui para várias alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas decorrentes de efeitos de estresses abióticos, prejudicando o desenvolvimento da planta, por meio do desequilíbrio nutricional causado pelas limitações funcionais e consequente redução da produtividade das plantas, por outro lado induzem sinal para aclimatação, amenizando os efeitos negativos do estresse (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A tolerância da quinoa as condições de seca e salinidade está relacionada a mecanismos adaptativos como o ajuste osmótico, a osmoproteção, relações de trocas gasosas, retenção de potássio, translocação de sódio e a presença de bexigas de oxalato de cálcio nas folhas que contribuem para menor sensibilidade das plantas (SIENER *et al.*, 2006; ADOLF; JACOBSEN; SHABALA, 2013). Essa adaptação proporciona boas condições de retomada da sua atividade fotossintética após esse período de estresse, possuindo boas características para o cultivo em terrenos áridos e semiárido, onde a quinoa prolonga ou antecipa seu ciclo vegetativo para tolerar ambientes adversos de estresse salinos e hídricos (JACOBSEN; MUJICA; JENSEN, 2003).

Desse modo, é importante o cultivo de plantas mais tolerantes as condições de solos salinos, como as plantas halófitas, pois possui tolerância a diferentes níveis de salinidade (CHILO *et al.*, 2009). Essa alternativa viável de cultivo ocorre devido às características de aspectos fisiológicos, em que o baixo potencial hídrico da planta, contribui no controle da absorção da solução salina do substrato, ao mesmo tempo que possui a capacidade de manter em seu interior altos níveis de K^+ (potássio) e Ca^{2+} (cálcio), à medida que reduz os níveis de Na^+ , alcançando o ajuste osmótico com a presença de oxalato de cálcio, que são grânulos de sal que contribuem para a retenção de maior quantidade de íons nos vacúolos foliares, além de excretar o Na^+ , podendo reduzir os efeitos de EROs com a redução da toxicidade nos tecidos internos (KOYRO; EISA, 2008). Assim, contribuí para a melhor eficiência no uso da água por meio dos mecanismo de abertura estomática, sem no entanto prejudicar as atividade metabólicas da planta (MA; GONG; BOHNERT, 2006; SILVA DIAS; BLANCO, 2010).

Na quinoa, o controle salino ocorre com o auxílio do Na^+ no xilema que é retido pelo vacúolo das folhas, eficiência do K^+ e abertura estomática. Estudos foram realizados demonstrando a tolerância fisiológica da quinoa em concentrações de estresse salino e hídrico, em que a cultivar 5206 sob condições de alta salinidade (500 mM) apresentou o comprimento reduzido de 50% de raiz, com baixa produção de sementes, alta concentração da relação

Na^+/K^+ nas folhas mais velhas e o estresse hídrico apresentou 60% de germinação (HARIADI *et al.*, 2011). Dessa forma, o conhecimento dessa característica da planta e suas fases de desenvolvimento são importantes para seleção de cultivares com maior tolerância em diferentes ambientes com estresses simultâneos (ADOLF; JACOBSEN; SHABALA, 2013).

Existem por volta de quase 250 acessos de quinoa (GÓMEZ-PANDO; ÁLVAREZ-CASTRO, 2010), dos quais mais de 200 foram testados, revelando resultados divergentes sob condições de salinidade, mostrando também que a tolerância pode variar da germinação até o fim do ciclo, especialmente no período da floração em que se torna mais sensível a fatores abióticos (GEERTS *et al.*, 2008), o que demonstra a variação relacionada a fatores ambientais como a temperatura e o fotoperíodo (ADOLF; JACOBSEN; SHABALA, 2013).

Segundo Razzaghi *et al.* (2011) a quinoa, encontra-se entre as culturas que tem alto potencial de tolerância a ambientes salinos, podendo ocorrer alterações de acordo com as variedades, quando possuem um bom desenvolvimento com 150 mM NaCl e podendo suportar aos níveis de água do mar (40 dS m^{-1}) ou ainda crescer em concentrações salinas à 500 mM de NaCl ou além desses níveis salinos. Inclusive algumas variedades de quinoa se desenvolvem melhor em níveis moderados de salinidade quando comparadas a solos com ausência da salinidade (KOYRO; EISA, 2008). Essa tolerância é devido a diferentes efeitos ocasionados pela salinidade, que provoca mudanças na estrutura das sementes, composição e mobilização das reservas de nutrientes em quinoa (ADOLF; JACOBSEN; SHABALA, 2013).

A salinidade, além de influenciar negativamente na estrutura da semente, com alterações na germinação, ainda contribui alterando a morfologia de mudas de quinoa em processos como: a homeostase iônica e osmótica, teores de clorofila e síntese de carotenoides, fotossíntese, partição de carbono, lipídios, síntese de proteínas, metabolismo da planta e crescimento (RUFFINO *et al.*, 2010). Para realizar um ajuste osmótico sob condições salinas, é importante realizar mudanças metabólicas na fase inicial, além de utilizar alternativa de implantação de boas práticas de manejo da água e do solo (HOLANDA *et al.*, 2010).

3.3 Efeito da deficiência hídrica em plantas

A condição climática caracterizada por períodos com ausência de precipitação e altos níveis de evaporação reduz a umidade do solo prejudicando de forma acentuada a agricultura, visto que a água é fundamental para o início da atividade metabólica das plantas,

afetando principalmente as grandes culturas por área de produção (FERRARI; PAZ; SILVA, 2015).

A importância da água para planta se conhece a partir da grande quantidade utilizada pela mesma para completar suas funções, apropriando-se de 97% para evaporação, 2% na atividade bioquímica e 1% em processos metabólicos (TAIZ; ZEIGER, 2017). A redução desse bem natural, provocando o déficit hídrico, são sentidos pela planta de acordo com suas características, níveis de estresse, tempo e estágio de desenvolvimento (ZINGARETTI *et al.*, 2013). Nessas condições de estresse hídrico, as consequências são sentidas com a desidratação da planta que sofre com a redução da atividade metabólica e em resposta ocorre um aumento da produção de ABA (ácido abscísico) e o aumento da produção de EROS (espécies reativas de oxigênio) ou podem manter o turgor celular com o acúmulo de íons no interior do citoplasma e vacúolo, e com isso direcionar energia para o crescimento radicular e/ou para vasos condutores aumentando a adaptação ao meio (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Esses efeitos das condições de estresse hídrico são expressos na planta mediante as mudanças morfológicas, fisiológicas e bioquímicas das atividades metabólicas que passam por inúmeras alterações dentre elas a acumulação de açúcares, redução de pigmentos fotossintéticos, limitação da absorção de água, redução da germinação, menor porte da planta, redução da área foliar, mudanças genéticas, baixa elasticidade, aceleração da senescência e abscisão foliar (MORAES FILHO, 2013). Esses efeitos causados pelo estresse hídrico influenciam diretamente na redução do rendimento produtivo, na economia e consumo da cultura (NELSON *et al.*, 2009).

A alternativa de cultivo de plantas halófitas, plantas mais tolerantes a condições de estresse abióticos, tem ganhado espaço principalmente pelas suas inúmeras características entre elas a redução do potencial hídrico, fechamento estomático, reduzindo a perda de água por transpiração para manter temperatura e umidade interna na planta, redução de área e forma foliar, mudança na orientação foliar, redução da relação raiz e parte aérea, redução do peso da planta, manutenção da turgescência, desenvolvimento do sistema radicular (MORAES FILHO, 2013; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os efeitos do estresse hídrico, têm sido estudado sobre comportamentos de sementes e plantas, e algumas substâncias são empregadas como indicadoras de parâmetros para condicionamento osmótico em sementes, sendo o polietilenoglicol 6000 (PEG) mais comumente utilizado em concentrações de acordo com a espécie (GIROTTI *et al.*, 2012, OLIVEIRA; GOMES-FILHO, 2009). O PEG, por sua vez é um polímero não tóxico e inerte,

que proporciona uma pressão osmótica, devido a concentrações de solutos que alteram a quantidade de água livre nas sementes, sendo o potencial hídrico influenciado diretamente pela temperatura e diferentes diluições do soluto, até alcançar o máximo, em que a emissão da radícula não seja mais expressa (VILLELA; DONI FILHO; SEQUEIRA, 1991).

3.4 Estresses salino e hídrico durante a germinação

Conforme Marcos Filho (2015) a germinação é o processo em que sementes sob condições favoráveis iniciam o desenvolvimento do eixo embrionário. Muitos fatores, no entanto são fundamentais para a obtenção da germinação, entre eles encontram-se fatores internos (viabilidade e longevidade das sementes) e externos as sementes (água, temperatura e oxigênio). Dentre os fatores externos, a água é um dos principais, pois atua na ativação de diferentes processos metabólicos, que acarretam na germinação de sementes (AGOSTINI, 2010). Em situações de déficit hídrico podem ocorrer grandes mudanças em sementes e plantas, dependendo da severidade, da duração e da natureza do estresse, do genótipo e da fase do desenvolvimento da planta (GONÇALVES, 2013).

A absorção de água pelas sementes ocorre com a diferença no potencial hídrico entre substrato e semente, sendo essencial para manter o turgor e promover a expansão celular dando início ao crescimento e desenvolvimento vegetal. A embebição das sementes no processo de germinação transcorre em três fases, no qual a fase I, a embebição acontece de forma rápida por meio do potencial mátrico celular, na fase II verifica-se a redução de absorção e o início das atividades metabólicas com o aumento do volume celular e protusão radicular, na fase III há o retorno do aumento na absorção para a evolução do vegetal (MARCOS FILHO, 2015; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Em condições de estresse salino e hídrico, a absorção de água pelas sementes se torna limitante devido à redução de gradiente de potencial, reduzindo a quantidade de água para o embrião, que resulta em menor germinação e desenvolvimento de plantas (VIEIRA, 1994).

Para o estabelecimento de qualquer cultura é importante a adaptação da mesma ao ambiente de cultivo, sendo indicado para regiões do semiárido espécies que apresentem maior ajustes as diferentes características de estresse abióticos. A tolerância pode ser observada por meio do poder germinativo das sementes em condições de salinidade e déficit hídrico, o que indica uma possível tolerância nos demais estádios da planta (LARCHER, 2000), no entanto também faz-se necessário a observação quanto ao desenvolvimento e crescimento das

plântulas. Estudos comprovaram que plantas halófitas apresentam maior tolerância a condições abióticas de estresse salino em comparação as plantas glicófitas.

A germinação varia com a tensão osmótica e iônica de salinidade de acordo com a variedade de quinoa (DELATORRE-HERRERA; PINTO, 2009). Estudos com quinoa cv. Sajama, demonstraram que o aumento de concentrações de NaCl reduz o percentual de germinação (PRADO *et al.*; 2000) e que segundo Ungar (1996) a redução da germinação pode ser causada por uma dormência devido a efeitos osmóticos e não provocadas pelo efeito tóxico, provando que retirando as sementes não germinadas da condição salina, elas retomam as atividades metabólicas.

3.5 Influência do ácido giberélico na germinação e crescimento inicial sobre estresse

Os reguladores vegetais são produzidos pelas plantas em diferentes fases de desenvolvimento, em diferentes períodos e na presença de estresses bióticos ou abióticos, sendo nesse caso relacionado a um fator de resistência, ativando vias bioquímicas para estimular ou inibir a sua síntese (VERPOORTER; MEMELINK, 2002).

A produção de hormônios pela planta pode ser insuficiente, e com isso há necessidade de aplicação exógena e direta em sementes ou plântulas facilitando o processo germinativo e a promoção do crescimento, assim como também pode dobrar a síntese de proteínas nas sementes e contribuir para atenuar os efeitos de desequilíbrio hormonal causado por estresses (NETO *et al.*, 2014).

As giberelinas são hormônios de crescimento de grande importância no desenvolvimento das plantas e estão relacionadas à quebra de dormência, regulação da germinação, crescimento do caule, alongamento nos entrenós, aumento na área foliar, na quantidade de massa seca (TAIZ; ZEIGER, 2017). Essas alterações celulares ocorrem devido ao estímulo da giberelina nas atividades de enzimas responsáveis pela hidrólise do amido, produzindo compostos de açúcares simples, aminoácidos e ácido nucléicos que são liberados para o embrião, contribuindo para acelerar a germinação com maior uniformidade e auxiliando no desenvolvimento da planta (DILDEY *et al.*, 2016; TAIZ; ZEIGER, 2017). De acordo com Taiz e Zeiger (2017) estudos realizados demonstraram que sementes de arroz tratadas com GA sintetizaram muitas enzimas de α -amilase, resultaram em um aumento de enzimas hidrolíticas como as proteases.

As giberelinas podem ser encontradas em todas as partes da planta, com síntese em diferentes concentrações e climas, ocorrendo nas extremidades de crescimento de cada

órgão da planta e em todo seu ciclo, como na germinação, no florescimento até o desenvolvimento do pólen e do fruto (RODRIGUES; LEITE, 2004).

Segundo Taiz e Zeiger (2017) as giberelinas GA₁ e GA₄ estão relacionadas a bioatividade hormonal, além delas, podem ser encontradas outras giberelinas as quais estão relacionadas a desativação das giberelinas ativas. Dentre as várias giberelinas, o GA₃ está disponível comercialmente e tem sido muito usado no desenvolvimento biológico (ARTECA, 1996).

A utilização de GA, ativa estímulos a degradação do amido facilitando assim a germinação (TAIZ; ZEIGER, 2017). Essa degradação ocorre por meio das enzimas α e β -amilase a partir das hidrólises do amido, que é transformado em glicose, a qual é utilizada na promoção de energia para o crescimento da planta, além de equilibrar a produção de genes, que atuam na produção de GA ativas e devem manter o desenvolvimento na planta (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Em condições de estresse ambiental, as sementes se tornam sensíveis devido ao aumento do ABA (ácido abscísico) podendo desenvolver uma dormência momentânea inibindo a germinação das sementes e, com o passar do tempo, dependendo dos níveis de estresse, ocorre o aumento da síntese de GA pelas sementes promovendo a germinação, podendo apresentar redução da sensibilidade quando colocadas novamente sobre condições de estresse (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Assim, como a produção de giberelina endógena, a aplicação exógena também tem sido realizado de várias formas, dentre elas encontra-se o condicionamento osmótico ou “priming”, que tem como finalidade o controle das fases iniciais da embebição sem, no entanto, promover a protusão radicular que é desenvolvido na fase III (MARCOS FILHO, 2015). O tratamento de sementes com o condicionamento osmótico proporciona benefícios para maior velocidade e uniformidade da geminação e emergência, e também maior tolerância a variadas condições ambientais como estresse salino e hídrico (NAKAUNE *et al.*, 2012). Resultados promissores já foram obtidos por sementes milho (BARBIERI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2016) demonstrando eficiência para amenizar os efeitos do estresse abiótico em plantas (COLEBROOK *et al.*, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados quatro experimentos no Laboratório de Análise de Sementes e na casa de vegetação, que fazem parte do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, localizada na cidade de Fortaleza-CE.

Foram utilizadas sementes de quinoa da cultivar BRS Piabiru, cedidas, em 2016, pela EMBRAPA Cerrado e armazenadas em câmaras de refrigeração, sob condições de umidade e temperatura controladas. O trabalho foi dividido em quatro experimentos: 1) Germinação e crescimento de plântulas de quinoa sob estresse salino e hídrico, realizado em laboratório; 2) Efeitos do ácido giberélico na germinação de sementes de quinoa submetidas a estresse salino e hídrico, realizado em laboratório; 3) Efeito fisiológico do tratamento de sementes com ácido giberélico sob crescimento inicial, trocas gasosas, teores de clorofila e carotenoides da quinoa em condições de estresse salino, realizado em casa de vegetação; 4) Efeito fisiológico do tratamento de sementes com ácido giberélico sob crescimento inicial, trocas gasosas, teores de clorofila e carotenoides da quinoa em condições de estresse hídrico, realizado em casa de vegetação.

Para avaliar o efeito de diferentes potenciais hídricos, foi utilizado o polietileno glicol 6000 (PEG 6000), em que as diferentes concentrações foram determinadas de acordo com Villela; Doni Filho e Sequeira (1991). Para o estresse salino, foi utilizado o NaCl, em diferentes concentrações determinados por meio da aplicação da equação de Van't Hoff (SALISBURY; ROSS, 1992) (Equação 1).

Para os cálculos de solução salina (NaCl), levou-se em consideração o fator de Van't Hoff, multiplicando por 2 ($q=2$)

Os potenciais osmóticos das soluções inicialmente foram expressos em atmosfera (atm) e convertidos para MPa. Os tratamentos constaram de soluções de NaCl e PEG 6000 nas concentrações de: 0,0; -0,2; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0; -1,2; -1,4 e -1,6 MPa, com quatro repetições.

Potencial osmótico

$$\Psi_o = - R \cdot T \cdot C \quad (1)$$

Em que:

Ψ_o = Potencial osmótico da solução (atm);

R = Constante universal dos gases ($0,082 \text{ atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$)

T = Temperatura absoluta da solução ($^{\circ}\text{K}$);

C = Concentração de solutos na solução (mol L^{-1})

4.1 Experimento 1: Germinação e crescimento de plântulas de quinoa sob estresse salino e hídrico.

Foi avaliada a tolerância da quinoa em diferentes níveis de estresses salino e hídrico por meio da germinação e crescimento da plântula. Cada tratamento foi constituído por 100 sementes, divididos em quatro repetições e distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Para isto, foi realizado uma simulação das condições ambientais de estresse hídrico, utilizando PEG 6000 (efeito osmóticos) e estresse salino, utilizando o NaCl (efeito iônico e osmótico) ajustados nas concentrações de 0; -0,2; -0,4; -0,6; -0,8; -1,0; -1,2; -1,4 e -1,6 MPa.

As sementes foram previamente esterilizadas pela imersão em álcool 70% por um minuto, em hipoclorito de sódio a 2% (NaClO) durante três minutos e enxaguadas repetidamente com água destilada. As sementes foram então colocadas em placas de Petri de aproximadamente 80 x 15 mm contendo duas folhas de papel filtro umedecido com 3 mL de solução água destilada, solução de NaCl e/ou PEG 6000 equivalente a proporção de três vezes o peso do substrato. As placas foram vedadas hermeticamente com filme plástico, para evitar a evaporação e em seguida, foi conduzido em câmara de germinação Demanda Biológica de Oxigênio (BOD), a temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 h de luz. No quinto dia após o semeio foi realizado a troca por novos substratos e o umedecimento com as mesmas soluções, permanecendo sobre estas condições durante 10 dias e em seguida realizado as seguintes avaliações.

a) porcentagem de germinação (PG) – foi avaliado o desenvolvimento das estruturas essenciais do sistema radicular e parte aérea bem desenvolvidas com estruturas completas, proporcionais e saudáveis. Para isso utilizou-se o valor percentual do número de plântulas intactas ou com pequenos danos e com infecção secundária, conforme as Regras para Análise de Sementes-RAS (BRASIL, 2009) e determinado pela fórmula abaixo;

$$PG = \frac{NG}{NS} \times 100 \quad (2)$$

Em que,

NG= Número de plântulas normais, após 10 dias de incubação;

NS= Número de sementes semeadas.

b) índice de velocidade de germinação (IVG) – foi avaliado juntamente com o teste de germinação, seguindo as mesmas recomendações, obtidas na RAS (BRASIL, 2009), com avaliações diárias, durante 10 dias, na mesma hora, a partir do dia de semeadura. O resultado foi determinado de acordo da fórmula abaixo proposta por Maguire (1962);

$$IVG = \frac{NG1}{N1} + \frac{NG2}{N2} + \dots + \frac{NGi}{Ni} \quad (3)$$

Em que,

NG (1, 2, ..., i) = Número de sementes germinadas, contabilizadas na primeira, na segunda..... e última contagens;

N (1, 2, ..., i) = Número de dias da semeadura à primeira, à segunda e à última contagem.

c) comprimento médio da parte aérea e da radícula – foi realizada a avaliação no final do teste de germinação das plântulas normais germinadas, realizada com auxílio de uma régua graduada em milímetro para a mensuração média do comprimento da parte aérea e da radícula.

d) massa seca das plântulas - após a medição das plântulas, estas foram acondicionados em sacos de papel e levados para estufa com circulação de ar forçado, a 60°C, durante 24 horas, em seguida foram realizadas pesagem em balança analítica de 0,0001g para avaliação de massa seca das plântulas. O resultado final foi expresso em g/plântulas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2015) e para elaboração dos gráficos o programa foi o Sigmaplot (SISSTAT SOFTWARE, 2008).

