

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

JHONATA VINICIUS SILVA PAIXÃO
JOSÉ ROBERTO ALVES DA COSTA
TAYAN LUIZ TEIXEIRA SILVA

**POTENCIALIDADES DA ALCACHOFRA DE
JERUSALÉM (*Helianthus tuberosus* L.) E SUA
ADAPTABILIDADE A CONDIÇÕES DE ESTRESSE
SALINO**

Recife
2022

**POTENCIALIDADES DA ALCACHOFRA DE JERUSALÉM
(*Helianthus tuberosus L.*) E SUA ADAPTABILIDADE A CONDIÇÕES
DE ESTRESSE SALINO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC II do Curso de Ciências Biológicas do
Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte
dos requisitos para conclusão do curso.

Orientador: Prof. Msc. Pedro Arthur do Nascimento Oliveira

RECIFE

2022

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 1745.

P149p Paixão, Jhonata Vinicius Silva
Potencialidades da alcachofra de Jerusalém (*helianthus tuberosus* L.) e
sua adaptabilidade a condições de estresse salino. / Jhonata Vinicius Silva
Paixão, José Roberto Alves da Costa, Tayan Luiz Teixeira Silva. Recife: O
Autor, 2022.

35 p.

Orientador(a): Prof. Msc. Pedro Arthur do Nascimento Oliveira.

Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação) - Centro Universitário
Brasileiro – Unibra. Bacharelado em Ciências Biológicas, 2022.

Inclui Referências.

1. Solos salinos. 2. Semiárido. 3. Ração animal. 4. Jerusalém batateiro. I.
Costa, José Roberto Alves da. II. Silva, Tayan Luiz Teixeira. III. Centro
Universitário Brasileiro - Unibra. IV. Título.

CDU: 573

POTENCIALIDADES DA ALCACHOFRA DE JERUSALÉM (*Helianthus tuberosus*, L.) E SUA ADAPTABILIDADE A CONDIÇÕES DE ESTRESSE ABIÓTICOS

JHONATA VINICIUS SILVA PAIXÃO¹

JOSÉ ROBERTO ALVES DA COSTA¹

TAYAN LUIZ TEIXEIRA SILVA¹

Msc. Pedro Arthur do Nascimento Oliveira²

Resumo: Os tubérculos de Jerusalém Batateiro, ricos em inulina, principal matéria-prima, é o principal constituinte químico para a produção de fontes alternativas de energia (biocombustíveis) e alimentos da dieta humana (inulina). Por ser uma cultura de baixa exigência de insumos (irrigação, fertilização, controle de pragas e doenças), propicia uma fonte de renda para o produtor, gerando um sistema autossustentável de exploração. Além disso, as demais partes constituintes da planta (raiz, caule, inflorescência e folhas) geram também diversos subprodutos ou derivados de interesse econômico. Assim, o trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre as diferentes aplicações biológicas da alcachofra de Jerusalém bem como mostrar sua resposta ao fator estressante a solos salino. Para esta finalidade, foi realizada uma revisão de literatura nos últimos 11 anos pesquisando artigos nos bancos de dados e bibliotecas virtuais: Índice Bibliográfico Español en Ciencias de la Salud (IBECS); Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS); e Scientific Electronic Library Online (SciELO). Tubérculos de *H. tuberosus* vem sendo utilizados como matéria-prima para a produção de bioetanol, além disso, essa planta apresentou potencial para aplicação na indústria alimentícia na dieta humana e animal. Ademais, verificou-se que esta planta tem a capacidade de acumular metais pesados considerados contaminantes ambientais sem prejudicar seu crescimento. E foi demonstrado que a alcachofra de Jerusalém pode crescer bem apresentando alta produção de tubérculos sob cultivos em altos níveis de salinidade. Desta maneira, ficou claro a alta versatilidade das aplicações biológicas do Jerusalém Batateiro, sobretudo a partir dos seus tubérculos, e a resistência desta planta ao ser cultivada sob estresse salino.

Palavras-chave: Jerusalém Batateiro. solos salinos. semiárido. inulina. ração animal.

¹ Discentes do Curso de Ciências Biológicas da UNIBRA

² Docente do Curso de Ciências Biológicas da UNIBRA

ABSTRACT

Jerusalem Potato tubers, rich in inulin, the main raw material, is the main chemical constituent for the production of alternative sources of energy (biofuels) and food for the human diet (inulin). Since it is a crop with low input requirements (irrigation, fertilization, pest and disease control), it provides a source of income for the producer, generating a self-sustainable exploitation system. In addition, the other constituent parts of the plant (root, stem, inflorescence and leaves) also generate various by-products or derivatives of economic interest. Thus, the work aims to carry out a literature review on the different biological applications of Jerusalem artichoke as well as to show its response to the stressor of saline soils. For this purpose, a literature review was carried out in the last 10 years by searching for articles in databases and virtual libraries: Index Bibliographic Español en Ciencias de la Salud (IBECS); Latin American and Caribbean Literature in Health Sciences (LILACS); and Scientific Electronic Library Online (SciELO). Tubers of *H. tuberosus* have been used as raw material for the production of bioethanol, moreover, this plant showed potential for application in the food industry in human and animal diet. Furthermore, it was verified that this plant has the capacity to accumulate heavy metals considered environmental contaminants without harming its growth. And it has been shown that Jerusalem artichoke can grow well with high tuber production under cultivation at high salinity levels. In this way, the high versatility of the biological applications of Jerusalem Potato became clear, especially from its tubers, and the resistance of this plant to being cultivated under saline stress.

Keywords: Potato Jerusalem. saline soils. semiarid. inulin. animal food.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 <i>H. tuberosus</i> (alcachofra de Jerusalém).....	15
FIGURA 2 Respostas das Plantas ao Estresse Abiótico em Relação às características do Estresse e da Planta.....	16
FIGURA 3 Glândulas secretoras: (a) glândula secretora de Aviccenia; (b) pelos vesiculares de <i>Atriplex nummularia</i>	17

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	Objetivo Geral.....	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1	Cultivo de Jerusalém batateiro	8
3.2	Produção de Biocombustíveis	9
3.2.1	Bioetanol	10
3.2.2	Biodiesel	10
3.2.3	Produtos Bioquímicos	11
3.3	Alimentação Animal	11
3.4	Fitorremediação	12
3.5	Consumo Humano	14
3.6	Estresse Abiótico - Salinidade	15
3.7	Tolerância à Salinidade: Glicófitas x Halófitas	16
4	DELINEAMENTO METODOLÓGICO	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1	Biorrefinaria (Produção de Biocombustível).....	21
5.2	Aplicação Alimentícia	21
5.3	Fitorremediação.....	23
5.4	Estresse Salino	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
7	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Os vegetais, de maneira geral, necessitam de condições ideais para expressar suas atividades metabólicas. Os fatores edafoclimáticos podem causar prejuízos às plantas cultivadas, que, conseqüentemente, não encontram condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Em regiões áridas e semiáridas, fatores como estresse hídrico e salino são considerados os principais agravantes no crescimento vegetativo das culturas, comprometendo a produtividade e a qualidade da produção. Nesse contexto, a utilização de espécies vegetais que sejam adaptadas às condições salinas e deficiência hídrica tem grande relevância nestas regiões (XUE; LIU, 2008; SABRA et al., 2012; RUTTANAPRASERT et al., 2016; SILVA et al., 2017).

Algumas plantas apresentam diferentes mecanismos de tolerância à salinidade, tanto em nível de célula, como de planta como um todo, podendo ser de baixa ou alta complexidade. Esses mecanismos incluem: acúmulo seletivo ou exclusão de íons; controle na absorção dos íons pelas raízes e seu transporte para as folhas; compartimentalização dos íons no vacúolo; síntese de solutos compatíveis; mudanças na rota fotossintética; alteração na estrutura das membranas; produção de enzimas antioxidantes e hormônios vegetais (FLOWERS, 2004; NEGRÃO et al., 2017).

A alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus* L.) é uma cultura de alto valor econômico, associado a seu principal carboidrato de reserva, a inulina. Sendo assim, essa planta apresenta-se como matéria prima para a obtenção de inulina, oligofrutanos, frutose e etanol. Tolerante ao estresse hídrico e salino, é facilmente cultivada em áreas com excesso de sais e déficit hídrico, não comprometendo seu desenvolvimento, devido a mecanismos adaptativos ao estresse, como os acúmulos de solutos compatíveis e produção de compostos antioxidantes (ZHAO et al., 2008; DIAS et al., 2016; BHAGIA et al., 2018).

Os tubérculos da alcachofra de Jerusalém, ricos em inulina, principal matéria-prima, é o principal constituinte químico para a produção de fontes alternativas de energia (biocombustíveis) e alimentos da dieta humana (inulina). Por ser uma cultura de baixa exigência de insumos (irrigação, fertilização, controle de pragas e doenças), propicia uma fonte de renda para o produtor, gerando um sistema autossustentável

de exploração. Além disso, as demais partes constituintes da planta (raiz, caule, inflorescência e folhas) geram também diversos subprodutos ou derivados de interesse econômico (KAYS; NOTTINGHAM, 2008; DIAS et al., 2016; BHAGIA et al., 2017).

Por apresentar altas concentrações de inulina em seus tubérculos, a alcachofra de Jerusalém é recomendada em alimentos destinados a diabéticos. Classificada como fruto oligossacarídeo (FOS), a inulina é hidrolisada por enzimas digestivas, não havendo aumento das taxas glicêmicas nem dos níveis de insulina no sangue. Nessa condição, os estresses abióticos podem influenciar diretamente no maior acúmulo de inulina nos tubérculos, visto a necessidade da planta ajustar-se osmoticamente ao estresse (HAULY; MOSCATTO, 2002; OLIVEIRA et al., 2004; OLIVEIRA; CORRÊA, 2007; LUO et al., 2018; BHAGIA et al., 2018).

Efluentes industriais de várias indústrias, como corante, têxtil, papel, plástico e tinta, estão se tornando a fonte mais comum de poluição por metais no solo, o que é uma grande preocupação. As plantas absorvem metais pesados da área industrial, o que reduz a germinação de sementes, crescimento de brotos e raízes, clorose, murcha, redução no teor de clorofila, teor de proteína, além de reduzir a eficiência do processo fotossintético e várias atividades enzimáticas (EKMEKCI et al., 2009; FAHR et al., 2015; YANG; YIN 2015; KALAIVANAN; GANESHAMURTHY, 2016).

Para superar esse problema, a fitorremediação é uma alternativa inovadora, econômica e verde para a remediação de metais (KOŸMIŸSKA et al., 2018; AFONSO et al. 2019). Além disso, os métodos físicos e químicos são caros e muitas vezes alteram as propriedades do solo que não são adequadas para solo agrícola (VILLA et al., 2008; CHENG et al., 2016; YE et al., 2017). A principal limitação da fitoextração é o longo tempo necessário para remediação; durante este período, o solo tratado permanece improdutivo. Embora, *H. tuberosus* seja considerada como planta hiperacumuladora. Esta prática é conhecida recentemente como fitoatenuação e oferece a vantagem de equilibrar o longo tempo necessário para a remediação (MEERS et al., 2010; FIGLIOLI et al., 2019). *H. tuberosus* tem a capacidade de absorver, estabilizar e acumular as diferentes concentrações de metais pesados (AHMAD et al., 2011).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica sobre as aplicações biológicas da alcachofra de jerusalém (*H. tuberosus*) e mostrar sua resposta ao fator estressante a solos salino.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o uso da Alcachofra de Jerusalém para produção em biorrefinarias;
- Relatar a importância de *H. tuberosus* na produção de produtos bioquímicos;
- Discutir aplicação da Alcachofra de Jerusalém para o uso na alimentação humana e de suínos;
- Comprovar o uso de *H. tuberosus* na fitorremediação de cádmio e mercúrio;
- Comparar o potencial de *H. tuberosus* ao estresse abiótico salino.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CULTIVO DE JERUSALÉM BATATEIRO (*H. tuberosus* L.)