4.2 Experimento 2: Efeitos do ácido giberélico na germinação de sementes de quinoa submetidas a estresse salino e hídrico.

Inicialmente foi realizado a avaliação da curva de embebição das sementes em solução de ácido giberélico e, logo em seguida, as sementes foram tratadas com ácido giberélico para atenuação dos danos provocados pelo efeito salino e hídrico, utilizando-se as

concentrações de NaCl e PEG 6000 (que apresentaram 50% ou mais, do efeito prejudicial no crescimento e desenvolvimento de plântulas sobre as variáveis analisadas no primeiro experimento).

Curva de embebição: foi utilizado o peso inicial de quatro repetições de 25 sementes por tratamento, pesadas em balança analítica de 0,0001g, em seguida foi adicionado 30 mL dos tratamentos de GA₃ nas concentrações de 0; 0,005, 0,010 e 0,015 mg L⁻¹ no interior de copos descartáveis para avaliação da embebição, nos intervalos de 0; 2; 4; 6; 8; 12; 16; 22 e 28 horas. A cada intervalo, as sementes foram retiradas do copo descartável, postas sobre papel toalha para absorver a umidade externa da semente, pesadas e em seguida retornadas ao recipiente e conduzido à câmara de incubação do tipo BOD, com temperatura a 25 °C e fotoperíodo de 12 h de luz. Então, essas pesagens sucessivas foram realizadas na quantificação do ganho de massa úmida e determinação do tempo necessário para completar a fase I da curva de embebição de sementes em ácido giberélico. Avaliações foram realizadas até o período que foi observado a emissão de 50% da radícula. Ao final, foi determinado o percentual de embebição (%E), aplicando a fórmula:

$$\%E = \frac{PF - PI}{PI} \times 100 \quad (4)$$

Em que, PF= peso final e PI= peso inicial

Após a determinação do tempo da embebição das sementes de quinoa para o condicionamento em GA₃, deu-se início a aplicação do mesmo nas sementes por meio da embebição nas concentrações de 0; 0,005; 0,010 e 0,015 mg L⁻¹ durante 12 h, a 25 °C em BOD, e em seguida colocadas para secar sobre papel toalha em temperatura ambiente, durante 12 h, e posteriormente semeadas em placas de Petri sobre papel filtro, umedecido com água destilada, onde permaneceu por aproximadamente 12 h, até o princípio de emissão da radícula.

Em seguida, foi realizada a escolha das concentrações de NaCl e PEG 6000 que apresentaram 50% ou mais de danos ao desenvolvimento das plântulas no primeiro experimento e a partir disso, as sementes foram transferidas para placas de Petri, contendo 2 discos de papel filtro umedecidos nas concentrações de 0, -0,4; -0,8; -1,2 e -1,6 MPa de NaCl e PEG 6000. As placas de Petri foram vedadas com plástico filme, para reduzir a perda de

umidade e levadas a BOD, fixada na temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 h de luz, permanecendo sobre estas condições durante 10 dias.

Os tratamentos foram constituídos de 100 sementes, subdivididas em quatro repetições de 25, sendo dispostos em DIC, em arranjo fatorial 3 x 4, referente ao umedecimento do substrato com PEG 6000, NaCl e água destilada para o primeiro nível e as concentrações de 0; 0,005; 0,010 e 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ para o segundo.

As variáveis analisadas no experimento foram porcentagem de germinação (PG); índice de velocidade de germinação (IVG); além do comprimento médio da parte aérea e da raiz e massa seca da plântula.

Os dados da curva de embebição das sementes em solução de ácido giberélico foram ajustadas a equações de regressão. Para os dados de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimentos e biomassa, foi realizada análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2015) e para elaboração dos gráficos o programa foi o Sigmaplot (SISSTAT SOFTWARE, 2008).

4.3 Experimento 3: Efeito fisiológico do tratamento de sementes com ácido giberélico sob crescimento inicial, trocas gasosas, teores de clorofila e carotenoides da quinoa em condições de estresse salino.

O experimento foi conduzido na casa de vegetação, com telado de 50% de sombreamento, anexa ao Laboratório de Sementes, do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará. As sementes de quinoa da cultivar BRS Piabiru foram tratadas com GA₃, nas concentrações de 0; 0,005; 0,010 e 0,015 mg L⁻¹, por meio da embebição nos respectivos tratamentos por 12 h, e posteriormente, secas por 12 h sobre papel toalha em ambiente com temperatura de 25 °C.

A semeadura foi realizada em recipientes plásticos com capacidade para 0,5 L, utilizando como substrato a mistura de arisco e húmus de minhoca, na proporção de 2:1 (ANEXO A – Análise solo). Sendo distribuídos 12 sementes/ recipiente, mantidas durante 15 dias com umedecimento diário com água de torneira (0,4 dS m⁻¹), até o nível da capacidade de substrato, que foi determinada em laboratório de acordo com Brasil (2009). No 15^a dia foi feito o desbaste, deixando apenas uma planta por recipiente e em seguida submetidas as condições de estresse.

Os tratamentos de estresses salinos foram realizados utilizando o umedecimento do substrato com solução de NaCl nas concentrações de 0; -0,4 e -0,8 MPa até a capacidade do substrato; e o reumedecimento com base na variação da umidade acompanhada por pesagens realizadas diariamente, utilizando balança analítica de 0,001g e regadas quando o peso reduziu 30% (água perdida por evaporação). Para evitar o acúmulo de sais, a água de irrigação foi aplicada de acordo com o princípio de drenagem mantendo o solo na capacidade de campo e adicionando solução para lixiviação de 15% (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

No 45º dias após a semeadura (DAS) foi aplicada a solução nutritiva de meia força preparadas de acordo com Hoagland e Arnon (1950), sendo distribuída em cada recipiente o volume equivalente a capacidade de retenção do substrato. Aos 52 DAS, as plantas foram avaliadas por meio das seguintes variáveis:

- a) **Altura** – Comprimento da incisão da planta no solo até o ponto mais alto da planta, determinado com uma régua milimetrada, com resultados em (cm/planta);
- b) **comprimento da raiz** – Medição realizada com auxílio de uma régua graduada em milímetro para a mensuração média do comprimento das raízes (cm/planta);
- c) **área foliar** - Após a retiradas de todas as folhas das plantas, foi mensurada a área foliar com o auxílio do medidor de área foliar “LI 3100 Area Meter” (Licor., In. Lincoln, Nebraska, USA), com resultado expresso em m².
- d) **massa seca do caule, das folhas e do sistema radicular** - A planta foi dividida em três porções (caule, folha e raízes, e em seguida colocados separadamente em sacos de papel, para secagem do material em estufa, por 24 horas a 80 °C e pesadas para determinar a massa seca. Foi utilizado balança de analítica de 0,001g (g/planta);
- e) **trocas gasosas** – As medições foram realizadas entre 8:30 e 11 horas da manhã, na segunda ou terceira folha completamente expandidas, com a utilização do analisador portátil infravermelho de CO₂ IRGA, modelo LI-6400XT (LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA), com densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo de 1.200 $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentração de CO₂ no interior da câmara de 400 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$. Foram mensuradas a taxa fotossintética líquida de CO₂ ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), relação interna e externa de CO₂ (C_i/C_a , mmol mol^{-1}), condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e taxa transpiratória ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

f) teores de clorofila e carotenóides – A determinação de pigmentos fotossintéticos por DMSO (Dimetilsulfóxido), em que foi utilizado quatro discos foliares de aproximadamente 0,050 g, retiradas da segunda folha completamente expandidas, e posto em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio e adicionado 2,0 mL da solução de extração (CaCO₃ saturado com DMSO). Foi mantido os tubos sob escuro por 24 h e incubado em banho-maria a 65°C por 30 min. Em seguida foi realizado as leituras em espectrofotômetro à 665, 649 e 480nm, utilizado para calibração o “branco”, referente a uma cubeta contendo 1,0 mL da solução de extração. As concentrações de clorofilas (clf) a e b, e carotenóides foram expressas em mg g⁻¹ empregando as fórmulas descritas por Arnon (1949):

- **Clorofila** – mg L⁻¹ ou µg mL⁻¹

$$\text{Clfa} = 12,47A_{665} - 3,62A_{649} \quad (5)$$

$$\text{Clfb} = 25,06A_{649} - 6,50A_{665} \quad (6)$$

$$\text{Clftotal (a+b)} = 7,15A_{665} + 18,71A_{649} \quad (7)$$

- **Carotenóides** = mg L⁻¹ ou µg mL⁻¹

$$\text{Carotenóides} = (1000A_{480} - 1,29 \text{ Clfa} - 53,78 \text{ Clfb})/220 \quad (8)$$

O efeito do tratamento das sementes de quinoa com GA₃ foi analisado sobre as condições de estresse salino, com tratamentos formados pelo arranjo fatorial 4 (concentração de GA₃ aplicadas no tratamento das sementes) × 3 (níveis de estresse salino). Os tratamentos foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado, sendo cada tratamento subdividido em 4 repetições, com unidade experimental composta por 4 plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando os programas estatísticos Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2015) e para elaboração dos gráficos o programa foi o Sigmaplot (SISSTAT SOFTWARE, 2008).

4.4 Experimento 4: Efeito fisiológico do tratamento de sementes com ácido giberélico sob crescimento inicial, trocas gasosas, teores de clorofila e carotenóides da quinoa em condições de estresse hídrico.

O experimento foi conduzido na casa de vegetação, com telado de 50% de sombreamento, anexa ao Laboratório de Sementes, do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará. As sementes de quinoa da cultivar BRS Piabiru foram tratadas com GA₃, nas concentrações de 0; 0,005; 0,010 e 0,015 mg L⁻¹, por meio da

embebição nos respectivos tratamentos por 12 h, e posteriormente, secas por 12 h sobre papel toalha em ambiente com temperatura de 25 °C.

A semeadura foi realizada em recipientes plásticos com capacidade para 0,5 L, utilizando como substrato a mistura de arisco e húmus de minhoca, na proporção de 2:1 (ANEXO A – Análise solo). Sendo distribuídos 12 sementes/recipiente, mantidas durante 15 dias com irrigação diária com água de torneira (0,4 dS m⁻¹), até o nível da capacidade de substrato, que foi determinada em laboratório de acordo com Brasil (2009). No 15º dia foi feito o desbaste, deixando apenas uma planta por recipiente e em seguida submetidas as condições de estresse.

As plantas submetidas às condições de déficit hídrico foram monitoradas diariamente por meio de pesagem em balança analítica de 0,001g, para a manutenção da umidade do substrato, irrigados com água de torneira, respetivamente a 10; 50; e 100% da capacidade de retenção do substrato. O reumedecimento foi baseado na variação da umidade acompanhada por pesagens realizadas diariamente, utilizando balança analítica de 0,001g e regadas quando o peso reduziu 30% (água perdida por evaporação).

No 45º dias após a semeadura (DAS) foi aplicado a solução nutritiva de meia força preparados de acordo com Hoagland e Arnon (1950), sendo distribuído em cada recipiente o volume equivalente a 10; 50; e 100% capacidade de retenção do substrato. E então, conduzidas a planta de quinoa até os 52 DAS.

Para realização das avaliações, foram utilizadas as mesmas metodologias e variáveis do terceiro experimento: altura, comprimento da raiz, área foliar, massa seca do caule, folha e raiz, trocas gasosas e teores de clorofila e carotenoides.

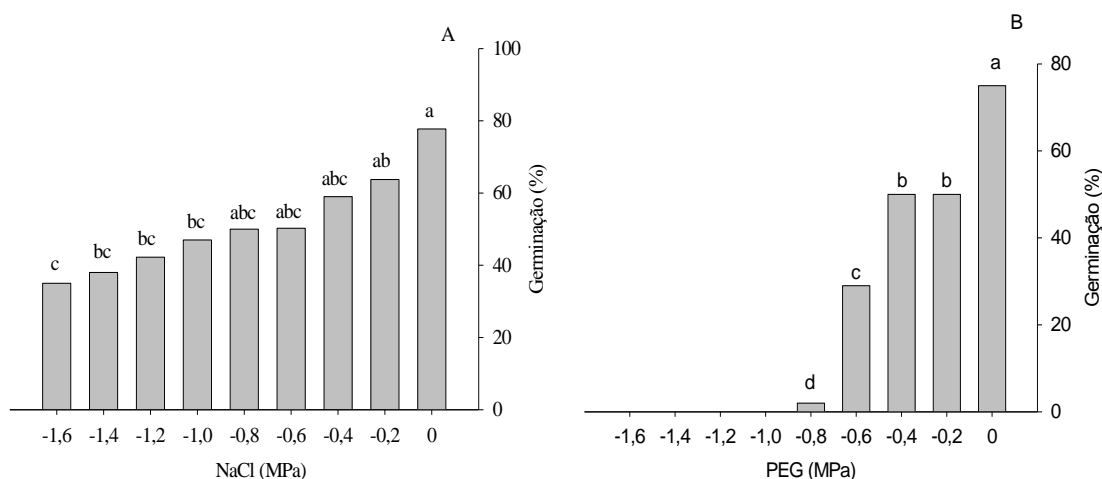
O efeito do tratamento das sementes de quinoa com GA₃ foram analisada sobre as condições de estresse hídrico, no arranjo fatorial 4 (concentração de GA₃ aplicadas no tratamento das sementes) × 3 (níveis de déficit hídrico). Os tratamentos foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado, cada tratamento subdividido em 4 repetições, com unidade experimental composta por 4 plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando os programas estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2015) e para elaboração dos gráficos o programa foi o Sigmaplot (SISSTAT SOFTWARE, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento 1: Germinação e crescimento de plântulas de quinoa sob estresse salino e hídrico.

As sementes de quinoa sob as diferentes concentrações de NaCl e PEG, apresentaram diferenças estatísticas para porcentagem de germinação (Figura 1). No substrato com NaCl, às maiores porcentagens de germinação foram observadas nos níveis de 0 a -0,8 MPa, enquanto que a maior concentração salina reduziu 50% da germinação (Figura 1A). Resultados semelhantes de Delatorre-Herrera e Pinto (2009) demonstraram que a genótipo de quinoa Hueque reduziu a germinação a partir de -0,8MPa em condições salinas.

Figura 1 - Porcentagem de germinação de sementes de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

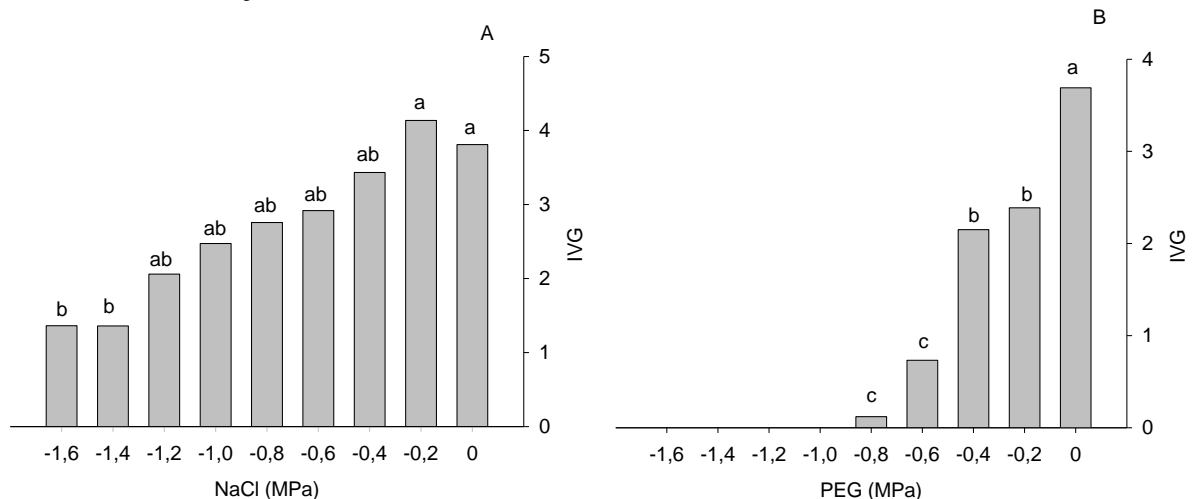
Letras iguais em cada condição de estresse, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A porcentagem de germinação difere estatisticamente entre as diferentes concentrações de PEG 6000 (Figura 1B), apresentando 75% na testemunha e redução da germinação com o aumento da concentração até -0,8 MPa, a partir da qual não houve germinação, indicando que tais concentrações reduzem a absorção de água pelas sementes, prejudicando a germinação, além da baixa disponibilidade de oxigênio para completar a atividade respiratória. Limitações estas, devido a um aumento da viscosidade e o alto peso molecular que restringe a passagem de oxigênio e água para o interior celular, influenciando na redução da respiração, expansão dessas células, além do decréscimo na germinação e na velocidade de germinação (HARDEGREE; EMMERICH, 1994).

Resultados semelhantes foram observados por Hariadi *et al.* (2011) em que o baixo potencial hídrico reduziu a germinação em quinoa, no entanto discorda deste trabalho, à medida que encontraram maior germinação para o PEG (60%) do que para o NaCl (24%) em concentração de 500 mM (-0,8 MPa). Neste estudo, verificou-se que em -0,8 MPa de PEG, a germinação reduziu para o estado crítico de 2% e na mesma concentração a germinação foi de 50% para o NaCl, demonstrando que o efeito osmótico foi o principal atuante na redução da germinação. Resultado este que concorda com Panuccio *et al.* (2014), que verificaram um maior efeito do estresse hídrico sobre o salino em quinoa, no qual a tolerância salina pode estar provavelmente relacionada a acumulação de íons no interior celular e demais adaptações de crescimento das plantas halófitas.