A alcachofra de jerusalém (*H. tuberosus* L.) é originária da América do Norte, e acredita-se que seja uma das mais antigas culturas cultivadas no hemisfério Norte. A primeira menção relatada na história sobre o cultivo da alcachofra de jerusalém foi descrita pelo explorador francês Samuel de Champlain, quando o mesmo descreveu o uso da planta por índios norte-americanos (BOURNE, 1906; KAYS; NOTTINGHAM, 2008). Por apresentar uma ampla adaptabilidade ecológica, a alcachofra de jerusalém atualmente está disseminada em todo mundo. Nos Estados Unidos, Canadá, Europa e Ásia ela é cultivada nas mais diversas condições de clima e solo. (LONG et al., 2014; DIAS et al., 2016; BHAGIA et al., 2017).

De acordo com a taxonomia hierárquica, a alcachofra de jerusalém ocupa a seguinte posição sistemática: Reino: Plantae; Divisão: Magnoliophyta; Grupo: Monocotyledoneae; Classe: Magnoliopsida; Ordem: Asterales; Família: Asteraceae (Compositae), a qual contém cerca de 476 gêneros e uma variação de aproximadamente 49 à 70 espécies; Gênero: *Helianthus* L. Espécie: *Helianthus tuberosus* L. (KAYS; NOTTINGHAM, 2008).

Morfologicamente, as plantas de alcachofra de Jerusalém (Figura 1) possuem sistema radicular fibroso, constituído por raízes adventícias, onde as mesmas são formadas secundariamente através da degeneração da raiz primária e que não se originam a partir da radícula do embrião (ALLA et al., 2014). Os tubérculos representam os principais propágulos reprodutivos e principal órgão de reserva. Tubérculo do tipo caulinar hipógeo, onde o órgão vegetal encontra-se no solo e apresenta crescimento subterrâneo (KAYS; NOTTINGHAM, 2008;).

Sua estrutura caulinar pode chegar a três metros ou mais de altura, embora existam híbridos de porte menor (ZUBR; PEDERSEN, 1993). As folhas são caulinares, compostas por um eixo central com ramos e folhas, inicialmente opostas, mas alternando em diferentes distâncias da base. Apresentam folhas de lanceoladas a ovaladas, variando entre espécies. As flores ocorrem isoladas ou em grupos nas extremidades do caule e ramos axilares. Cada inflorescência é composta de pequenas flores tubulares amarelas (NOTTINGHAM, 2008).

Figura 1. *H. tuberosus* (alcachofra de Jerusalém)



Fonte: http://www.pierinodelvo.com/Helianthus_EN.html

Fisiologicamente, a alcachofra de jerusalém é uma planta de metabolismo fotossintético do tipo C3. Sob condições não estressantes, folhas expandidas e variações de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFF), elevados valores de fotossíntese, em luz saturante, foram mensurados em suas folhas, chegando a $18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (SAENGTHONGPINIT; SAIJAANANTAKUL, 2005; YAN et al., 2012).

3.2 PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

As questões ambientais e o esgotamento dos recursos fósseis levaram a uma maior atenção focada nas fontes renováveis de energia e bioquímicos. *H. tuberosus L.* é rica em inulina e oferece uma opção econômica para a produção de bioenergia e produtos bioquímicos. O plantio desta cultura resistente à seca também pode

contribuir para a melhoria da conservação do solo e da água em áreas desertificadas (BALDINI et al. 2004).

Os tubérculos de alcachofra de jerusalém acumulam altos níveis de polissacarídeos (inulina) durante seu crescimento contendo (p/p) 68–83% de frutanos com o componente não polissacarídeo compreendendo 15–16% de proteínas, 13% de fibra insolúvel e 5% de cinzas (RAZMOVSKI et al. 2011). O interesse pela alcachofra de jerusalém como matéria-prima para a produção de biorrefinarias decorre do alto rendimento de tubérculos (até 90 t/ha) resultando em 5 a 14 toneladas de carboidratos/ha e da facilidade de cultivo.

A alcachofra de jerusalém é adequada para a produção de produtos bioenergéticos a granel e uma variedade de produtos químicos intermediários de alto valor agregado, com pequenos investimentos em termos de produtos químicos e energia. A fermentação da *H. tuberosus L* também resulta em uma variedade de subprodutos valiosos, incluindo polpa que pode ser usada como ração animal, concentrados de proteína e fertilizante líquido para culturas. O valor econômico dos subprodutos de ração animal e fertilizantes agrícolas é um fator chave na viabilidade econômica do uso de *H. tuberosus L* como uma cultura energética.

Quando a alcachofra de jerusalém é usada para fermentação, ela é primeiro convertida em açúcares fermentáveis por hidrólise ácida ou enzimática. A hidrólise ácida é o método original para obter açúcares fermentescíveis a partir de matérias-primas *H. tuberosus L*, usando altas concentrações de ácido em baixas temperaturas ou baixas concentrações de ácido em altas temperaturas. BARTHOMEUF et al. (1991) relataram que a hidrólise ácida da inulina gera alguns produtos coloridos, como anidridos de frutose. RAZMOVSKI et al. (2011) mostraram que a hidrólise ácida em temperatura mais alta e maior tempo de retenção aumentou a degradação de frutano em frutose. Conseqüentemente, isso resultou em concentração elevada de 5-hidroximetilfurfural (HMF) que inibe a produção de etanol de *Saccharomyces cerevisiae* em 0,2 g/l.

3.2.1 Bioetanol

Os tubérculos de alcachofra de Jerusalém são uma matéria-prima alternativa promissora para produção de bioetanol, pois o rendimento de etanol a partir dos tubérculos da alcachofra de jerusalém é equivalente ao obtido a partir de beterraba

sacarina e o dobro do milho (RAZMOVSKI et al. 2011). O rendimento máximo de etanol foi obtido usando *S. cerevisiae* Z-06 e *Aspergillus niger* SL-09 (GE e ZHANG 2005). *S. cerevisiae* utilizou 98 % do açúcar total e produziu 155 g etanol/l em 48 h.

3.2.2. Biodiesel

Comparado com o bioetanol, o biodiesel tem maior poder calorífico e menor absorção de água, podendo ser usado diretamente em veículos sem modificação do motor. A microalga *Chlorella protothecoides* e as espécies bacterianas *Rhodospiridium toruloides* e *Rhodotorula mucilaginosa* têm sido usadas para acumular óleos unicelulares de extratos de *H. tuberosus*. Com base no estudo de CHENG et al. (2009), uma fonte lipídica de carbono taxa de conversão de cerca de 25% sugere um rendimento de diesel de microalgas de 1–3,75 t/ha *H. tuberosus*, o que é muito superior à produção de biodiesel a partir das oleaginosas (630 kg/ha) e soja (540 kg/ha).

No entanto, as microalgas têm apresentado alguns problemas associados às suas condições de crescimento em sistemas de biorreatores. Estes estão relacionados a requisitos de luz e grandes áreas. Além disso, a necessidade de um fornecimento de dióxido de carbono e água doce eleva os custos de produção. Devido ao seu maior crescimento da taxa e a simplicidade de seus métodos de cultura, bactérias podem apresentar vantagens para a produção de biodiesel em comparação com microalgas. *R. toruloides* e *R. mucilaginosa* ambos acumulam óleo em até 57% (p/p) (ZHAO et al. 2010a, b).

3.2.3 Produtos bioquímicos

A alcachofra de jerusalém é adequada para a produção de uma seção transversal diversificada de intermediário de alto valor agregado produtos químicos, como 2,3-butanodiol, ácido lático, butírico ácido, butanol, acetona, ácido succínico, ácido acético e sorbitol, com menos investimentos que os demais fontes tradicionais de carbono.

A concentração máxima de 2,3-butanodiol (92 g/l) foi obtida por *Klebsiella pneumoniae* de tubérculos *H. tuberosus* durante a fermentação descontínua. Um número de *Lactobacillus* sp. pode formar ácido lático da inulina. O nível mais alto de

ácido L-láctico (141,5 g/l) foi obtido usando *Lactobacillus* sp. G-02 (GE et al. 2010). Espécies de *Clostridium* como *C. tyrobutyricum*, *C. butyricum*, *C. populeti* e *C. thermobutyricum* podem fermentar inulina em ácido butírico. HUANG et al. (2011) adotaram um leite fibroso biorreator com *C. tyrobutyricum* imobilizado para produzir ácido butírico com uma relação butirato/acetato de 85 g/g.

A biomassa derivada de alcachofra de jerusalém também pode ser convertida em butanol e acetona por *Clostridium* sp. cepas (MONTROYA et al. 2001), ácido succínico e acético ácido por *Clostridium thermosuccinogenes* (Sridhar e Eiteman 1999), e sorbitol por *S. cerevisiae* ATCC 36859 (DUVNJAK et ai. 1991).

3.3 ALIMENTAÇÃO ANIMAL

H. tuberosus, conhecida como tupinambo ou girassol-batateiro, é uma planta herbácea, pertencente à família Asteraceae, cuja origem é a América do norte, desenvolvendo-se bem em diferentes ambientes. Sua utilização destina-se principalmente para ração animal, sendo utilizadas as partes aéreas para essa finalidade, e em menor escala para alimentação humana, aspirando seu carboidrato de reserva, a inulina, pois esse por não sofrer ação das enzimas digestivas na primeira porção do intestino, não aumentam a glicemia, sendo ideais para pacientes com diabetes (OLIVEIRA e CORRÊA, 2007).

A alcachofra de jerusalém tem apresentado um interesse curioso em relação à produção, processamento e sua utilização, devido ao seu carboidrato de reserva, a inulina e também a utilização de sua parte aérea, rica em proteína, gordura e pectina, para a alimentação animal. Dessarte, essa planta apresenta-se como matéria-prima potencial para obtenção de inulina, oligofrutanos, frutose, etanol e ração (WENDLING et al., 1999).

Uma forma de fazer a utilização eficientemente das fontes de proteína vegetal é transformá-las em concentrados de proteína. Contudo, não obstante sua utilidade para eliminar ou diminuir os níveis de fatores antinutricionais e inibidores enzimáticos (LINDEN; LORIENT, 1996).

3.4 FITORREMEDIAÇÃO

A poluição por metais pesados tornou-se um dos problemas ambientais mais sérios na Índia e no mundo (TCHOUNWOU et al., 2012; TÓTH et al., 2016). De acordo com a Agência de Proteção Ambiental (EPA), 8 metais pesados como Pb, Cd, Cu, Cr, As, Hg e Ni são listados como os metais pesados mais difundidos no meio ambiente (WANG et al., 2005; ARULIAH et al., 2019). Alta toxicidade, não biodegradabilidade e acúmulo na cadeia alimentar tornam os metais pesados perigoso para o meio ambiente e a saúde humana (SINGH et al., 2011; ALI et al., 2013). As principais fontes de contaminação por metais no solo são processos industriais, efluentes farmacêuticos, mineração e fundição de minérios metalíferos, lixiviados de aterros sanitários, fertilizantes e pesticidas (SUN et al., 2018).