No índice de velocidade de germinação (IVG), as sementes submetidas ao NaCl, apresentaram um dos maiores valores em 0 MPa (3,8) até -1,2 MPa (2) aproximadamente 887 mM e a redução ocorreu gradativamente nas maiores concentrações salinas, destacando as concentrações de -1,4 e -1,6 MPa com menor velocidade de germinação de 1,3 em ambas (Figura 2A). Nos tratamentos com PEG, a testemunha apresentou maior valor de 3,9 para a velocidade de germinação e os menores valores foram encontrados em -0,2; -0,4, -0,6; -0,8 MPa (2,3; 2,1; 0,7 e 0,1 respectivamente), não havendo germinação nas demais concentrações (Figura 2B).

Figura 2 - Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

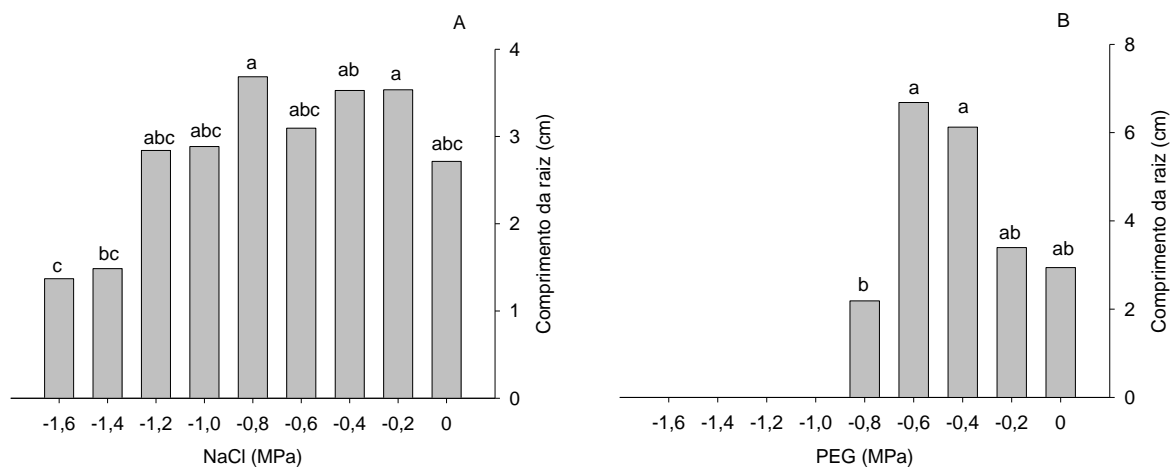
Letras iguais em cada condição de estresse, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A quinoa, pode ter sido menos influenciada pela salinidade devido sua maior tolerância e menor resistência a entrada de água nas sementes, o que já tinha sido observado

por Adolf; Jacobsen e Shabala (2013). Isso pode ter ocorrido devido a quinoa ser uma halófito e produzir maiores quantidades de açúcares totais nos embriões e nos cotilédones em condições de salinidade (PRADO *et al.*; 2000). Resultados de Oliveira e Gomes-Filho (2009) demonstraram que o *Sorghum bicolor* (L) Moench submetido a -0,8 MPa de PEG 6000, apresentou redução no IVG, o que foi explicado pela redução da disponibilidade hídrica.

Para o crescimento radicular da quinoa não apresentou diferença significativa entre o tratamento controle (0 MPa) e as demais concentrações (Figura 3A). Porém, nas concentrações de -0,2; -0,4; -0,8 MPa de NaCl, o crescimento radicular das plântulas de quinoa foram superiores ao observado na concentração de -1,6 MPa (1,37 cm). Quanto ao crescimento, no substrato umedecido com PEG 6000 (Figura 3B), nas concentrações -0,4 e -0,6 MPa o comprimento médio das radículas foram de 6,12 e 6,68 cm, respectivamente, resultados superiores ao da concentração de -0,8 MPa (2,18 cm). Em Orsini *et al.*, (2011) O aumento da concentração para 300 mM (~-0,6 MPa) NaCl reduziu a porcentagem de germinação para 60% e o comprimento da raiz de quinoa para 1,5 cm.

Figura 3 - Comprimento da raiz de plântulas de sementes de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.



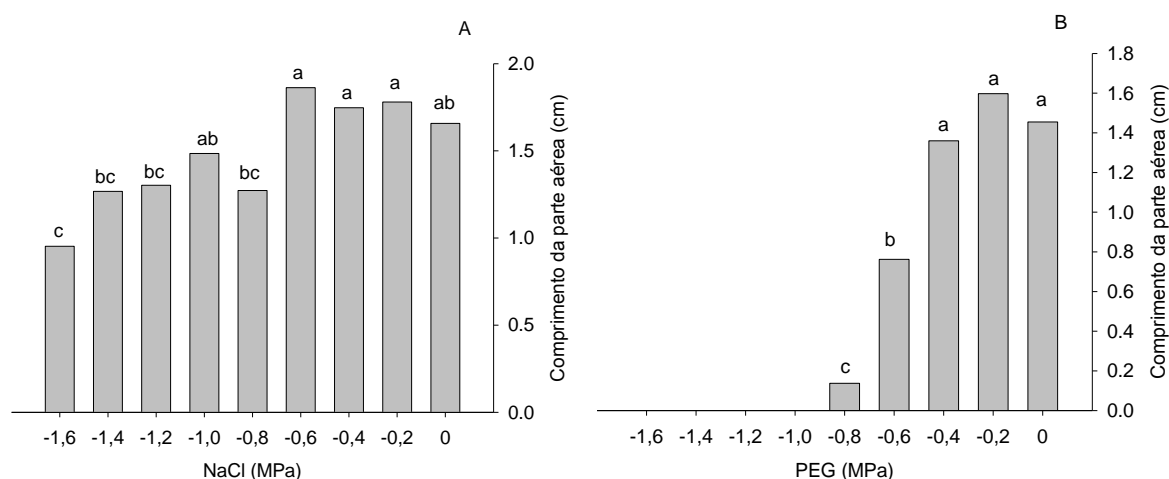
Fonte: elaborado pelo autor.

Letras iguais em cada condição de estresse, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com Taiz e Zeiger (2017), o crescimento das raízes em relação a redução da disponibilidade hídrica é uma resposta adaptativa fisiológica para aumentar a captação de água. Colaborando assim, com os resultados obtidos nesta pesquisa, no qual o aumento do potencial osmótico induz o crescimento radicular, porém, em níveis elevados causa redução devido ao efeito deletério provocado pelo estresse salino e hídrico.

O crescimento da parte aérea apresentou diferença significativa nas duas situações de estresse analisadas (Figura 4). Nos níveis de 0; -0,2, -0,4; -0,6 e -1 MPa de NaCl, foi constatado os maiores incrementos da parte aérea com respectivos 1,6; 1,78; 1,74; 1,86 e 1,5 cm de comprimento, indicando tolerância das plântulas a salinidade e o decréscimo ocorreu nos níveis de -0,8 a -1,6 MPa, com exceção de -1 MPa (Figura 4A). Nas concentrações de PEG em 0; -0,2 e -0,4 MPa, o comprimento da parte aérea foi de 1,45; 1,59 e 1,36 cm, resultados superiores em comparação ao crescimento nas concentrações de -0,6 e -0,8 MPa, no qual as plântulas apresentaram parte aérea com 0,8 e 0,1 cm, respectivamente (Figura 4B).

Figura 4 - Comprimento da parte aérea de plântulas de sementes de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

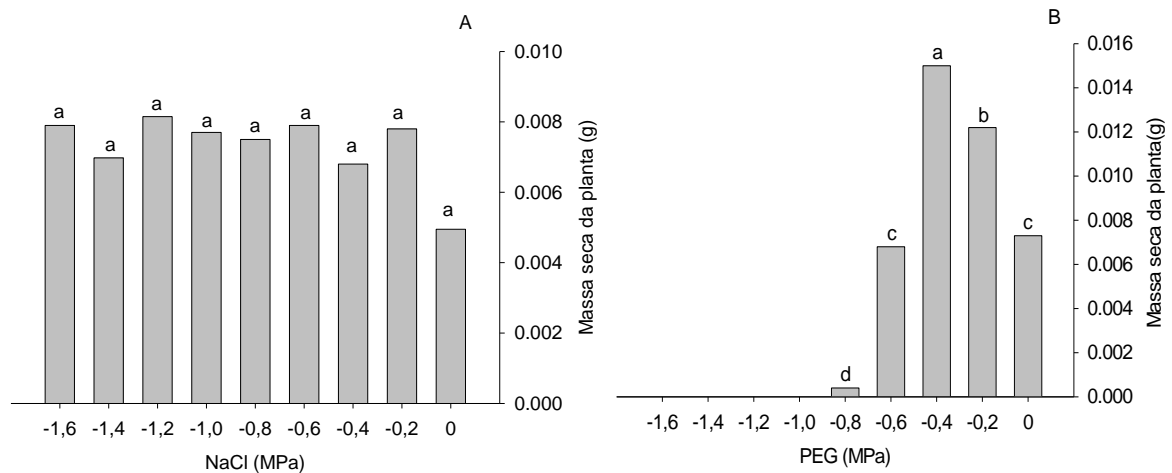
Letras iguais em cada condição de estresse, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução do comprimento da parte aérea de plântulas ocorreu de forma mais branda devido a atividade metabólica das halófitas que se ajustam as condições salinas do ambiente, essa redução da parte aérea ocorreu em detrimento da reorientação energética da planta para o crescimento da raiz, isso ocorre devido os íons se acumularem nas folhas. Estudo de Ruiz-Carrasco *et al.* (2011) com diferentes genótipos de quinoa, demonstraram que a relação de comprimento raiz/parte aérea foi afetada de forma variável entre os genótipos de quinoa na concentração de 300 mM de NaCl, com maior inibição do crescimento e redução da biomassa. Semelhantes aos resultados obtidos por Girotto *et al.* (2012) que estudaram diferentes genótipos de trigo induzidos ao estresse por PEG 6000 que na concentração de -0,8 MPa não verificaram o crescimento da parte aérea do genótipo Aliança, assim como, resultou na redução de raiz em 86%.

A massa seca das plântulas não apresentou diferença significativa com o aumento

da concentração salina no substrato (Figura 5A). Assim, como também não foi verificado por Vilas Boas *et al.* (2016) a variação do peso das plantas de quinoa com o aumento da concentração salina de 0 a 200 mM de NaCl, que ocorreu devido a ativação de antioxidantes para proteção e manutenção de crescimento e matéria seca. Nas condições de estresse hídrico foi observado a maior massa seca na concentração de -0,4 MPa (0,015g), seguida de -0,2; 0; -0,6 e -0,8 MPa, apresentando 0,01; 0,007; 0,006 e 0,0004 g, respectivamente (Figura 5B).

Figura 5 - Massa seca da plântula de quinoa submetidas a diferentes concentrações de NaCl (A) e PEG (B). Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Letras iguais em cada condição de estresse, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

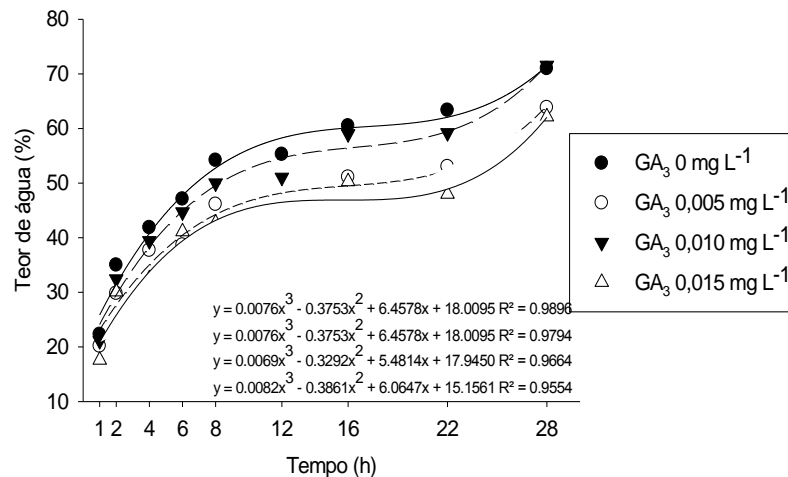
A massa seca não apresentou diferença quando avaliados em concentração salina, provavelmente pelo acúmulo de íons nas plântulas, isso compensaria a massa seca, perante a redução do crescimento nas maiores concentrações salinas. Já para o PEG, o maior conteúdo de massa seca na concentração de -0,4 MPa, pode ter ocorrido como alternativa de adaptação ao estresse hídrico. Muscolo *et al.* (2016) demonstraram que a massa seca de quinoa em solução de NaCl e PEG decresceu a partir do acréscimo na concentração, entretanto o PEG propiciou maior redução, assim também como ocorreu na redução do crescimento com maior concentração do sal.

Neste experimento as sementes submetidas ao estresse salino apresentaram melhores adaptações do que no estresse hídrico, sendo este limitante a germinação a partir de -0,8 MPa. Foi observado que a germinação, velocidade de germinação, comprimento da parte aérea apresentaram melhor adaptação nas concentrações salinas, assim como também foi reduzido o desenvolvimento da quinoa com aumento da salinidade. E o comprimento da raiz e massa seca apresentaram maior incremento no estresse hídrico.

5.2 Experimento 2: Efeitos do ácido giberélico na germinação de sementes de quinoa submetidas a estresse salino e hídrico.

A embebição das sementes de quinoa em diferentes concentrações de GA_3 , apresenta comportamento trifásico, em que na fase I ocorreu a rápida absorção de água nas 12 h iniciais, que segundo Marcos Filho (2015), se deve a diferença entre o potencial osmótico da semente e o substrato, favorecendo assim a entrada de água na sementes. Na fase II que foi das 12 às 28 h, o aumento do teor de água ocorreu em menor taxa até a fase III, em que após às 28 h, iniciou-se a protusão radicular (Figura 6).

Figura 6 - Curvas de embebição de sementes de quinoa BRS Piabiru em solução de GA_3 .



Fonte: elaborado pelo autor.

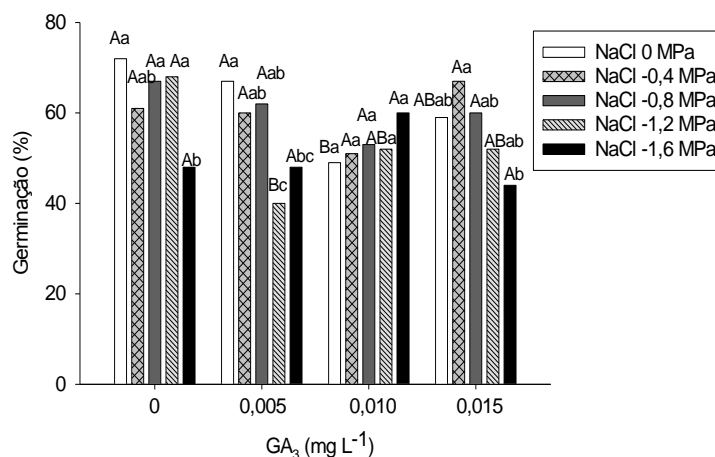
Apesar do comportamento semelhante, verificou-se que o aumento da concentração de GA_3 favoreceu a protusão da radícula com o menor teor de água. As sementes embebidas em substratos com 0 ou 0,01 mg L⁻¹ de GA_3 , a protusão radicular iniciou quando as sementes apresentaram 70% de umidade, enquanto, que as sementes embebidas na concentração de 0,015 mg L⁻¹ de GA_3 , iniciaram a fase III com 63% de umidade (Figura 6). Esse resultado pode ter ocorrido pelo efeito de GA, que reduz a resistência tegumentar, facilitando o rompimento e protusão radicular.

A reidratação em GA_3 promove a germinação pois atua na reativação do metabolismo e mobilização de reserva, sobretudo, na fase II no qual as sementes se preparam para retomar o crescimento do embrião (TAIZ; ZEIGER, 2017). Sendo, que a interrupção da

reidratação durante essa fase, pode aumentar as chances dessas sementes suportarem posteriores condições abióticas desfavoráveis.

As sementes embebidas com níveis crescentes de GA₃ apresentaram variação da porcentagem de germinação com aumento da salinidade (Figura 7). As sementes de quinoa embebidas na concentração de 0,01 mg L⁻¹ de GA₃, apresentaram menor porcentagem de germinação, quando submetidas 0 MPa de NaCl se comparado as demais embebições com GA₃ nessa mesma concentração salina (Figura 7). As sementes embebidas em água destilada (0 mg L⁻¹ de GA₃) não apresentaram diferença entre a porcentagem de germinação nos níveis de salinidade de 0 a -1,2 MPa, que foi em média 70%, sendo observado redução significativa da germinação na concentração de -1,6 MPa. Logo, ao comparar a germinação das sementes de quinoa pré-hidratada com água, pode-se notar que houve o aumento da tolerância a salinidade, já que as sementes de quinoa não hidratadas (Figura 1A) apresentaram redução da germinação, quando comparadas com o controle, a partir da concentração de -1,2 MPa de NaCl.

Figura 7 - Porcentagem de germinação de sementes de quinoa tratadas com GA₃ e submetidas a diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor

Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de NaCl, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

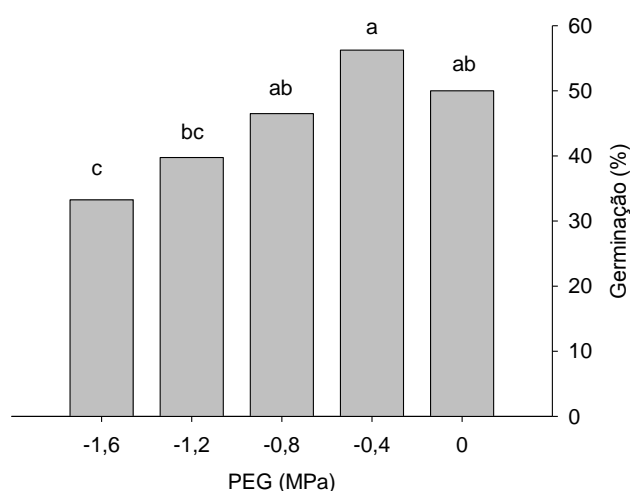
Sementes tratadas em 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ não se diferiram das sementes tratadas em hidropriming, porém foi reduzido a eficiência na germinação com a crescente concentração salina. Semelhantes efeitos foram observados por Dildey *et al.* (2016), quando utilizou um regulador de crescimento vegetal (PRO GIBB®), em que determinou uma germinação superior na testemunha e não diferiu das concentrações 0,010 e 0,015 mg L⁻¹

PRO GIBB®, além de apresentar menor germinação na aplicação de 0,005 mg L⁻¹ PRO GIBB®.

Benefícios do efeito do GA₃ foram observados para o aumento da porcentagem de germinação com o incremento do estresse salino em *Cucumis Sativus* L., tendo ocorrido devido à ativação do amido e aumento da amilase (SAHIL, 2016) e beterraba (KANDIL *et al.*, 2014). Efeitos divergentes também foram observados por Nakaune *et al.* (2012), que demonstraram que o GA₃ em sementes de tomate amenizam mais o efeito em baixa concentração salina, em comparação as sementes imersas em hydropriming induzidos pelo aumento de GA₄ e promovendo maior germinação com a menor resistência do tegumento.