Efluentes industriais de várias indústrias, como corante, têxtil, papel, plástico e tinta, estão se tornando a fonte mais comum de poluição por metais no solo, o que é uma grande preocupação para a Índia e outros países em desenvolvimento (JAISHREE, 2015; RYZHENKO et al., 2017) . Sem tratamento dos efluentes, essas indústrias despejam os efluentes nos rios e terrenos próximos. Assim, o metal pesado do solo contaminado industrial entra na cadeia alimentar através das plantas (FYTIANOS et al., 2001; MUCHUWETI et al., 2006). As plantas absorvem metais pesados da área industrial, o que reduz a germinação de sementes, crescimento de brotos e raízes, clorose, murcha, redução no teor de clorofila, teor de proteína, além de reduzir a eficiência do processo fotossintético e várias atividades enzimáticas (EKMEKCI et al., 2009; FAHR et al., 2015; YANG; YIN 2015; KALAIVANAN; GANESHAMURTHY, 2016).

Para superar esse problema, a fitorremediação é uma alternativa inovadora, econômica e verde para a remediação de metais (KOYMIYSKA et al., 2018; AFONSO et al., 2019). Além disso, os métodos físicos e químicos são caros e muitas vezes alteram as propriedades do solo que não são adequadas para o solo agrícola (VILLA et al., 2008; CHENG et al., 2016; YE et al., 2017). A principal limitação da fitoextração é o longo tempo necessário para remediação; durante este período, o solo tratado permanece improdutivo. Embora a *H. tuberosus* seja considerada como planta hiperacumuladora, possibilita valorizá-la para usos alternativos como cultivo ornamental e biocombustível (OH et al. 2013). Esta prática é conhecida recentemente

como feita atenuação e oferece a vantagem de equilibrar o longo tempo necessário para a remediação (MEERS et al.2010; FIGLIOLI et al., 2019). *H. tuberosus* tem a capacidade de absorver, estabilizar e acumular as diferentes concentrações de metais pesados (AHMAD et al., 2011).

3.5 CONSUMO HUMANO

Com o crescimento da população com diabetes, e com a morte de seus representantes, a saúde pública tem sido afetada com tamanha intensidade. Em 2016, a Organização Mundial de Saúde (OMS) (GENEBRA, 2016). estimou que quase 422 milhões de adultos vivem com diabetes, isso confere um aumento global de 4,7% em 1980 para 8,5% em 2015. Seus riscos aumentam progressivamente em pessoas sedentárias fazendo com que a produção natural de glicose já não seja suficiente para suprir sua necessidade, precisando assim ser submetido ao uso da insulina. (PETERSEN, 2003).

O consumo do pó de *H. tuberosus* para o controle glicêmico vai de acordo com o horário de sua ingestão, podendo ser ingerido pela manhã ou pela noite, com resultados positivos para ambos os horários, porém quando tomado pela manhã vê-se uma significância na diminuição do nível de glicose, quando tomado à noite essa significância já não é tanto observada, isso provavelmente se deve ao tempo em jejum, além do jejum tem uma variação circadiana metabólica que pode estar envolvida no café da manhã. (PAN, 2009).

Em um estudo foi também descoberto que as variações circadianas estão presentes na composição da microbiota intestinal. (HUBERT, 2015.; ZARRINPAR, 2014). A ingestão pela manhã do pó de *Helianthus tuberosus* é mais eficaz no intestino. Foi usada uma técnica metagenômica em pacientes saudáveis e foi revelado que a maioria das bactérias no intestino grosso e no reto são de dois filos Bacteroidetes e Firmicutes. (NELSON, 2006).

Seguindo com a ingestão matinal do pó de *H. tuberosus* há também melhorias na constipação. Sendo diluído na água tem um efeito benéfico no aumento de glicose no sangue a fim de promover o crescimento de bactérias benéficas, sendo usado

como fonte de nutrientes. (WEICKERT, 2018). Em contrapartida tem a fibra dietética insolúvel que traz uma melhoria no movimento intestinal, crescendo a quantidade de fezes e elevando o nível peristaltismo intestinal. (DUKAS, L.; WILLETT, 2003).

3.6 ESTRESSE ABIÓTICOS - SALINIDADE

Os estresses abióticos têm se constituído em umas das principais limitações impostas às culturas agrícolas, que conseqüentemente vem provocando reduções no seu potencial produtivo. A utilização de fontes hídricas alternativas (salinas ou residuárias), tem se tornado uma prática viável para fornecimento de água na agricultura, perante a forte escassez hídrica no semiárido. Entretanto, informações sobre estratégias de manejo desses recursos e culturas alternativas com adaptabilidade a águas salinas são escassas. Devido a isso, impactos ambientais podem ser intensificados, degradando o solo através da sua salinização. Associado a essas condições, a maioria das plantas desenvolveram mecanismos de tolerância, a esses processos considerados ofensivos para o seu melhor desenvolvimento (ZHAO et al., 2006; ZHAO et al., 2008; GENGMAO et al., 2010).

A espécie *H. tuberosus* L., conhecida como Jerusalém Batateiro, é uma cultura cultivada em regiões semiáridas do mundo, tem-se mostrado uma cultura adaptada a ambientes salinizados e de seca. Alguns estudos mostram que fisiologicamente, plantas de Jerusalém Batateiro podem tolerar o excesso de sais através de diversos mecanismos adaptativos ao estresse, como o ajustamento osmótico, a seletividade na absorção de íons e a capacidade de produzir compostos antioxidantes. Os autores ressaltam uma maior concentração de sais na parte aérea da planta (LONG et al., 2010b; DIAS et al., 2016).

A acumulação de solutos compatíveis no citoplasma, é um mecanismo desenvolvido pela planta para manutenção do estado de turgência celular, mantendo o equilíbrio hídrico entre vacúolo e citoplasma, através do acúmulo de carboidratos solúveis, prolina livre, aminoácidos livres e proteínas solúveis (WILLADINO; CÂMARA, 2010; SACRAMENTO et al., 2014; TAIZ et al., 2017). Por ser um carboidrato solúvel e osmoticamente ativo, a inulina tem papel importante na osmorregulação celular, auxiliando na tolerância da planta ao estresse. A planta pode alterar o potencial osmótico da célula, ocasionado por mudanças no grau de polimerização das moléculas de inulina através da hidrólise, sem alterar a quantidade

total de carboidratos (BOECKNER et al., 2001; PANCHEV et al., 2011; DIAS et al., 2016; LI et al., 2017; MAICAURKAEW et al., 2017).

Os solos afetados por sais, comumente chamados de solos halomórficos ou solos salinos e sódicos, são predominantemente oriundos do Semiárido Nordeste e caracterizados pelo acúmulo de sais solúveis no solo que são danosos à planta e as propriedades químicas e físicas do solo. A formação de solos salinos está diretamente associada a causas naturais ou antrópicas, influenciada por fatores locais, tais como a presença de sais solúveis, baixa qualidade das fontes hídricas, condições imperfeitas de drenagem, baixa precipitação pluviométrica e elevada evapotranspiração (MOTA et al., 2012; MEDEIROS et al., 2016; RIBEIRO et al., 2016).

No Brasil, a salinização tem sido estudada devido à extensa área do semiárido existente, onde predominam solos jovens, rasos, pedregosos e muitas vezes ricos em elementos químicos. Na região Nordeste, solos degradados pela salinidade e sodicidade aumentam devido ao uso de água com qualidade inadequada e sistemas de irrigação planejados de forma equivocada (RIBEIRO et al., 2016).

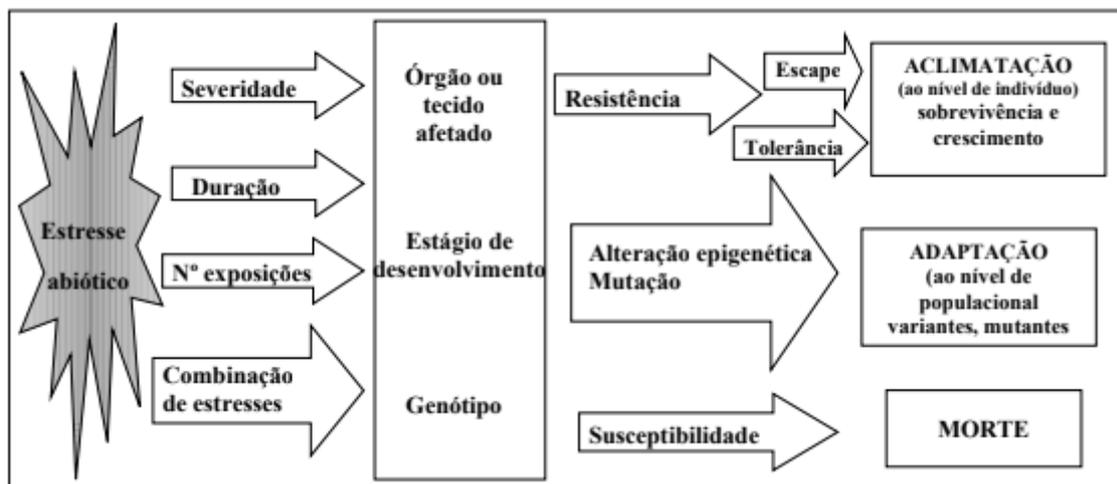
O semiárido brasileiro é caracterizado pela sua má distribuição espacial e temporal das chuvas, vivenciando assim, o estigma da estiagem e seca, em virtude de irregularidades pluviométricas. A escassez dos recursos hídricos tem impulsionado a busca por fontes alternativas, como águas salinas e residuárias. Tais fontes, muitas vezes de baixa qualidade e altas concentrações de sais solúveis, podem ser aplicadas na agricultura irrigada após tratamento adequado (SANTOS; BRITO, 2016; FONSECA et al., 2019; HUSSAIN et al., 2019). O manejo inadequado dessas fontes hídricas pode acelerar processos degradativos do solo, como sua salinização (LIMA et al., 2017).

3.7 TOLERÂNCIA À SALINIDADE: GLICÓFITAS X HALÓFITAS

A capacidade para sobreviver ao estresse é regida por mecanismos que conferem resistência e podem ser escape ou tolerância. Os mecanismos de escape envolvem reduzida atividade metabólica, levando a um estado de dormência. São aqueles que evitam a exposição ao estresse. Os mecanismos de tolerância, por sua vez, envolvem alta atividade metabólica sob estresse moderado, e baixa sob estresse severo, permitem a planta suportar o estresse (OSMOND, 1987; BRAY et al., 2000;

CAMARA & WILLADINO, 2005). Características da planta, incluindo identidade do órgão ou tecido, estágio de desenvolvimento e genótipo influenciam a resposta ao estresse (Figura 2).

Figura 2. Respostas das plantas ao estresse abiótico em relação às características do estresse e da planta.



Fonte: Adaptado de WILLADINO & CAMARA, 2004.