Na porcentagem de germinação de sementes de quinoa submetidas ao estresse hídrico (Figura 8), não ocorreu a interação entre os níveis de PEG e as concentrações de ácido giberélico, entretanto foi significativo o efeito isolado das concentrações de PEG. A máxima germinação ocorreu nos níveis de 0; -0,4 e -0,8 MPa, seguido por um decréscimo até a menor germinação em -1,6 MPa, com 33%. A redução da porcentagem de germinação, foi determinada com redução do potencial hídrico que interferiu diretamente na absorção de água pelas sementes. Redução na germinação de girassol também foi observado quanto ao estresse induzido à -0,9 MPa de PEG (LUAN *et al.*, 2014).

Figura 8 - Porcentagem de germinação de sementes de quinoa tratadas com GA₃ e submetidas a diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor

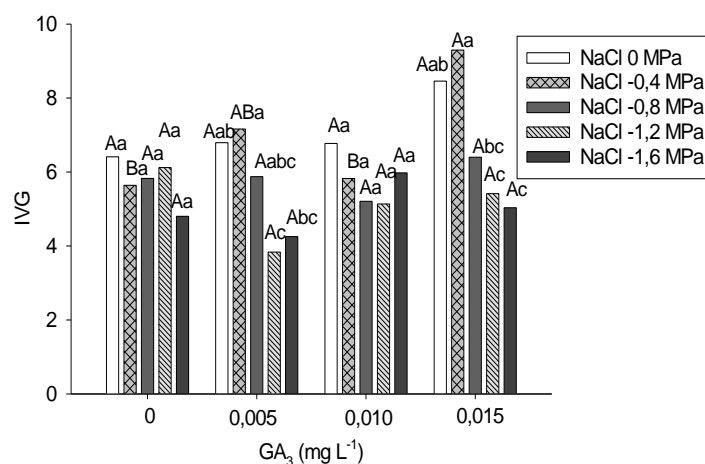
Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi também observado que não houve um aumento da germinação, mas o tratamento com hydropriming representou uma melhoria na ampliação da germinação nas

concentrações em -1,2 e -1,6 MPa de PEG quando comparado ao primeiro experimento (Figura 1B). Pode-se inferir que essa tolerância tenha sido resultante da embebição das sementes em água, o que aumentou o metabolismo inicial das sementes e contribuiu no processo germinativo e no crescimento inicial em condições de estresse hídrico. KHAN *et al.* (2017) demonstraram que o hydropriming apresenta efeitos semelhantes aos tratamentos com hormoprining e osmoprining em sementes de milho, sendo um dos tratamentos que favorecem a germinação e o crescimento do híbrido Pioneer 3025. Semelhantes resultados foram obtidos em sementes de trigo sob o mesmo tratamento (AMIN *et al.*, 2016). O hydropriming pode ter aumentado a hidratação dos tecidos embrionários aumentando a elasticidade e conteúdo interno, facilitando o processo germinativo (TARIQ *et al.*, 2017).

Nos resultados do índice de velocidade de germinação observou-se a interação significativa em relação aos níveis de GA₃ e NaCl (Figura 9). No nível 0; 0,050 e 0,010 mg L⁻¹ de GA₃ não diferiu-se estatisticamente quanto aos níveis salinos. Já na concentração de 0,015 mg L⁻¹ de GA₃, as soluções de 0 e -0,4 MPa de NaCl apresentaram superior IVG, com redução para demais níveis salinos, demonstrando que essa concentração de GA₃ foi mais eficiente para aumentar a velocidade da germinação em baixas concentrações salinas. Além de ter sido observado o melhor desempenho na velocidade para todos os tratamentos e concentrações salinas, diferindo-se do primeiro experimento (Figura 2A).

Figura 9 - Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de quinoa tratadas com GA₃ e submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor

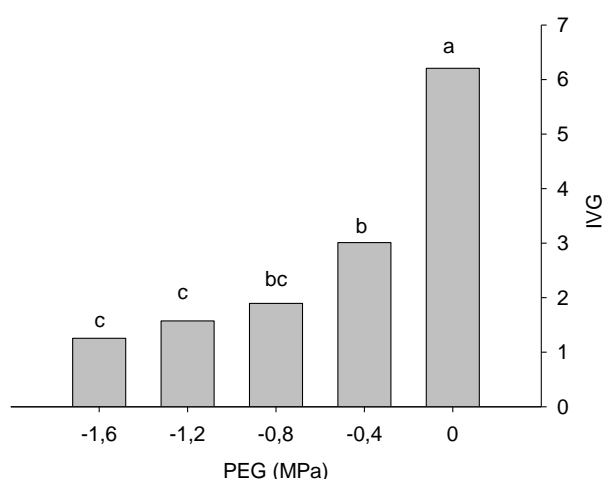
Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de NaCl, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento da velocidade de germinação se deve ao aumento da plasticidade

celular promovido pelo ácido giberélico que facilita a quebra do amido e reduz o potencial hídrico da célula, facilitando a entrada de água nas nesta e promovendo a emissão da radícula (TAIZ; ZEIGER, 2017). Atia *et al.* (2009) demonstraram que sementes tratadas com GA reduziram a germinação e IVG da planta halófito, *Crithmum maritimum*, à medida que se aumentou os níveis salinos. Estudos tem verificado que em altas concentrações salinas, ocorre uma redução da velocidade de germinação, reduzindo a biossíntese de GA₃ devido a restrição a alta salinidade, podendo inibir o ciclo vegetativo (KIM; PAR, 2008).

Nota-se que não houve interação significativa entre a relação níveis de GA₃ e PEG (Figura 10). Todavia o IVG apresentou diferença significativa isolada para os diferentes concentrações de PEG. A maior velocidade de germinação foi encontrada no nível de 0 MPa de PEG (6,2), com reduções até o mais baixo potencial osmótico -1,6 MPa (1,2), apresentando redução de 80% comparado a testemunha (0 MPa). Os resultados deste estudo entram em acordo com os obtidos por Stefanello *et al.* (2017), em que a germinação e a velocidade de germinação de chia e linhaça foram afetadas com o aumento do estresse por PEG 6000. Estes resultados estão de acordo com os obtidos na cultura do *Allium cepa* L., em que foi observado redução da velocidade de germinação a partir de 0 MPa de PEG (XAVIER *et al.* 2017).

Figura 10 - Índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de quinoa tratadas com GA₃ e submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor

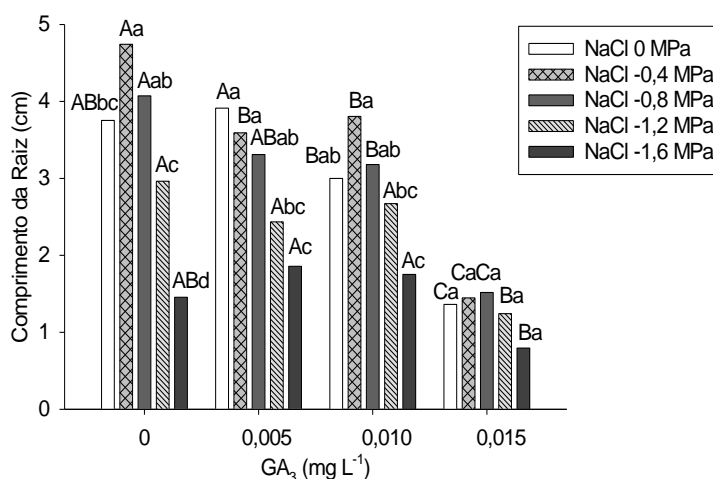
Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No tratamento com PEG, as sementes foram hidratadas lentamente, apresentando um maior tempo de embebição (Figura 1B). Porém, quando embebidas em água, “hydropriming”, aumentou a tolerância para concentrações de -1,2 e -1,6 MPa de PEG e

aumentou a velocidade de germinação em todas as concentrações em comparação ao primeiro experimento.

O crescimento da raiz considerado como um mecanismo de tolerância nas plantas de quinoa em condições de estresse salino e hídrico, mostrou-se influenciado pelo tratamento com GA₃, através da interação significativa entre este e NaCl (Figura 11). As sementes que não foram tratadas com GA₃ apresentaram maior comprimento radicular na concentração de -0,4 e -0,8 MPa, com respectivos 4,7 e 4 cm. Neste experimento e na mesma concentração de -0,4 MPa ocorreu o efeito mais significativo para o comprimento da raiz em comparação ao primeiro experimento (Figura 3A), apresentando um acréscimo de 1,2 cm. Já na adição de 0,005 e 0,010 mg L⁻¹ de GA₃ houve redução dos comprimentos radiculares com o aumento da salinidade e não houve diferença entre 0; -0,4 e -0,8 MPa (Figura 11). Resultados (SAHIL, 2016) confirmam a redução no comprimento de plântulas de *Cucumis Sativus* L. em crescentes níveis salinos a medida que o ácido giberélico contribuiu para tolerância nos menores níveis de salinidade.

Figura 11 - Comprimento da raiz de quinoa tratadas com GA₃ e submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

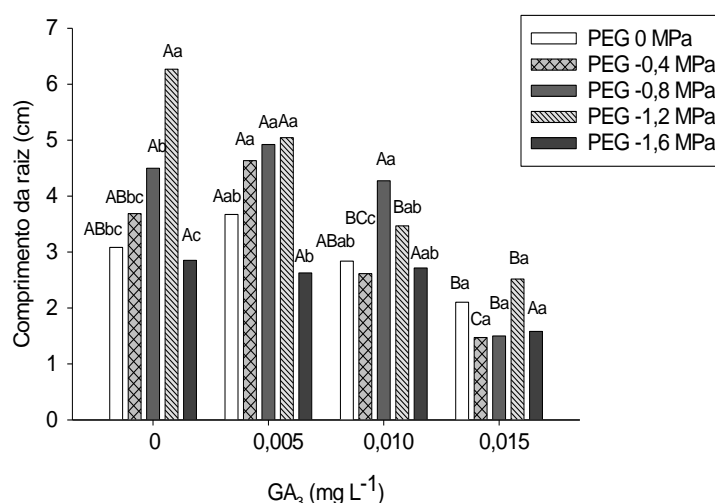
Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de NaCl, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No nível máximo de GA₃ não ocorreu diferença entre comprimento das raízes nas concentrações de NaCl, no entanto apresentaram crescimento reduzido em relação aos demais níveis de GA₃ (Figura 11). Diferindo dos resultados, Dildey *et al.* (2016) que não observaram diferença entre as concentrações de ácido giberélico para o comprimento radicular. Jamil e Rha (2007) apresentaram resultados semelhantes em que o aumento da concentração salina

promoveu a redução radicular, sendo que 100 mg L^{-1} de GA_3 induziu um maior crescimento da raiz à 0 e $4,7 \text{ dS m}^{-1}$. Os mesmos relatam a importância das variáveis de crescimento para obtenção de respostas da planta no meio ambiente.

Na concentração de 0 mg L^{-1} de GA_3 , o maior crescimento radicular foi verificado à $-1,2 \text{ MPa}$ de PEG, com $6,2 \text{ cm}$, seguida por uma intensa redução do comprimento em $-1,6 \text{ MPa}$ (Figura 12). No nível de $0,005 \text{ mg L}^{-1}$ de GA_3 , as maiores médias de comprimento ocorreram em $-0,4$; $-0,8$ e $-1,2 \text{ MPa}$, com respectivos $4,6$; $4,9$ e 5 cm de raiz, no entanto não diferiram de 0 MPa de PEG. Contudo, a máxima concentração aplicada de GA_3 nas sementes não foi eficiente para diferir no comprimento, sob diferentes níveis de PEG (Figura 12).

Figura 12 - Comprimento da raiz de quinoa tratadas com GA_3 e submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.



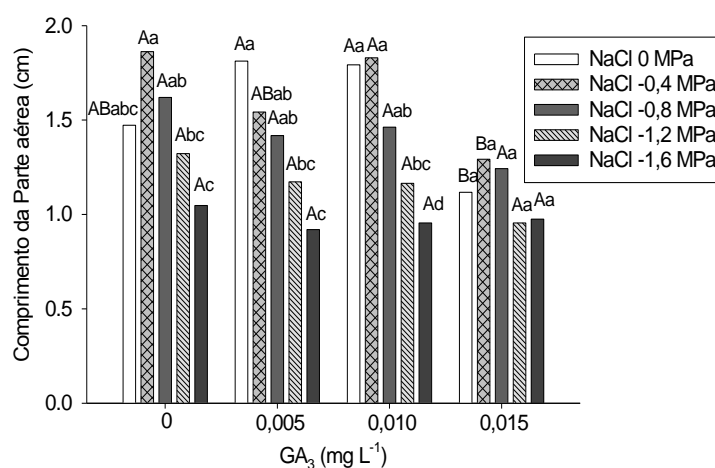
Fonte: elaborado pelo autor.

Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA_3 e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de PEG, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As respostas de redução no comprimento da raiz em condições salinas (Figura 11), se diferenciam do estresse hídrico a medida que aumenta o comprimento da raiz em maior estresse (Figura 12). O mesmo comportamento pode ser verificado no primeiro experimento (Figura 3). Além de demonstrar que a adição do ácido giberélico contribuiu para aumentar a raiz tanto no estresse hídrico como no salino em relação ao primeiro experimento como forma de tolerância ao ambiente. De acordo com Taiz e Zeiger (2017), o crescimento das raízes em condições hídrica é uma resposta adaptativa fisiológica para aumentar a captação de água.

Nota-se que a interação entre GA₃ e NaCl apresenta redução no comprimento da parte aérea com o aumento da concentração salina e semelhantes efeitos foram observados no comprimento quando aplicado as concentrações de 0 até 0,010 mg L⁻¹ de GA₃. Verificou-se que na ausência de GA₃ a solução de -0,4 MPa apresentou crescimento de 1,8, além de que as sementes submetidas ao nível de 0,005 mg L⁻¹ de GA₃ e ausentes de salinidade, apresentaram crescimento médio de 1,7 cm. No entanto, o crescimento foi afetado quando as sementes foram tratadas na maior concentração de GA₃ no nível de 0 e -0,4 MPa (Figura 13).

Figura 13 - Comprimento da parte aérea de quinoa tratadas com GA₃ submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor

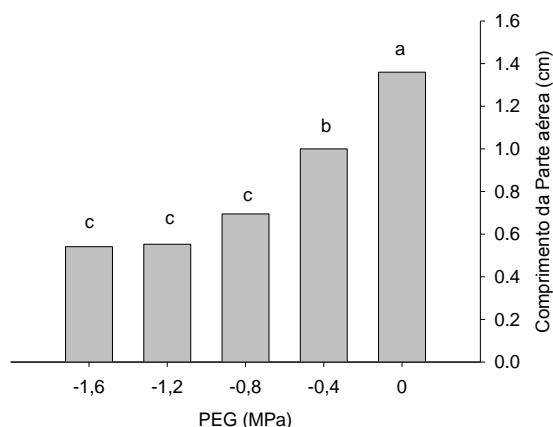
Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de NaCl, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dilley *et al.* (2016), verificaram que o maior comprimento da parte aérea ocorreu na aplicação de 0,010 mg L⁻¹ PRO GIBB® com 2,10 cm, o que se assemelha aos resultados com o aumento do comprimento na parte aérea quando submetidas à 0; -0,4 e -0,8 MPa. Em acordo com os resultados, a aplicação de GA₃ de forma exógena em sementes de quinoa estimulou o crescimento da parte aérea (MITROVIĆ; BOGDANOVIĆ, 2009). Semelhante resultado foi obtido por Ghodrat e Roustá (2012) em sementes de milho, quando demonstraram que o aumento de GA₃ juntamente com o aumento do estresse salino promoveu a redução do comprimento da parte aérea, mas também obtiveram resultados que algumas concentrações de GA₃ promoveram crescimento da raiz e massa seca. Resultado de Jamil e Rha (2007) apresentaram máximo incremento da parte aérea quando utilizados 100 e 150 mg L⁻¹ de GA₃.

As respostas de comprimento da parte aérea obtidas quando as sementes foram embebidas em GA₃ e em água destilada, não se diferiram do primeiro experimento, em que as sementes não foram tratadas (Figura 4A). Uma das causas é a necessidade de conversão de reservas de crescimento pra o aumento da raiz em detrimento da parte aérea para melhor absorver a solução básica para desenvolvimento e o posterior do crescimento aéreo.

Para o comprimento da parte aérea, não houve interação entre as concentrações de PEG e GA₃, todavia a redução no comprimento foi induzida pelo aumento da concentração osmótica. Verificou-se o maior comprimento a 0 MPa (1,3 cm) e os menores em -1,2 e -1,6 MPa apresentando 0,5 cm (Figura 14).

Figura 14 - Comprimento da parte aérea de quinoa tratadas com GA₃ submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

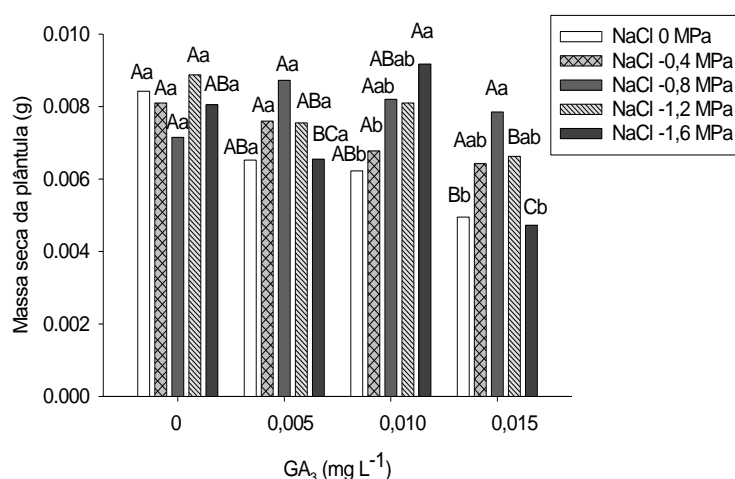
A redução do comprimento foi causado pela restrição que a viscosidade do PEG promoveu no entorno dos tecidos radiculares e parte aérea. No entanto, pode-se inferir que o pré-condicionamento em água pode ter contribuído para o crescimento da parte aérea para o alcance de elevadas concentrações de PEG 6000. Para sementes sem tratamento prévio, como foi visto no primeiro experimento (Figura 4B), apresentaram a parte aérea na concentração de -0,8 MPa de PEG foi de 0,2 cm, já nas pré-condicionadas em água foi de 0,7 cm. Corroborando com esses resultados Khan *et al.* (2017) observaram que o hydropriming proporcionou aumentos em comprimento de raiz e parte aérea em sementes de milho.

As sementes controle sem embebição (Figura 4B) e as embebidas em água (Figura 14) não diferiram no crescimento da parte aérea, porém esses controles tiveram maior crescimento em relação ao comprimento em de plântulas em estresse. Esses resultados entram em acordo com Saglam *et al.* (2010), trabalhando com estresse hídrico em lentilha,

observaram que não teve diferença entre o priming e o controle, apresentando respectivos 7,10 e 10,9 cm, mas foram maiores que condições de estresse de -0,3 e -0,6 MPa de PEG.