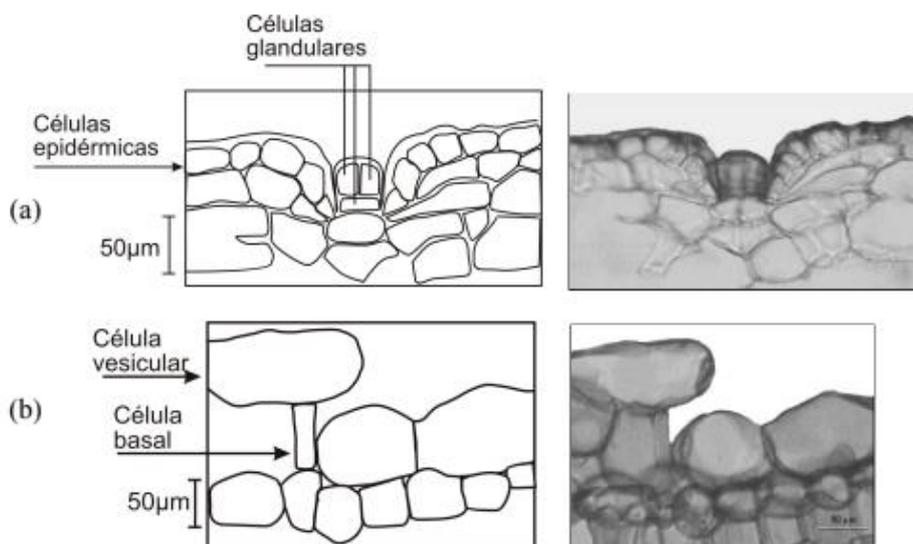
Uma planta pode ter vários mecanismos de tolerância e escape, ou uma combinação de ambos. Os mecanismos de resistência constitutivos expressam-se independente da planta estar sob estresse, eles constituem as adaptações. São progressos evolucionários que melhoram a adequação ambiental de uma população de organismos. Por outro lado, o ajuste de um organismo individual em resposta a variações de fatores ambientais constitui os mecanismos de resistência conhecidos como aclimatação (BRAY et al., 2000). Durante a aclimatação um organismo altera sua homeostase para se acomodar a mudanças ambientais externas. A aclimatação é uma resposta fenotípica a diferentes combinações de características ambientais (NILSEN E ORCUTT, 1996). A adaptação ao nível populacional, ou a aclimatação, ao nível de uma planta individual, ocorre por meio da combinação de processos comportamentais, morfológicos, anatômicos, fisiológicos e bioquímicos que, por sua vez, dependem de processos moleculares (GASPAR et al., 2002).

As respostas ao estresse salino variam amplamente dependendo do genótipo da planta. Enquanto algumas espécies apresentam elevada tolerância à salinidade, outras são altamente susceptíveis. As plantas podem ser classificadas como halófitas,

aquelas que se desenvolvem naturalmente em ambientes com elevadas concentrações salinas (tipicamente Na^+ e Cl^-) e, glicófitas, as que não são capazes de se desenvolver em ambientes com elevadas concentrações salinas. A maioria das glicófitas apresenta redução no crescimento quando a salinidade supera 10 mM, enquanto que as halófitas crescem em ambientes nos quais a concentração salina varia de 50 a 500 mM (ORCUTT & NILSEN, 2000). Em termos de potencial da água, as halófitas possuem a capacidade de crescer em substratos cujo potencial oscila entre -1,0 e -2,5 MPa e, em condições extremas, a -5,0 MPa (WILLADINO & CAMARA, 2004).

Muitas halófitas apresentam mecanismos de exclusão de Na^+ e Cl^- em estruturas morfológicas como glândulas secretoras e pêlos vesiculares (FERNANDES et al., 2010). As glândulas secretoras são estruturas presentes na epiderme e consistem de células basais altamente cutinizadas, enquanto que, as células excretoras propriamente ditas apresentam-se, praticamente, livres de cutina. As glândulas secretoras eliminam ativamente os sais presentes nas folhas (Figura 3a). Os pêlos vesiculares (Figura 3b), que são células epidérmicas modificadas, geralmente acumulam sais no protoplasto e morrem e, em seguida, são substituídos por novos pêlos. Outra alternativa de dessalinização é a abscisão de folhas velhas que acumulam consideráveis quantidades de sal.

Figura 3: Glândulas secretoras: (a) glândula secretora de *Avicennia*; (b) pelos vesiculares de *Atriplex nummularia*.



Fonte: Adaptado de WILLADINO & CAMARA, 2004.

As halófitas, devido a suas altas taxas de absorção e acumulação de sais nos tecidos, sobretudo na parte aérea, apresentam a habilidade de extrair sais do solo. A fitorremediação é uma eficiente estratégia de recuperação de solos salinos e sódicos tanto pela remoção consideráveis de sais quanto pela melhoria da estruturação do solo e incremento da atividade biológica quando as plantas são introduzidas em áreas sem cobertura vegetal (FREIRE, et al., 2010).

4 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

O levantamento dos dados ocorreu durante o mês de março de 2022 nas seguintes bases de dados e bibliotecas virtuais: Google Scholar; Índice Bibliográfico Español en Ciencias de la Salud (IBECS); Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS); Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE); e Scientific Electronic Library Online (SciELO).