A análise dos resultados de massa seca das plântulas, demonstraram variação na interação entre o GA₃ e NaCl (Figura 15). Benefícios ocorreram quando as sementes foram tratadas com 0,010 mg L⁻¹ de GA₃, na maior concentração salina apresentando 0,0092 g. Já para os níveis de 0,005 e 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ foram observados efeitos semelhantes, para o incremento progressivo em 0; -0,4 e -0,8 MPa e redução em -1,2 e -1,6 MPa de NaCl de massa seca (Figura 15). Ao comparar os resultados de massas seca (Figura 15) ao primeiro experimento (Figura 5A), pode-se verificar que o tratamento com pré-condicionamento não promoveu incrementos significativos para matéria seca em condições salinas.

Figura 15 - Massa seca da planta de quinoa tratadas com GA₃ submetidas em diferentes concentrações de NaCl. Fortaleza/CE, 2017.



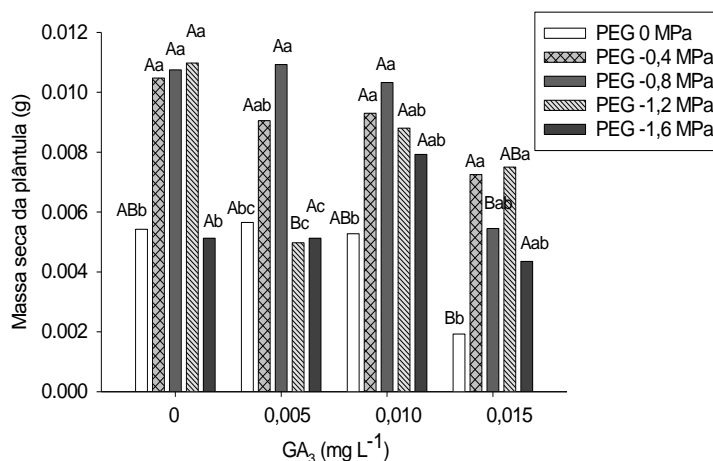
Fonte: elaborado pelo autor.

Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de NaCl, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de massa seca pode ter sido influenciado pelo armazenamento de conteúdo de Na⁺ e K⁺ no interior vacuolar, ou ainda devido a maior quantidade de carboidratos induzido pela aplicação de GA₃. Gómez-Pando e Álvarez-Castro (2010) estudaram 15 acessos de quinoa em condições de estresse salino e observaram variação da massa seca das plântulas, demonstrando que o maior conteúdo de massa seca está relacionada a uma maior tolerância da quinoa, que varia com os acessos e com a concentração salina. Resultados de Prado *et al.* (2000), verificaram que a redução de massa seca em quinoa também apresenta relação com a redução dos níveis de sacarose no interior dos vacúolos e assim a redução da atividade metabólica.

Para massa seca da plântula foi observado em 0 mg L⁻¹ de GA₃, ocorreu um incremento nas concentrações em -0,4 à -1,2 MPa de PEG (Figura 16). Já para concentração de 0,005 mg L⁻¹ de GA₃ o maior incremento ocorreu em -0,4 e -0,8 MPa. Em 0,010 mg L⁻¹ de GA₃ a tolerância foi ampliada com o aumento de massa seca de -0,4 à -1,6 MPa (Figura 16).

Figura 16 - Massa seca da planta de quinoa tratadas com GA₃ submetidas em diferentes concentrações de PEG. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de NaCl, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados corroboram com os obtidos por Simon *et al.* (2017) que verificaram redução de massa seca de raiz e parte aérea de chia à medida que aumentou o estresse hídrico. Redução de matéria seca também foi observado por Olsen *et al.* (2016) devido o menor uso de reservas em plântulas de arroz tratadas com estimulantes para tolerância ao estresse, assim com redução da velocidade de germinação e maior comprimento da raiz em relação a parte aérea.

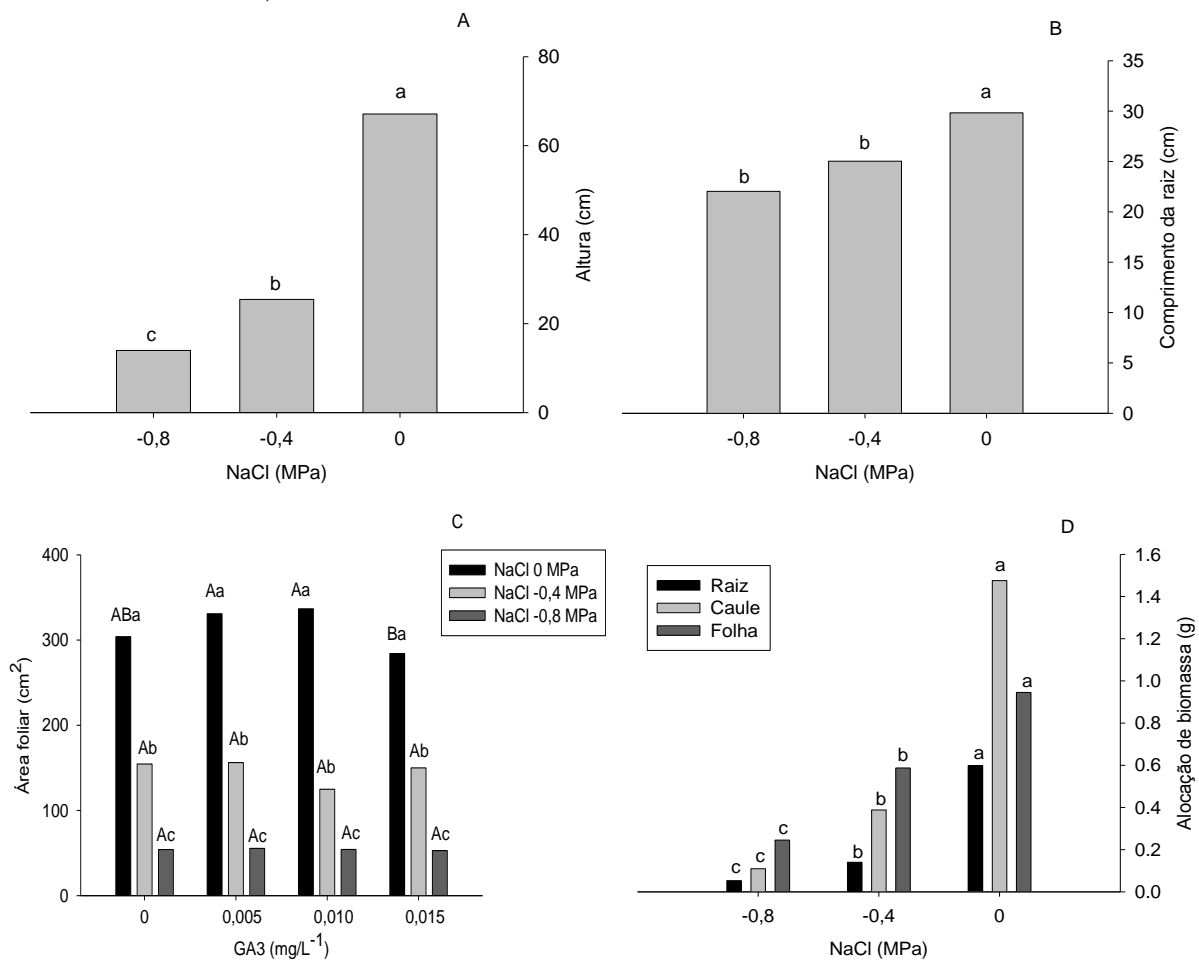
Neste experimento foi observado resultados mais favoráveis para germinação e velocidade de germinação em condições salinas. Comprimento da raiz em estresse hídrico foi maior comparado ao salino, no entanto o inverso foi demonstrado em relação ao comprimento da parte aérea. Os maiores volumes de massa seca foram encontrados em estresse hídrico. Dessa forma, o efeito da embebição em água e em ácido giberélico de 0,005 e 0,010 mg L⁻¹ foram mais significativos nas menores concentrações salinas para o crescimento e desenvolvimento inicial da quinoa. No entanto, a aplicação de giberelina influenciou somente no comprimento da radícula e incremento de massa seca em estresse hídrico, verificando que 0,005 e 0,010 mg L⁻¹ de GA₃ também apresentaram melhores efeitos que a máxima concentração de ácido giberélico.

5.3 Experimento 3: Efeito fisiológico do tratamento de sementes com ácido giberélico sob crescimento inicial, trocas gasosas e teores de clorofila e carotenoides da quinoa em condições de estresse salino em casa de vegetação.

5.3.1 Análises de crescimento

Analisados os resultados de crescimento não foi observado respostas à aplicação de GA₃ na altura das plantas de quinoa em tratamentos salinos. Além disso, as plantas foram maiores na ausência de NaCl apresentando 67,12 cm (Figura 17A). Por outro lado, com o aumento de níveis salinos ocorreu uma intensa redução na altura das plantas em -0,4 e -0,8 MPa de NaCl (25,44 e 13,96 cm).

Figura 17 - Altura (A), comprimento radicular (B), área foliar (C) e alocação de biomassa (D) em plantas de quinoa em função do tratamento de sementes com GA₃ e submetidas ao estresse salino. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Figuras: A, B e D.

Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre as diferentes níveis de NaCl, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Figura C

Em relação ao comprimento da raiz, houve maior crescimento na ausência de NaCl com 29 cm e o aumento da concentração salina de -0,4 e -0,8 MPa inibiu o comprimento radicular em 25 e 22 cm respectivamente (Figura 17B). Essa inibição do crescimento radicular ocorreu para a adaptação ao crescente estresse salino, em que neste estresse de -0,8 MPa promoveu o incremento do comprimento da raiz em detrimento da parte aérea (Figura A e B). Demonstrando que o crescimento radicular contribuiu como alternativa para captação de água e com isso melhorou a adaptação as condições desfavoráveis de salinidade.

Resultados obtidos por Eisa *et al.* (2012) corroboram em relação a inibição do crescimento das plantas de quinoa conforme o aumento da salinidade observado também em cultivos hidropônicos. Assim também Orsini *et al.* (2011) verificaram redução no comprimento radicular à medida que se reduziu o potencial osmótico do meio. Isso deve-se a tolerância ao sal que é conferida por um equilíbrio entre o ajuste osmótico e acumulação de íons, conferindo a diferença na compartimentação iônica entre raiz e parte aérea (PANUCCIO *et al.* 2014).

Houve interação entre as concentrações de GA₃ e NaCl no parâmetro área foliar, sendo observado que o aumento da salinidade afetou significativamente a redução da área foliar e que a embebição do ácido giberélico nas concentrações de 0; 0,005 e 0,010 mg L⁻¹ no nível de 0 MPa apresentaram maiores valores médios de área foliar. No entanto, o aumento da concentração de GA₃ não contribuiu para o incremento de área foliar nos tratamentos salinos (Figura 17 C).

Não foi observado interação entre GA₃ e NaCl (Figura 17D), no entanto notou-se que a alocação de biomassa entre as diferentes partes da planta foi reduzida com o acréscimo de solução salina no substrato. Também foi verificado que a ausência de sal, contribuiu para maior alocação de massa no caule, assim como a maior área foliar foi convertido para maior volume de biomassa. Pode-se inferir que esse acúmulo de biomassa foi convertido para aumentar altura da planta, e, em seguida, para a distribuição nas folhas.

Houve concordância com os resultados encontrados por Hariadi *et al.* (2011); Panuccio *et al.* (2014), nos quais a redução da biomassa foi agravado com aumento da concentração salina, porém Orsini *et al.* (2011), contrastaram que não houve diferença significativa de biomassa ao utilizar intervalos de tratamento de 0 a 750 mM de NaCl (-1 MPa), além de ter sido verificado redução de 50% na altura das plantas de quinoa BO78, quando comparado a testemunha.

Hariadi *et al.* (2011), em estudos com quinoa da cv.5206, também observaram decréscimo de 50% na altura da planta em altas concentrações salinas de 500 mM (-0,8 MPa) e um ótimo crescimento nas concentrações de 100 e 200 mM. Em acordo com os resultados já expostos, a quinoa cv. Titicaca, induzida a 400 mM (-0,6 MPa) apresentou atenuação no crescimento (PANUCCIO *et al.*, 2014; SHABALA *et al.*, 2012). As limitações no crescimento das plantas podem ser correspondentes à baixa atividade fotossintética (EISA *et al.*, 2010).

A avaliação de área foliar é importante na captação de luz para o processo fotossintético e responsável pela produtividade e acúmulo de biomassa, assim respostas sobre o uso de hormônios indutores de crescimento em irrigação com águas salinas são pertinentes para o processo de crescimento e desenvolvimento da planta (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Estudos realizados com sementes de *Triticum aestivum* L. e *Zea mays* submetidos a concentrações salinas e com aplicação de GA₃, apresentaram redução na área foliar com o aumento do estresse salino, no entanto os tratamentos amenizaram o efeito da salinidade (SHADDAD; ABD EL-SAMAD; MOSTAFA, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2016). A redução da área foliar das plantas de quinoa, demonstraram um efeito salino e hídrico, em que a quantidade das oxalato de cálcio presentes nas folhas tendem a aumentar para expulsar maior quantidade de sal em detrimento do baixo conteúdo de água no solo reduzindo a expansão celular. O decréscimo da área foliar, possivelmente, está relacionado com um dos mecanismos de adaptação ao estresse salino, diminuindo a superfície transpirante (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Segundo Hariadi *et al.* (2011), o mecanismo de acúmulo de sal nos vacúolos promovido pela quinoa, contribuiu para o ajuste osmótico da planta no meio ambiente, apresentando nas folhas antigas 95% do turgor celular e nas folhas jovens, aproximadamente 100% do turgor que está relacionado a cumulação dos íons Na⁺ e K⁺. Esse ajuste também resultou no decréscimo da planta, a área foliar e conseqüentemente a biomassa.

Hirich *et al.* (2014), avaliando concentrações salinas através da condutividade elétrica, observaram redução em altura, biomassa e comprimento da raiz em plantas de quinoa a 16 dS m⁻¹ (-0,4 MPa) e a 24 dS m⁻¹ (-0,8 MPa), demonstrando a limitação no crescimento. A redução do potencial osmótico também provocou efeitos na redução de altura, número de folhas biomassa (SHABALA *et al.*, 2012).

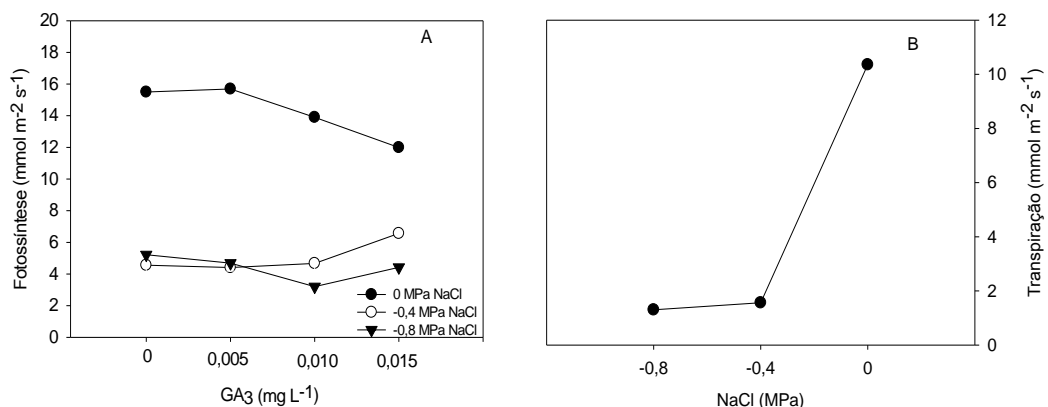
Segundo Benincasa (2003), o crescimento e desenvolvimento das plantas manifesta características conforme as condições ambientais, relacionadas ao balanço fotossintético e pelo processo de assimilação da solução do solo. Dessa forma, variações

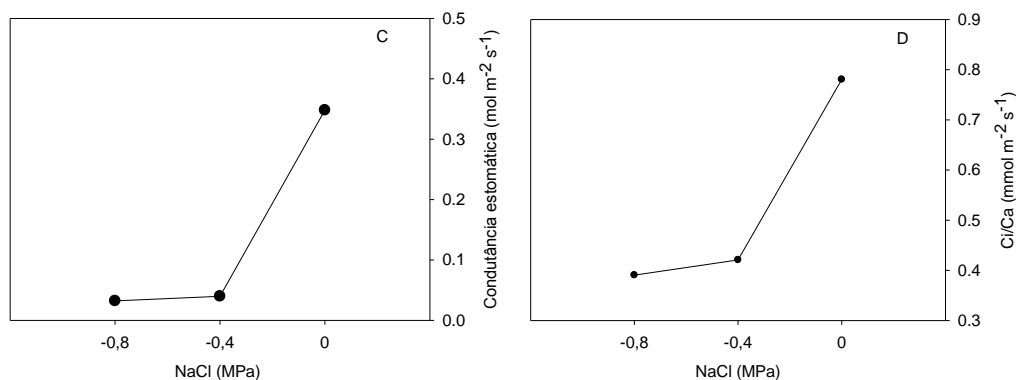
morfológica e fisiológicas são observadas nas plantas em condições de estresse hídrico, com fechamento parcial dos estômatos, para amenizar a transpiração e com isso é reduzido as trocas de CO₂, apresentando conseqüente redução da fotossíntese. A redução da atividade metabólica da planta afeta a produção enzimática e alterações nos osmólitos que são realizada na tentativa de controlar a turgescência celular e tolerância ao ambiente (BITTENCOURT; SILVA, 2018).

5.3.2 Trocas gasosas

Analisando o resultado significativo da interação entre o ácido giberélico e cloreto de sódio para variável fotossíntese, verificou-se que o aumento da concentração de GA₃ promoveu a redução da fotossíntese no tratamento controle de 15,4 para 11,9 mol m⁻² s⁻¹. Por outro lado, as plantas sob condições salinas foram afetadas em comparação com o controle, observando que o aumento dos níveis de GA₃ para a concentração de -0,4 MPa de NaCl, teve um aumento de 4,5 para 6,5 mol m⁻² s⁻¹, já a concentração de -0,8 MPa, apresentou uma pequena redução de 5,2 para 4,4 mol m⁻² s⁻¹ na fotossíntese (Figura 18A).

Figura 18 - Fotossíntese líquida (A), transpiração (B), condutância estomática (C), relação da concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) (D), de plantas de quinoa em função do tratamento de sementes com GA₃ e submetidas ao estresse salino. Fortaleza/CE, 2017.





Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados correspondem a média de quatro plantas distintas.

Essa interação entre a giberelina e a salinidade relacionadas a área foliar e fotossíntese, demonstram-se em acordo com Khan *et al.* 2007, em que estes verificam que as giberelinas produzem enzimas que são responsáveis por estimular o efeito fotossintético, índice de área foliar, interceptação de luz. Demonstrando que a sinalização do hormônio GA₃ regulado por proteína Della que limita o crescimento e ameniza os efeitos do estresse. Além do que, a quinoa sob condições de estresse possui a tendência de aumentar a concentração de açúcares totais, que atuam na proteção das células e metabolismo através do ajuste osmótico por intermédio de mecanismos para amenizar as condições adversas do ambiente (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; PRADO *et al.* 2000).

A transpiração, a condutância estomática e a relação de Ci/Ca (concentração interna e externa de CO₂) foram reduzidas de forma semelhante quando adicionado soluções salinas, em comparação com a testemunha. Todavia o aumento entre as concentrações -0,4 e -0,8 MPa, foram representados sob um leve decréscimo das variáveis analisadas (Figura 18B, C e D). Semelhantes resultados foram observados por Orsini *et al.* (2011), que identificaram que a transpiração e a condutância estomática em plantas de quinoa sofreram redução conforme o aumento das concentrações de NaCl e de forma mais acentuada a partir de 300 mM, enquanto as taxas fotossintéticas foram reduzidas a partir de 450 mM de solução salina. O aumento da salinidade no solo, reduz a disponibilidade de água e conseqüente redução da condutância estomática que possui importante função em manter o turgor da planta (TAIZ; ZEIGER, 2017; RAZZAGHI *et al.*, 2011; COCOZZA *et al.*, 2012).

Resultados semelhantes foram encontrados por Razzaghi *et al.* (2011), em que a condutância estomática e a transpiração foram reduzidas com o aumento da concentração salina, até alcançar valores constantes. Em conformidade com as respostas obtidas por Ávila (2015), as plantas de quinoa, cultivar Piabiru, reduziram a transpiração e na condutância

estomática, quando submetidas a estresse salino, no entanto discorda à medida que verificaram uma redução linear para a concentração interna de CO₂.

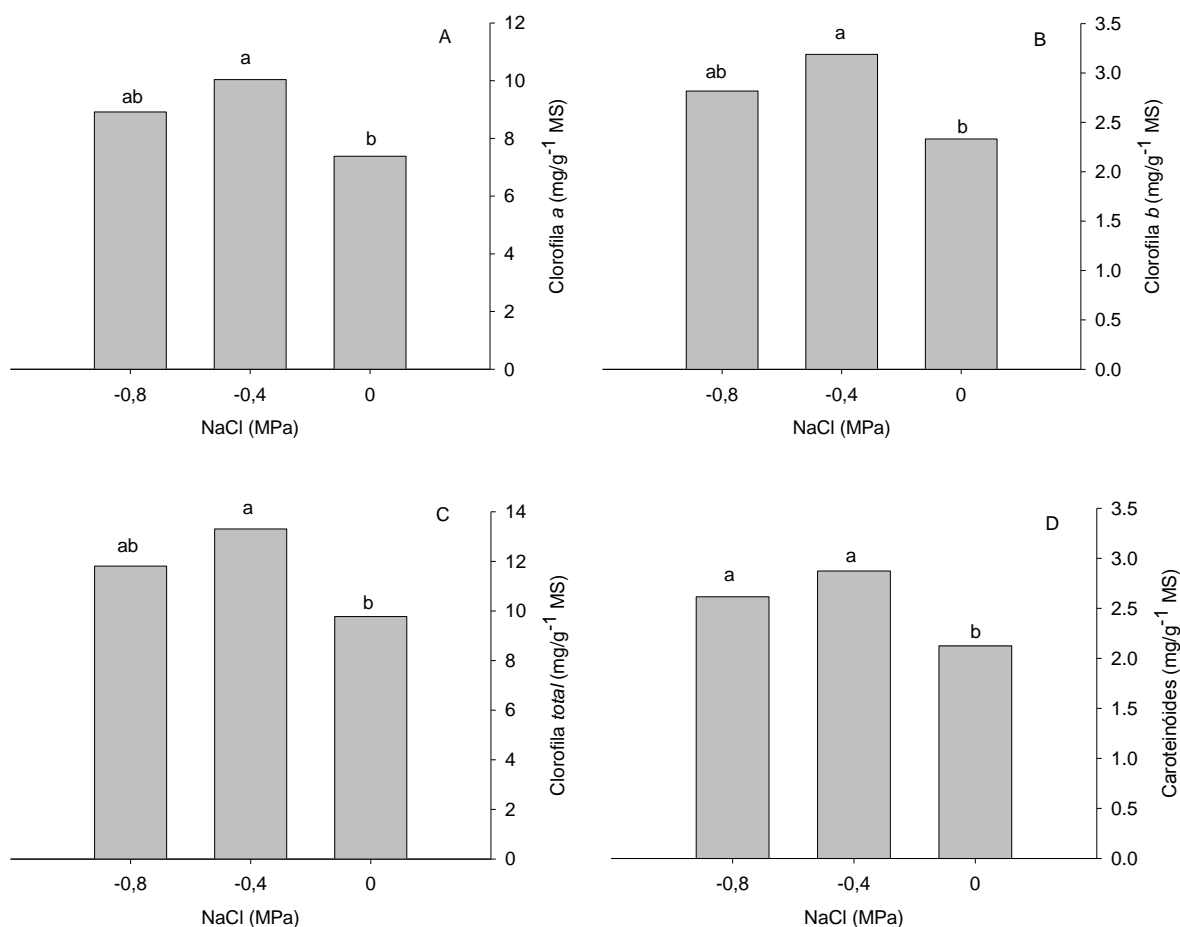
Dessa forma, estudos estão demonstrando a redução da condutância estomática e densidade estomática em ambientes salinos como forma adaptativa ao meio. Esse ajuste ocorre com acúmulo de osmólitos inorgânicos Na⁺ e Cl⁻ para manutenção do turgor celular com capacidade de compartimentação no vacúolo através de oxalato de cálcio. A absorção de solução salina, pela planta estimula o aumento da quantidade de K⁺ e Na⁺, sendo acumulado na parte aérea e contribuindo para o crescimento da planta, (SHABALA *et al.*, 2012; SAMIULLAH; QURESHI, 2011).

Resultados de Orsini *et al.* (2011) demonstraram que plantas de quinoa sob condições salinas sofreram redução na quantidade e tamanho estomático. Além disso, observaram que o aumento da quantidade de oxalato de cálcio aumentou de acordo com os níveis de NaCl nos estômatos, distinguindo-se nas folhas jovens, que apresentam o dobro de oxalato de cálcio das folhas velhas. O oxalato de cálcio na quinoa é uma característica relacionadas com efeito amenizador da temperatura e salinidade. Segundo Eisa *et al.* (2012) as plantas halófitas, como a quinoa, conseguem reduzir a concentração de íons localizados no xilema mediante o armazenamento nas folhas e excretados por glândulas de sal, impedindo ou reduzindo a acumulação de EROs no cloroplasto, contribuindo para fotossíntese.

5.3.3 Teores de clorofila e carotenoides

Os teores de clorofila e carotenoides apresentaram efeito isolado e seus maiores teores foram verificados nas concentrações de -0,4 e -0,8 MPa de NaCl (Figura 19 A, B, C e D). Em contraste com estes resultados Ruffino *et al.* (2008) observaram que plantas de quinoa em estresse salino apresentaram teores de clorofila e carotenoides inferiores à testemunha. Os autores acreditam que pode ter influência da senescência induzida pelo sal e pelo aumento de enzimas degradadoras. Porém, acredita-se neste trabalho que o mecanismo de tolerância responsável pelo aumento dos pigmentos está relacionado a concentrações de bexigas de sal e o aumento de carotenoide com a função de atividade enzimática para proteção celular.

Figura 19 - Teores foliares de clorofilas *a* (A), *b* (B), total (C) e carotenoides (D) de plantas de quinoa em função do tratamento de sementes com GA₃ e submetidas ao estresse salino. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados correspondem a média de quatro plantas distintas.

Concentrações elevadas de sal reduzem o potencial osmótico na folha, reduzindo o crescimento e acumulando células da coloração verde escuro, que indica concentração de clorofila (ALGOSAIBI *et al.*, 2015). Os carotenoides têm função de pigmentos e agentes protetores, sendo associados às proteínas que compõe a maquinária fotossintética para evitar o excesso de energia e formação de EROs (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Resultados contrários foram constatados por de Eisa *et al.* (2012) ao encontrarem aumento de área foliar e redução dos pigmentos fotossintéticos à medida que houve um leve aumento da salinidade, no entanto quando aumentou ao nível moderado de salinidade as clorofilas *a* e *b* aumentaram de forma proporcional. O menor teor de clorofila foi encontrado em plantas da quinoa cv. BRS Piabiru, expresso na concentração de 268,18 mM, com média estimada de 23,29 (ÁVILA, 2015).

Os resultados de crescimento corroboram com os resultados obtidos na análise de trocas gasosas e teores de clorofila e carotenoides, verificando que a ausência de salinidade favoreceu o desenvolvimento das plantas de quinoa. O que por outro lado, a medida que ocorreu o aumento da concentração salina reduziu o crescimento das plantas, trocas gasosas e aumentou as concentrações de clorofila e carotenoides, demonstrando uma alteração das características morfofisiológicas como forma de amenizar os danos ao estresse salino. A aplicação de $0,015 \text{ mg L}^{-1}$ de GA_3 reduziu a área foliar e a fotossíntese na testemunha e aumentou a fotossíntese na concentração de $-0,4 \text{ MPa}$.

Semelhantes conclusões foram obtidos por Miranda-Apodaca *et al.* (2018), ao estudar a cultivar *Chenopodium quinoa* Willd (cv. Real Blanca), na qual foi observado que o aumento da salinidade reduziu a área foliar, taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração. No entanto houve uma leve redução na concentração interna de CO_2 , porém não foi observado diferença estatística. Já para respostas de clorofila a, b e carotenoide foi observado maior teor na maior concentrações salina 500 mM , ocorrido devido a redução da biomassa e aumento de oxigênio reativo.

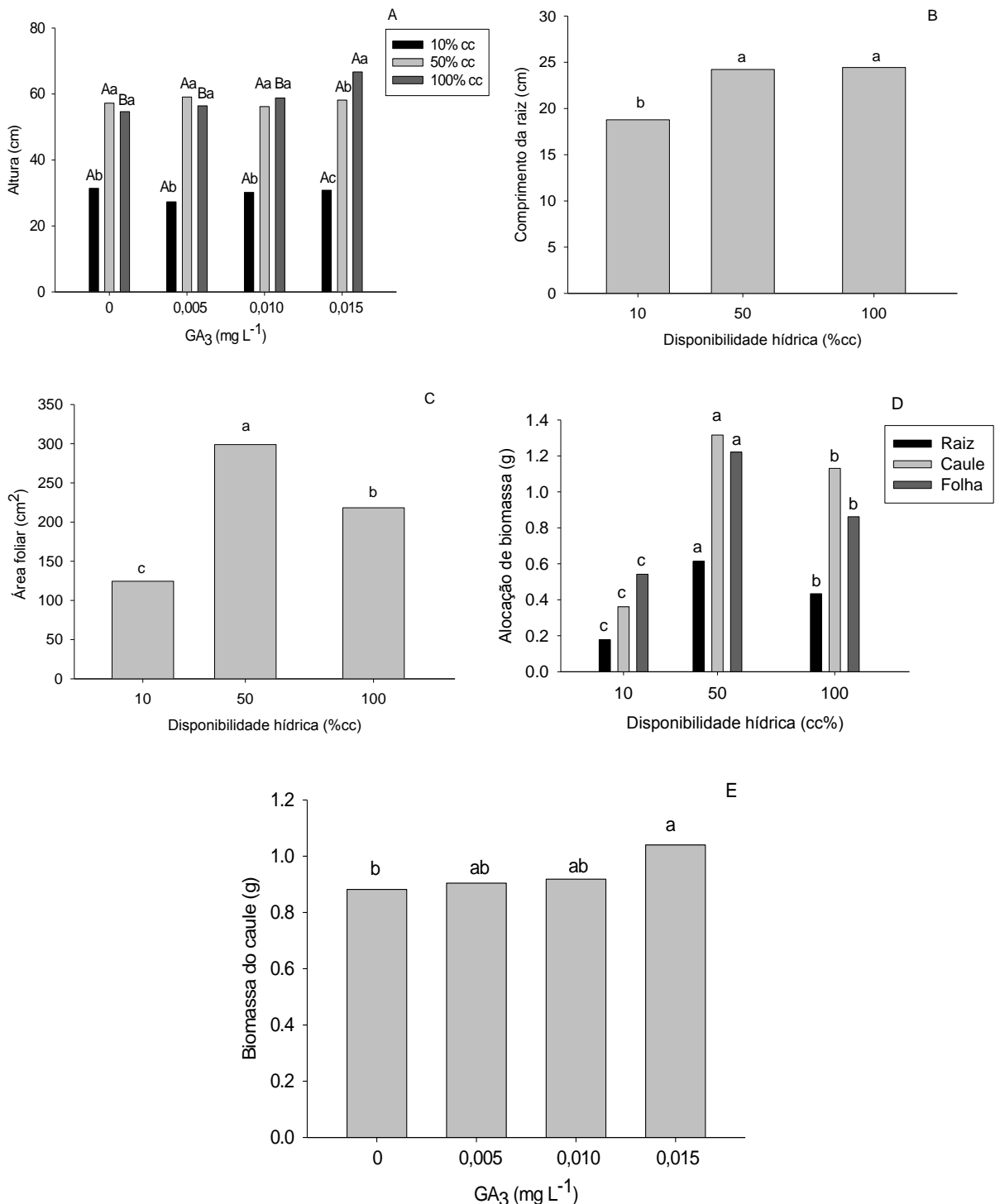
5.4 Experimento 4: Efeito fisiológico do tratamento de sementes com ácido giberélico sob crescimento inicial, trocas gasosas e teores de clorofila e carotenoides da quinoa em condições de estresse hídrico em casa de vegetação.

5.4.1 Análises de crescimento

Nas variáveis de crescimento, somente a altura das plantas apresentaram interação entre GA_3 e disponibilidade hídrica, em que o tratamento na máxima concentração de GA_3 proporcionou a maior altura em 100% da capacidade de campo e redução da mesma para as demais concentrações de GA_3 , em que não houve diferença entre eles (Figura 20 A). Também foi observado que nos níveis de 0; $0,005$ e $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ de GA_3 não houve diferença na altura quando submetidos capacidades de campo de 50 e 100%.

No comprimento da raiz não houve interação entre as concentrações de GA_3 e disponibilidade hídrica, no entanto as plantas foram afetadas quando foi reduzido para 10% da capacidade de campo, apresentando 18 cm , sendo que em 50% e 100% da capacidade de campo não houve diferença, com 24 cm de comprimento da raiz (Figura 20 B).

Figura 20 - Altura (A), comprimento da raiz (B), área foliar (C), alocação de biomassa (D) e biomassa do caule (E) em plantas de quinoa em função do tratamento com GA₃ e submetidas ao estresse hídrico. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Figuras: B, C, D e E.

Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de disponibilidade hídrica, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Figura A.

No comprimento da raiz não houve interação entre as concentrações de GA₃ e disponibilidade hídrica, no entanto as plantas foram afetadas quando foi reduzido para 10% da capacidade de campo, apresentando 18 cm, sendo que em 50% e 100% da capacidade de campo não houve diferença, com 24 cm de comprimento da raiz (Figura 20 B).

Na Figura 20C, a área foliar (AF) no tratamento de 50% da capacidade de campo foi superior (298 cm²) em comparação a capacidade de campo de 100% (218 cm²) e a 10% (124 cm²). Assim o grau de tolerância da quinoa vai depender do nível de estresse que se encontra e, dessa forma, desenvolve mecanismos para o ajuste ao meio (STIKIC *et al.*, 2015). Um dos mecanismos de tolerância da quinoa aos estresses hídrico é a redução da área foliar para evitar perda de água por transpiração e em consequência reduz a sua biomassa (SUN *et al.*, 2014).

Na alocação de biomassa (Figura 20D), não houve interação entre o GA₃ e a disponibilidade hídrica, contudo foi significativo isoladamente, sendo que à 50% da capacidade de campo apresentou maior eficiência da utilização da água disponível para o acúmulo da massa seca para os diferentes órgãos da planta com 0,61 g de raiz, 1,31 g caule e 1,22 g folha. Assim, como Geerts *et al.* (2008), acreditam que a quinoa pode manter melhor desempenho através da redução da disponibilidade hídrica pela metade necessária no período vegetativo, quando demonstrou semelhança de resultados na capacidade total de água no solo.

Quanto ao acúmulo de biomassa no caule à 50% e 100% da capacidade de campo (Figura 20D) em detrimento das demais regiões da planta, pode-se inferir que o oxalato de cálcio presente no caule conseguiu manter o ajuste de umidade na planta principalmente nas condições iniciais de estresse a 50%. Entretanto, observa-se nas condições de estresse a 10% da capacidade de campo que, a maior quantidade de biomassa ocorreu nas folhas (Figura 20D), demonstrando que sob alto nível de estresse hídrico o mecanismo de tolerância se desenvolveu na parte aérea em detrimento da raiz e caule.

O efeito isolado na biomassa do caule foi verificado quando as sementes foram tratadas nas concentrações de 0,005; 0,010 e 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ (Figura 20E). Ao comparar os efeitos isolados das capacidades de campo para a biomassa de caule, foi observado que este acumulou maior conteúdo de biomassa em 50 e 100% do que todas os níveis isolados de giberelina (Figura 20D e E).

Nesta pesquisa, diferente de vários trabalhos relacionados ao crescimento radicular em déficit hídrico, foi verificado a redução da raiz com 10% da cc, já que o mínimo de água adicionado se encontrava disponível na superfície do substrato, o que induziu maior densidade radicular próximo da superfície do substrato em oposição ao comprimento

radicular. Gao *et al.* (2012) demonstraram que o déficit hídrico foi determinante para compactação do solo promovendo uma resistência mecânica ao crescimento radicular e um decréscimo da parte aérea.

Variáveis de crescimento avaliadas por Stikic *et al.* (2015) estão de acordo com estes resultados na redução da biomassa foliar na variedade de quinoa KVL52, no entanto difere destes resultados à medida que observaram que não houve diferença na altura (67 cm) e biomassa da raiz (1,2) em ambiente de solo na capacidade de campo (cc) para o solo seco. Estudos sobre o estresse hídrico com a variedade de quinoa Sajama, resultaram em baixo volume de massa seca, não ocorrendo diferença na clorofila e aérea foliar (GONZÁLEZ *et al.*, 2009). Pesquisas de Waltersa *et al.* (2016) também apresentaram redução de crescimento e biomassa da quinoa sob seca. Corroborando com o observado neste trabalho, Riccardi *et al.* (2014) observaram que 50 e 100% da capacidade de campo não apresentaram diferença no crescimento da cv. Titicaca e que a redução do crescimento a 25% cc sofreu uma adaptação ao ambiente.

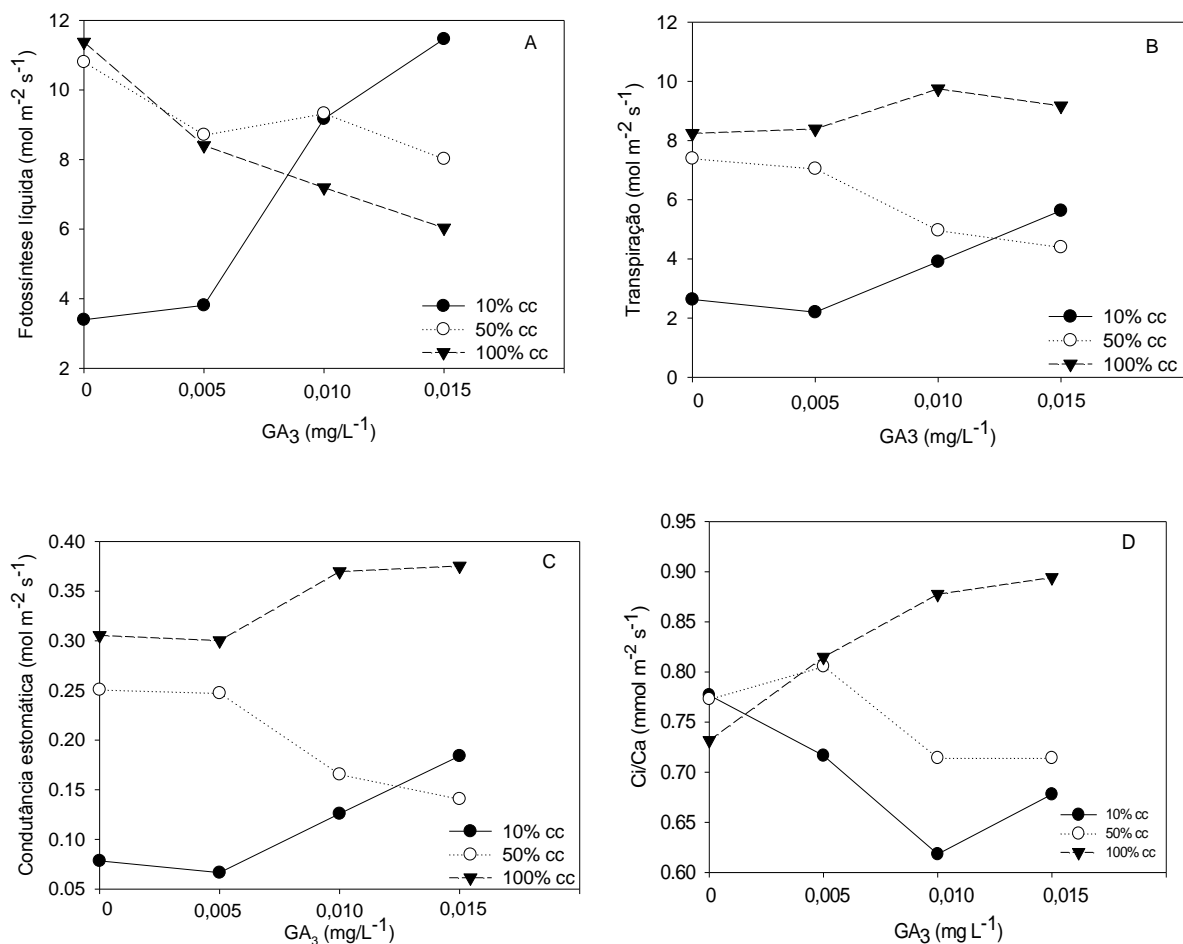
Algumas características da quinoa contribuem para manter a tolerância ao estresse hídrico como a senescência foliar, aumento radicular, volume, comprimento, parede celular mais espessa para evitar a perda de turgor e redução da área foliar (JACOBSEN; MUJICA; JENSEN, 2003). As limitações de crescimento dos órgãos das plantas em condições de estresse abióticos pode ser verificado dentre outros fatores pela acumulação da proteína Della em detrimento da redução de GAs biotivas, contudo a proteína Della tem a função de tolerância ao estresse (ACHARD *et al.*, 2006). A adaptação das plantas ao estresse hídrico também pode ser verificada pelo acúmulo de açúcares nas folhas devido à redução do crescimento (SKIRYCZ *et al.*, 2011). Dessa forma a aplicação de giberelina pode contribuir para tolerância nas condições de seca, estimular o crescimento e aumentar a eficiência do uso da água em variados níveis de estresse hídrico, assim como pode reduzir em tamanho e melhorar a tolerância comparada a plantas de maior altura.

5.4.2 Trocas gasosas

A taxa fotossintética ocorre de maneira distinta para diferentes variedades e ambientes de cultivo da quinoa (GONZÁLEZ *et al.*, 2014). Nesse trabalho os parâmetros de trocas gasosas apresentaram interação significativa entre as concentrações de ácido giberélico e níveis de disponibilidade hídrica. Nas plantas oriundas das sementes tratadas com 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ e submetidas a 10% da capacidade de campo, a taxa fotossintética foi favorecida

com acréscimo de $5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ quando comparando a 100% da capacidade de campo (Figura 21A). Isso deve-se as condições de déficit hídrico que demonstraram que o receptor de GA_3 , Gibberellin Insensitive Dwarf 1 (GID1), regulam a produção de ABA e o controle estomático (DU *et al.*, 2015) apresentando maior tolerância ao estresse hídrico, assim também como amenizam o efeito do estresse e promovem maior desenvolvimento, taxa fotossintética e reduzem atividades oxidativas (AKTER *et al.*, 2014). Entretanto o aumento das concentrações de GA_3 , promoveu a redução da taxa fotossintética de 50 e 100% da capacidade de campo, exceto no nível de $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ de GA_3 que apresentou um leve aumento da fotossíntese a 50% cc (Figura 21 A).

Figura 21- Fotossíntese (A), transpiração (B), condutância estomática (C), relação da concentração interna e externa de CO_2 (Ci/Ca) (D) em plantas de quinoa em função do tratamento com GA_3 e submetidas ao estresse hídrico. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados correspondem a média de quatro plantas distintas

A transpiração das folhas de quinoa apresentaram comportamento similar a condutância estomática (Figura 21B e C). As plantas com $0,015 \text{ mg L}^{-1}$ de GA_3 , sob 10 e

100% cc, apresentaram aumento na transpiração e condutância estomática em relação as plantas com ausência de GA₃, isso significa que esses efeitos podem ser observado para condições normais e de seca com a adição de giberelina. Contudo, em 50% cc foi observado uma leve redução na transpiração e condutância estomática nas concentrações de 0,010 e 0,015 mg L⁻¹ de GA₃, devido ao parcial fechamento estomático que se manteve em conformidade com a redução das variáveis de transpiração e concentração de CO₂. Resultados estes, que mostraram a eficiência no incremento de área foliar e biomassa (Figura 20C e D).

A biomassa está relacionada com a transpiração, tendo como principal mecanismo a absorção da água no solo (GONZÁLEZ *et al.* 2014) através de mecanismos da raiz e parte aérea. Em condições de déficit hídrico os estômatos se fecham reduzindo a entrada de CO₂ e consequentemente a atividade da Rubisco é reduzida no interior das células juntamente com as atividades metabólicas (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

Verifica-se na Figura 21D, que a maior relação Ci/Ca foi encontrada para capacidade de campo de 100% e em contraste ocorreu a redução da fotossíntese. Isso pode ter ocorrido devido ao aumento da concentração interna de CO₂ que pode não estar sendo fixado, reduzindo a fotossíntese, a área foliar e massa seca da planta, à medida que se comparou com as plantas que estavam sob regime 50% de água. Para a concentração de CO₂ nas plantas submetidas a 50% cc apresentaram um leve aumento da concentração a 0,005 mg L⁻¹ de GA₃ e as plantas com 10% cc reduziram a concentração de CO₂ até 0,010 mg L⁻¹ de GA₃, seguida por um incremento quando tratadas com 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ (Figura 21 D).

Muller *et al.* (2011), fizeram a observação de que sob estresse hídrico a fotossíntese não é tão afetada como o crescimento celular e que o estresse induz o acúmulo de carboidratos nas folhas, indicando que redução no crescimento não está relacionada com a redução de carbono. Jacobsen, Liu e Jensen (2009) observaram a permanência da fotossíntese em quinoa, mesmo durante o fechamento estomático à medida que também manteve a turgescência. Isso ocorreu pelo baixo potencial foliar, facilitando o deslocamento de absorção para folha (ZURITA-SILVA *et al.*, 2014). Além de se observar quantidades de osmólitos que podem estar relacionado com o ajuste térmico e osmótico da quinoa, reduzindo a desnaturação de proteínas durante o estresse e acumulação de carboidratos (HARIADI *et al.*, 2011; SHABALA *et al.*, 2012). Através desses ajustes no interior celular, o déficit hídrico influenciou mais no crescimento do que na fotossíntese. A inibição do crescimento, apresenta-se com a aclimação das plantas adaptando-se ao meio (SKIRYCZ *et al.*, 2011).

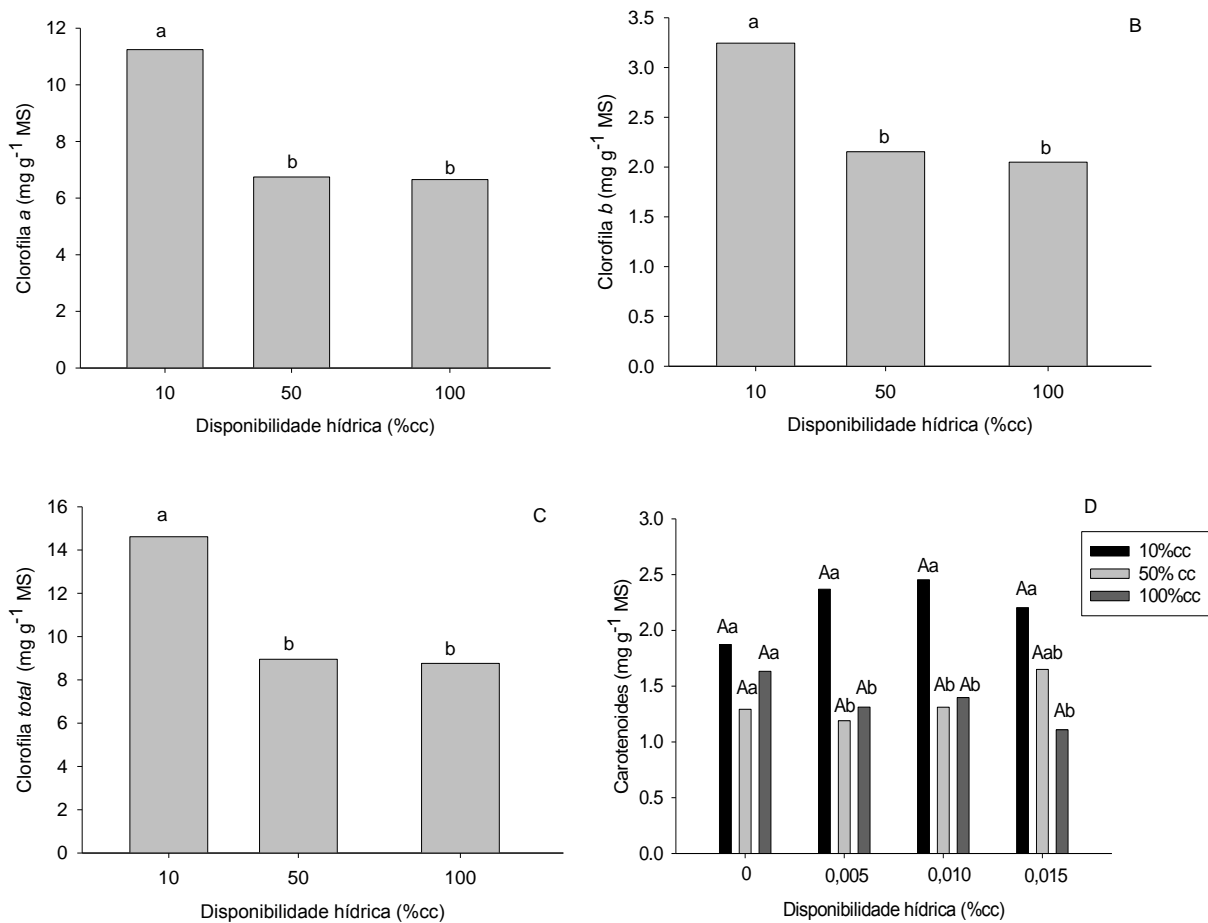
As plantas apresentam adaptações às condições de estresse hídrico, como o fechamento estomático, resultando em baixas trocas gasosas e conveniente redução de CO₂, o que afeta diretamente no crescimento, desenvolvimento e produção de biomassa (HUCHZERMEYER; KOYRO, 2005). Resultados discordando deste trabalho foram encontrados por Stikic *et al.*, (2015) que verificaram que a redução da condutância estomática promoveu a redução da transpiração, afetando a área foliar e maior comprimento da raiz. A condutância estomática está relacionada com a proteção para evitar a perda de água e estresse por altas temperaturas. Isso ocorre, quando o aumento do estresse hídrico, induz a síntese do hormônio ABA, que em grandes quantidade no xilema e nas folhas sinaliza para o fechamento estomático (JACOBSEN; LIU; JENSEN, 2009).

As plantas foram mais tolerantes em condições de maior estresse hídrico (10% cc), demonstrado que através da adição de GA₃ promoveu o aumento da taxa fotossintética, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂. A combinação do provável aumento de oxalato de cálcio e aplicação de GA₃ podem ter contribuído para manter maior umidade interna, rigidez celular e o aumento da fotossíntese celular. A atividade das giberelinas pode ser sintetizadas por genes através da sinalização de estresse ambiental, atuando na homeostase celular (O'NEILL *et al.*, 2010; GAION *et al.*; 2018). No entanto, esses genes parecem colaborar pouco para o crescimento (SKIRYCZ *et al.*, 2011).

5.4.3 Teores de clorofila e carotenoides

As variáveis clorofila a, b e total, não apresentaram interação entre os níveis de irrigação e GA₃, entre tanto houve efeito isolado para níveis de irrigação, demonstrando comportamento similar entre as variáveis. Os maiores teores de clorofila a, b e total foram verificados no maior nível de estresse hídrico a 10% cc, com 11,2; 3,2 e 14,6 mg g⁻¹ respectivamente e não foi encontrado diferença em 50 e 100% cc (Figura 22A, B e C). Os resultados deste trabalho foram superiores em comparação aos de González *et al.* (2014), em que a variedade de quinoa Blanca apresentou teores de clorofila a, b e total em média de 2,3; 0,9 e 3,3 mg g⁻¹.

Figura 22 - Teores foliares de clorofilas *a* (A), *b* (B), total (C) e carotenoides (D) em plantas de quinoa em função do tratamento com GA₃ e submetidas ao estresse hídrico. Fortaleza/CE, 2017.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados correspondem a média de quatro plantas distintas

Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Figuras: A, B e C.

Letras maiúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de GA₃ e letras minúsculas iguais comparadas entre os diferentes níveis de disponibilidade hídrica, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Figura D.

No conteúdo de carotenoides foi observada interação entre a disponibilidade de água aplicada no solo e níveis de GA₃. Os tratamentos com ácido giberélico nas sementes induziram o incremento no teor de carotenoides em plantas de quinoa com 10% cc, em que nas concentrações de 0,005; 0,010 e 0,015 mg L⁻¹ de GA₃ apresentaram 2,3; 2,4 e 2,2 mg g⁻¹ superiores a testemunha com 1,8 mg g⁻¹. Nessas concentrações de ácido giberélico, as irrigações com 50 e 100% cc reduziram os teores de carotenoides (Figura 22D).

Como forma de adaptação às condições de regiões semiáridas, nos baixos níveis de estresse ocorre a redução de clorofila, evitando a ocorrência de dano fotooxidativo (ZURITA-SILVA *et al.*, 2014). Por outro lado, segundo González *et al.* (2009), altos conteúdos de clorofila e carotenoides sob condições de estresse hídrico são desejáveis, pois

demonstram indícios de baixa foto-inibição. Isso, pode ter ocorrido devido aos mecanismos de adaptação das plantas halófitas, que reduzem os efeitos provocados pelo estresse e protegem o aparato fotossintético.

O tratamento das sementes com ácido giberélico pode ter induzido a interação com as citocininas, principalmente na parte aérea das plantas nas condições de estresse hídrico. Isso pode ser observado por meio de alterações das características relacionadas as interações hormonais. Essa possível interação responderia ao aumento dos teores de clorofila e carotenoides, assim como a permanência das folhas nas plantas sob um alto estresse hídrico, a redução em altura e crescimento de brotações laterais e níveis altos de fotossíntese. Isso tudo em virtude das citocininas atuarem na proteção do processo fotossintético em condições de seca através da redução das atividades regenerantes, regulando a senescência, redução da fotossíntese, além de realocar os nutrientes para seu local de atuação regulando as relações de fonte e dreno (TAIZ; ZEIGER, 2017).

De acordo com os resultados deste experimento, as variáveis que não tiveram interação com o GA₃ apresentaram maior crescimento nas condições de 50% cc para o comprimento da raiz, área foliar e massa seca da planta, ainda ocorreu maior produção de teores de clorofila em 10% cc. A aplicação de ácido giberélico na concentração de 0,015 mg L⁻¹ contribuiu para o crescimento da altura a 100% cc, incrementou a massa seca do caule de forma isolada, favoreceu o aumento nas trocas gasosas para 10 e 100% cc, além de ter contribuído para maior produção de carotenoide no maior estresse hídrico.

6 CONCLUSÃO

A germinação e o crescimento de plântulas de quinoa em ambiente controlado foram reduzidos com os maiores níveis de estresse salino, porém o estresse hídrico foi limitante para germinação a partir de $-0,8$ MPa.

O efeito da embebição das sementes em água e em ácido giberélico à $0,005$ e $0,010$ mg L⁻¹ foram mais significativos nas menores concentrações salinas para germinação e crescimento inicial da quinoa. Em condições de estresse hídrico o GA₃ não influenciou na germinação, mas a aplicação de $0,005$ e $0,010$ mg L⁻¹ de GA₃ contribuiu para o aumento radicular e de massa seca.

Em casa de vegetação, o aumento da concentração salina reduziu o crescimento das plantas, trocas gasosas e incrementou as concentrações de clorofila e carotenoides, demonstrando alteração das características morfofisiológicas como forma de amenizar os danos ao estresse salino. A aplicação de $0,015$ mg L⁻¹ de GA₃ reduziu a área foliar e a fotossíntese na testemunha e aumentou a fotossíntese nas concentrações salinas.

Em casa de vegetação e sob estresse hídrico, o crescimento da quinoa foi reduzido na menor disponibilidade hídrica, mas o tratamento das sementes com GA₃ minimizou os efeitos do estresse através do aumento das trocas gasosas e carotenoides. O maior crescimento ocorreu em 50% cc para o comprimento da raiz, área foliar e massa seca da planta.

REFERÊNCIAS

- ACHARD, P. *et al.* Integration of plant responses to environmentally activated phytohormonal signals. **Science**, Washington, v. 311, n. 5757, p. 91-94, 2006.
- ADOLF, V. I.; JACOBSEN, S. E.; SHABALA, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 92, p. 43-54, 2013.
- AGOSTINI, E. **Indução de tolerância à deficiência hídrica na germinação e no crescimento inicial de sementes de feijoeiro**. 2010. 45f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Agronomia. Universidade do Oeste Paulista-UNOESTE, Presidente Prudente. 2010.
- AHMED, M.; QAMAR, I. A. Rehabilitation and productive use of salt affected lands through afforestation. **Science Vision**, Aizawl, v. 9, p. 178-191, 2004.
- AKTER, N. *et al.* Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. **Journal Crop Science Biotechnology**, Korea, v. 17, n. 1, p. 41-48, 2014.
- ALGOSAIBI, A. M. *et al.* M. Effect of Irrigation Water Salinity on the Growth of Quinoa Plant Seedlings. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 7, n. 8, 2015.
- ALVAREZ-Jubete, L.; ARENDT, E.K.; GALLAGHER E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 21, n. 2, p. 106-113, 2010.
- AMIN, R. *et al.* Influence of seed hardening techniques on vigor, growth and yield of wheat under drought conditions. **Journal of Agricultural Studies**, Las Vegas, v. 4, n. 3, p. 121-131, 2016.
- ARTECA, R.D. **Plant growth substances: principles and applications**. New York: Chapman & Hall, 1996. 332p.
- ATIA, A. *et al.* ABA, GA3 and nitrate may control seed germination of *Crithmum maritimum* (Apiaceae) under saline conditions. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 332, n. 8, p. 704–710, 2009.
- ÁVILA, G. E. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de quinoa cv. BRS PIABIRU cultivadas sob condições de salinidade**. 2015. 47f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia vegetal. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2015.
- BARBIERI, A. *et al.* Tratamento de sementes de milho sobre o desempenho de plântulas em condições de estresse salino. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, PA, v. 57, n. 3, p. 305-311, 2014.
- BENINCASA, M. M P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV. 625p. 2008.

BHARGAVA, A.; SHUKLA, S.; OHRI, D. *Chenopodium quinoa*-an Indian perspective. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 23, p. 73–87, 2006.

BORGES, J. T. *et al.* Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **TEMAS AGRARIOS**, Córdoba, Colômbia, v. 15, n. 1, p. 9 – 23, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CASTRO, L. I. A. *et al.* Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): digestibilidades em vitro, desenvolvimento e análise sensorial de preparações destinadas a pacientes celíacos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 413-419, 2007.

CHAVES, M. M; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, London, v. 103, ed. 4, p. 551-560, 2009.

CHILO, G. *et al.* Efecto de La temperatura y salinidad sobre La germinación y crecimiento de plantulas de dos variedades de *Chenopodium quinoa*. **Agriscientia**, Córdoba, Argentina, v. 26, n. 1, p. 15-22, 2009.

COCOZZA, C. *et al.* Effects of Increasing Salinity Stress and Decreasing Water Availability on Ecophysiological Traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in a Mediterranean-Type Agroecosystem. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 199, n. 4, p. 229–240, 2012.

COLEBROOK, E. H. *et al.* The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. **The Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 217, n. 1, p. 67-75, 2014.

DELATORRE-HERRERA, J.; PINTO, M. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Quilamapu, Chile, v. 69, n. 4, p. 477–485, 2009.

DILDEY, O. D. F. *et al.* Efeito da aplicação de ácido giberélico na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de quinoa. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 5, n. 2, p. 1-9, 2016.

DU, H. *et al.* *GID1* modulates stomatal response and submergence tolerance involving abscisic acid and gibberellic acid signaling in rice. **Journal of Integrative Plant Biology**, Beijing, v. 57, n. 11, p. 954-968, 2015.

EISA, S. *et al.* Effect of NaCl salinity on water relations, photosynthesis and chemical composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a potential cash crop halophyte. **Australian Journal of Crop Science**, Southern Cross Australia, v. 6, n. 2, p. 357-368, 2012.

EMBRAPA. **Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos**

do mundo estão degradados. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que-33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>. 2015. Acesso em: 22 maio 2017.

FAO. AgroNoticias América Latina e Caribe. Bolívia. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detail/en/c/381399/>. Acesso em: 12 mar. 2017.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Quinoa: 2013 international year. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/quinoa-2013/en/>. Acesso em: 05 jul 2017.

FAOSTAT. Crops: production. Food And Agriculture Organization Of The United Nations - **FAO**. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 26 dez 2017.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementes antecipadas no mato grosso. **Nativa**, Mato Grosso, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar. Versão 5.6. Lavras: UFLA/DEX, 2015.

GAION, L. A. *et al.* Constitutive gibberellin response in grafted tomato modulates root-to-shoot signaling under drought stress. **Journal of Plant Physiology**, Jena, Alemanha, v. 221, p. 11-21, 2018.

GAO, W. *et al.* Predicting penetrometer resistance from the compression characteristic of soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, n. 2, p. 361-369, 2012.

GEERTS, S. *et al.* Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **European Journal of Agronomy**, Frederiksberg, Dinamarca v. 28, n. 3, p. 427-436, 2008.

GHODRAT, V. e ROUSTA, M. J. Effect of Priming with Gibberellic Acid (GA₃) on Germination and Growth of Corn (*Zea mays* L.) under Saline Conditions. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, Bangladesh, v. 4, n. 13, p. 882-885, 2012.

GIROTTI, L. *et al.* Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres: Fisiologia e Biotecnologia vegetal**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 192-199, 2012.

GÓMEZ-PANDO, L.R.; ÁLVAREZ-CASTRO, R. E. Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd: a promising crop. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 196, p. 391-396, 2010.

GONÇALVES, J. G. R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca.** 2013. 82f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2013.

GONZÁLEZ, J.A. *et al.* Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. **Botanical studies**, Taipei, Taiwan, v. 50, p. 35-42, 2009.

GONZÁLEZ, J. A. *et al.* Asimilación fotosintética máxima en variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa*) de diferentes orígenes geográficos y su relación con la morfología foliar. **Lilloa**, Tucumán, Argentina, v. 51, n. 2, p. 177–193, 2014.

GRANADOS, O. A guerra pelo ‘grão de ouro’ andino, Peru tira da Bolívia a liderança na produção e exportação de quinoa. **El País**, Brasil, 02 de abril 2016. Disponível em: http://brasil.elpais.com/brasil/2016/03/31/economia/1459422139_795680.html. Acesso em: 23 abr. 2017.

HARDEGREE, S. P.; EMMERICH, W. E. Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. **Seed Science and Technology**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 1-7, 1994.

HARIADI, Y. *et al.* Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. **Journal of Experimental Botany**, Oxford v. 62, n. 1, p. 85-193, 2011.

HEINZE, B. 2002. **Importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da região nordeste do Brasil**, Brasília - DF. Monografia, MBA, Eco business Scholl, FVG. Publicações IICA/braulioheinze.

HIRICH, A. *et al.* Saline Water Irrigation of Quinoa and Chickpea: Seedling Rate, Stomatal Conductance and Yield Responses. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 200, n. 5, p. 378–3, 2014.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. **Berkeley: Agricultural Experiment Station**, California, 1950, 39p.

HOLANDA, J. S. *et al.* Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 43-61, 2010.

HUCHZERMEYER, B., KOYRO, HW. Salt and drought stress effects on photosynthesis. In: **Pessaraki M. Handbook of plant and crop stress**. 2. ed. Marcel Dekker Inc., New York, USA, p. 751–778, 2005.

JACOBSEN, S.E.; MUJICA, A.; JENSEN, C.R. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. **Food Reviews International**, Abingdon, v. 19, p. 99–109, 2003.

JACOBSEN, S.-E.; LIU, F.; JENSEN, C. R. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Scientia Horticulturae**, Basel, Suíça, v. 122, n. 2, p. 281–287, 2009.

JAMIL, M; RHA, E. S. Gibberellic acid (GA₃) enhance seed water uptake, germination and early seedling growth in sugar beet under salt stress. **Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, Pakistan, v. 10, n. 4, p. 654-658, 2007.

JELLEN, E. N. *et al.* Botánica, Domesticación y Circulación de Recursos Genéticos. In: BAZILE D. *et al.* (Eds) **Estado del arte de La quinua em el mundo en 2013**: FAO: Santiago, Chile: CIRAD: Montpellier, Francia, p. 11-35, 2014.

- KANDIL, A. A. *et al.* Effect of gibberellic acid on germination behavior of sugar beet cultivars under salt stress conditions of Egypt. **Sugar Tech**. Índia v. 16, n. 2, p. 211-221, 2014.
- KHAN, N. A. *et al.* The source–sink relationship in mustard. **The Asia and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology**, Mymensingh, v. 1, n.1, p. 10–18, 2007.
- KHAN, A. Z. *et al.* Influence of seed invigoration techniques on germination and seedling vigor of maize (*Zea mays* L.). **Cercetări Agronomice în Moldova**, Iasi, v. 50, n. 3, p. 61-70, 2017.
- KIM, S-G; PAR, C-M. Gibberellic acid-mediated salt signaling in seed germination. **Plant Signal Behav**, Washington, v. 3, n. 10, p. 877-879, 2008.
- KOYRO, H-W.; EISA, S.S. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 302, p. 79–90, 2008.
- LANA, A. M. Q. *et al.* Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 13-20, 2009.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531p.
- MA, S.S.; GONG, Q.Q.; BOHNERT, H.J. Dissecting salt stress pathways. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, p. 1097–1107, 2006.
- LUAN, Z. *et al.* Effects of Salinity, Temperature, and Polyethylene Glycol on the Seed Germination of Sunflower (*Helianthus annuus*L.). **The Scientific World Journal**, [S.l: s.n] 9 p., 2014.
- MAAS, E.V., HOFFMANN, G.J. Crop salt tolerance – current assessment. Irrigation and Drainage Division. **American Society of Civil Engineers**, Reston, v. 103, n. 2, p. 115–134, 1977.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015, 660p.
- MITROVIĆ, A.; BOGDANOVIĆ, J. Effect of gibberellic acid on total antioxidant activity during *Chenopodium rubrum* L. ontogenesis in vitro. **Archives of Biological Sciences**, Belgrade, v.61, n.1, p. 49-55, 2009.
- MIRANDA-APODACA, J. *et al.* Similarities and differences between the responses to osmotic and ionic stress in quinoa from a water use perspective. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 203, p. 344–352, 2018.
- MORAES FILHO, L. F. C. **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Uma revisão bibliográfica**. 2013. 51f. Monografia (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília- UnB, Brasília, 2013.

MUJICA-SANCHEZ, A. *et al.* **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento Del Presente y Futuro**. Santiago, Chile: FAO, 2001. 564p.

MULLER, B. *et al.* Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 6, p. 1715–1729, 2011.

MUSCOLO, A. *et al.* Drought and Salinity Differently Affect Growth and Secondary Metabolites of “*Chenopodium quinoa* Willd” Seedlings. In: Khan, M. A. *et al.* **Halophytes for Food Security in Dry Lands**. Oxford: Academic Press, p. 259–275, 2016.

NAKAUNE, M. *et al.* Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 52, p. 28–37, 2012.

NAVRUZ-VARLI, S.; SANLIER, N. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of Cereal Science**, London, v. 69, p. 371–376, 2016.

NELSON, G. C. *et al.* Climate change: impact on agriculture and costs of adaptation. **International Food Policy Research Institute**, Washington, DC, IFPRI, 2009.

NETO, D. D. *et al.* Ação de bioestimulante no desempenho agrônômico de milho e feijão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 371-379, 2014.

NOWAK, V.; DU J.; CHARRONDIÈRE, U. R. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Food Chemistry**, Barking, v. 193, p. 47-54, 2016.

O’NEILL, D. P. *et al.* Regulation of the gibberellin pathway by auxin and DELLA proteins. **Planta**, Berlin, v. 232, n. 5, p. 1141-1149, 2010.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. **Revista brasileira de sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, 2009.

OLIVEIRA, F.A. *et al.* Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 307-315, 2016.

ORSINI, F. *et al.* Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. **Functional Plant Biology**, Tasmânia, v. 38, n. 10, p.818-831, 2011.

PANUCCIO, M. R. *et al.* Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. **AoB Plants**, Oxford, v. 6, n.1, 2014.

PRADO, F. E. *et al.* Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, Taiwan, v. 41, p. 27-34, 2000.

RAZZAGHI, F. *et al.* Water Relations and Transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa*

Willd.) Under Salinity and Soil Drying. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, Africa, v. 197, n. 5, p. 348–360, April, 2011.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. **Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável**. In: CURI, N. *et al.* (eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 165-208. 2003.

RICCARDI, M. *et al.* Growth and Ionic Content of Quinoa Under Saline Irrigation. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 200, n. 4, p. 246-260, 2014.

RODRIGUES, T de J. D.; LEITE, I. C. **Fisiologia vegetal – hormônios das plantas**. Jaboticabal: Funep, 2004. 78p.

RUFFINO, A. M. C. *et al.* Evolución de metabolitos primarios y pigmentos fotosintéticos durante la ontogenia de cotiledones de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sometidos a estrés salino. **Lilloa**, Tucumán, Argentina, v. 45, n. 1–2, p. 108–118, 2008.

RUFFINO, A.M.C. *et al.* The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 326, n. 2, p. 213–224, 2010.

RUIZ-CARRASCO, K. *et al.* Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. **Plant Physiology and Biochemistry**, França, v. 49, n. 11, p. 1333-1341, 2011.

SALISBURY, F.B; ROSS, C. W. *Plant physiology*. 4. ed. Belmont: Wadsworth, 1992. 682 p.

SAGLAM, S. *et al.* Hydropriming increases germination of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) under water stress. **Natulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 2, n. 2, p. 103-106, 2010.

SAMIULLAH, A. B.; QURESHI, R. A. Physiological and biochemical analysis of the selected halophytes of District Mardan, Pakistan. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, San Bernardino, v. 1, n. 4, p. 239-243, 2011.

SAMPAIO, V. T. Análise da composição centesimal, do valor calórico total da quinoa real (*Chenopodium quinoa* Willd.) e seu perfil de ácidos graxos. **Revista Educação-UnG-SER**, Guarulhos, SP, v. 9, n. 2, p. 66, 2014.

SHABALA, L. *et al.* Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Physiologia Plantarum**, Lund, Suécia, v. 146, n. 1, p. 26–38, 2012.

SHADDAD, M.A.K.; ABD EL-SAMAD, H.M.; MOSTAFA, D. Role of gibberellic acid (GA 3) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, Africa, v. 5, n. 4, p. 50-57, 2013.

SYSSTAT SOFTWARE. **Sigmaplot for windows, version 11.0**. 2008.

SAHIL, A. A. A. L. Effect of gibberellic and salicylic acids pre-soaking on seed germination

attributes of cucumber (*cucumis sativus* L.) under induced salt stress. **Cercetări Agronomice în Moldova**, Varsóvia, v. 49, n. 1, p. 99-109, 2016.

SIENER, R. *et al.* Oxalate contents of species of the Polygonaceae, Amaranthaceae and Chenopodiaceae families. **Food Chemistry**, Barking, v. 98, n. 2, p. 220–224. 2006.

SILVA DIAS, N; F. BLANCO, F. Efeitos do sal no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; SILVA DIAS, N.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidades na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 129-140, 2010.

SILVA, J. L. A. *et al.* Evolução da salinidade em solos representativos do Agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos-PB v. 7, n. 4, p. 26-31, 2011.

SKIRYCZ, A; *et al.* Survival and growth of Arabidopsis plants given limited water are not equal. **Nature Biotechnology**, New York, v. 29, n. 3, p. 212–214, 2011.

SPEHAR, C., *et al.* Avances y desafíos de la producción y utilización de la quinua en Brasil. In: BAZILE, D., *et al.* **Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013**. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), p. 682-706, 2014.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, 2002.

STEFANELLO, R., *et al.* Resposta fisiológica de sementes de chia e linhaça ao estresse hídrico. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 72, n. 2, p. 161-163, 2017.

STIKIC, R. *et al.* Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. **Journal of Cereal Science**, London, v. 55, n. 2, p. 132–138, 2012.

STIKIĆ, R. *et al.* The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). **Ratarstvo Povrtarstvo**, Novi Sad, Sérvia, v. 52, n. 2, p. 80-84, 2015.

SUN, Y. *et al.* Sensitivity of Two Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Varieties to Progressive Drought Stress. **Journal of Agronomy and crop science**, Berlin, v. 200, n. 1, p. 12–23, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2017, 888 p.

TARIQ, S. *et al.* Influence of pre-sowing seed treatments on germination properties and seedling vigor of wheat. **Agricultural and Veterinary Science**, Baku, Azerbaijão, v. 1, n. 1, p. 62-70, 2017.

UNGAR, I.A. Effect of salinity on seed germination, growth and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). **American Journal Botany**, Baltimore, v. 83, n.5, p. 604-607, 1996.

VERPOORTE, R.; MEMELINK, J. Engineering secondary metabolite in plants. **Current**

Opinion in Biotechnology, London, v. 13, n.2, p. 181-187, 2002.

VIEIRA, R.D. **Teste de condutividade elétrica**. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. [s.n]. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, p. 103-132, 1994.

VILAS BOAS, L. V. *et al.* Antioxidant metabolism of *Chenopodium quinoa* Willd. under salt stress. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 11, n. 4, p. 281-288, 2016.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 11/12, p. 1957-1968, 1991.

WALTERSA, H. *et al.* Effect of irrigation, intercrop, and cultivar on agronomic and nutritional characteristics of quinoa. **Agroecology and sustainable food systems**, London, v. 40, n. 8, p. 783–803, 2016.

ZINGARETTI, S. M. *et al.* **Water Stress and Agriculture**. In. Responses of Organisms to Water Stress. Sener Akinci, Turkey, v. 16, p. 188, 2013.

ZURITA-SILVA, A. *et al.* **Respuestas a la sequía y adaptación de la Quinoa**. Capítulo 2.4. IN: BAZILE D. *et al.* (Editores), “Estado de arte de la quinau em ele mundo em 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): p. 185-202, 2014.

XAVIER, F. M. *et al.* Germinação de sementes *Allium cepa* L. submetidas a condicionamento fisiológico e secagem. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 4, 2017.

SIMON, C. A.; SORANA, C. K. P. M.; ALVES, C. Z. Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de chia. **Revista de Ciências Agroambientais**, Mato Grosso, v. 15, n. 1, 2017.

D. OLSEN. Tratamento de sementes com bioestimulante: vigor e isoenzimas de plântula de arroz de sequeiro sob restrição hídrica. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 34, p. 296-302, 2016.

BITTENCOURT, P. P.; SANTOS SILVA, L. N. N. **Estresse hídrico em plantas: aspectos morfofisiológicos, adaptações e mecanismos de resposta**. VIII Botânica no Inverno 2018/ Org. Aline Possamai Della [et al.]. – São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2018. 275 p.

ANEXO A – ANÁLISE SOLO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ				GOVERNO DO ESTADO DO CEARA						
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS				SRH/FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E						
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO				RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME						
LABORATÓRIO DE SOLOS/ÁGUA										
CAMPUS DO PICI - BLOCO 807 - CAIXA POSTAL 12168 - CEP 60021 - 970 - FORTALEZA - CE (Fone/Fax: (085) 3366 9689)										
Interessado Hialina Steffane Lopes Costa										
Procedência: Fitotecnia-Fortaleza-Ce						Perfil: --	Data 18/12/2017			
RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO										
		Horizonte		Composição Granulométrica (g/kg)				Classificação		
Amostra	Simbolo	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Textural		
1010	substrato	-	478	322	100	100	68	Franco arenosa		
Grau de Flocculação		Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E	
(g/100g)		Global	Particula	0,033 MPa	1,5 MPa	Água Útil	Água	KCl	(dS/m)	
32		1,31	2,64	-	-	-	7,0	--	1,29	
Complexo Sortivo (cmol _c /kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V(%)	m(%)	PST
6,00	3,70	0,31	0,88	1,49	0,05	10,9	12,4	88	1	3
C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	M O (g/kg)	P Assimilável (mg/kg)	OBSERVAÇÕES					
14,94	1,50	10	25,76	314						

*Responsável

LABORATORIO DE SOLOS
UFCE/FUNCEME