Para a seleção dos artigos, utilizaram-se como critérios de inclusão: ser artigo original, disponível na íntegra, publicado nos últimos 11 anos (2011-2022), publicado em português ou inglês. Foram excluídas as literaturas cinzas (revisões, teses, dissertações, etc.), bem como publicações repetidas de estudos em mais de uma base de dados ou biblioteca virtual e os artigos que não responderam à questão norteadora do estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 BIORREFINARIA (PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL)

O potencial da alcachofra de Jerusalém como matéria prima para uso em biorrefinaria vem sendo investigado. Neste sentido, GUNNARSSON et al. (2014) investigaram a produtividade de biomassa e composição química de 11 clones diferentes desta planta, colhidos em três ocasiões durante o outono e início do inverno de 2011. Assim, os resultados obtidos pelos autores mostraram que a produção de celulose por hectare foi pelo menos o dobro em comparação com palha de milho, palha de arroz, bagaço de cana e palha de trigo, mostrando alto potencial de produção de bioetanol de alcachofra de Jerusalém. A produtividade da biomassa fresca de tubérculos apresentou grandes variações entre safras, onde a produtividade média máxima em dezembro foi 3,4 vezes maior do que em setembro. O teor de inulina nos tubérculos secos estava entre 76 e 85%. Plantas menos maduras mostraram ter grau de polimerização (DP) de até 14, o que torna a biomassa útil como fibra alimentar, enquanto a DP da inulina em tubérculos colhidos posteriormente tornou-se tão baixa quanto 6, mostrando menor potencial em relação à utilização da planta para fins alimentares. Desta maneira, os resultados obtidos demonstraram claramente que a época de colheita foi um fator importante que afetou a produtividade e composição da biomassa.

A produção de biocombustíveis pode ser diretamente afetada pelas condições metodológicas do bioprocessamento, além da capacidade produtiva da planta. Neste sentido, um estudo analisou os tubérculos e talos da alcachofra de Jerusalém como um potencial bioenergético avaliando as eficiências dos pré-tratamentos químicos (usando álcali ou ácido) no bioprocessamento consolidado para a produção de bioetanol pela fermentação realizada pelo fungo *Kluyveromyces marxianus*. Embora o teor de celulose, a deslignificação e a eficiência da hidrólise enzimática dos talos pré-tratados foram aumentados mais efetivamente pelo tratamento com NaOH do que pelo tratamento com H₂SO₄ diluído, a perda de peso foi maior durante o pré-tratamento alcalino. Além disso, grandes volumes de água foram necessários para lavar a biomassa tratada com álcali. Portanto, os autores realizaram o bioprocessamento consolidado usando os talos pré-tratado com ácido diluído e o tubérculo moído. A fermentação de caules e tubérculos pré-tratados por *K. marxianus* sem

suplementação de nutrientes ocorreu de forma aceitável. O rendimento de etanol foi de 0,252 g de etanol por g de biomassa seca, ou 0,32 g de etanol por g de açúcares fermentáveis, com uma taxa de conversão de açúcar fermentável de 60% (KIM; KIM, 2014).

5.2 APLICAÇÃO ALIMENTÍCIA

Alguns estudos investigaram o uso da alcachofra de Jerusalem na dieta animal e humana. As contribuições nutricionais do forrageamento ao ar livre, crescimento, conversão alimentar e comportamento foram investigados em 36 suínos em crescimento forrageando a planta supracitada e alimentados com concentrados restritos (30% das recomendações energéticas) ou *ad libitum*. Em comparação com os porcos alimentados *ad libitum*, os porcos alimentados de forma restrita tiveram um ganho diário significativamente menor, taxa de conversão alimentar melhorada e gasto mais tempo forrageando tubérculos da planta. Estima-se que suínos alimentados de forma restrita encontraram aproximadamente 60% de sua necessidade energética de forrageamento na área de pastagem (KONGSTED; HORSTED; HERMANSEN, 2013).

A alcachofra de Jerusalém (*H. tuberosus* L.) recentemente atraiu interesse como uma forma barata de biomassa. Como alimento, os tubérculos da planta possuem sabor característico e ingredientes funcionais. Por conveniência de consumo e para evitar a degradação da fração de alto peso molecular da inulina, o estudo examinou métodos de preparação de batata chips de tubérculos secos. As batatas fritas continham inulina, outras fibras alimentares e uma pequena quantidade de polifenol. A alta atividade da polifenol oxidase em tubérculos crus sugeriu que o branqueamento por mais de 2 minutos seria necessário para manter a palidez dos tubérculos durante a secagem. Os tubérculos secos tiveram considerável capacidade de retenção de água em baixas temperaturas e atividade de redução de viscosidade na pasta de amido de batata durante o aquecimento. Esses resultados sugeriram que os tubérculos de alcachofra de Jerusalém podem ser mais amplamente utilizados na indústria alimentícia como modificador funcional de outros materiais (TAKEUCHI; NAGASHIMA, 2011).

Assim como mencionado anteriormente como possível aplicação como modificador funcional de alimentos, OZER (2019) investigou os efeitos do pó de alcachofra de Jerusalém (JAP) na qualidade e estabilidade de armazenamento de salsicha fermentada. Para tanto, houve a substituição da gordura bovina adicionada por JAP durante a fabricação das salsichas. A substituição da gordura bovina por JAP resultou em diminuição significativa na oxidação lipídica e aumento no teor de umidade e proteína nas salsichas durante a fermentação e armazenamento. A adição de JAP diminuiu os valores de dureza e aumentou a adesividade. Assim, o uso do pó dessa planta estimula o desenvolvimento de bactérias lácticas e afetou positivamente suas contagens durante a fermentação. Assim, o trabalho concluiu que os fabricantes de produtos de carne devem considerar a substituição da gordura da carne bovina por até 25% de pó de alcachofra de Jerusalém na produção de salsichas fermentadas com baixo teor de gordura para aumentar os efeitos nutricionais positivos, como menor teor de gordura e energia da carne e rica fibra dietética e melhorar a vida útil da salsicha.

5.3 FITORREMEDIAÇÃO

A versatilidade do uso biotecnológico da alcachofra de Jerusalem também inclui sua capacidade de fitorremediação. Por exemplo, CHEN et al. (2011) testaram duas cultivares de alcachofra de Jerusalém, N2 e N5, as quais foram submetidas a seis concentrações de cádmio (Cd) (0, 5, 25, 50, 100 e 200 mg L⁻¹) para investigar a tolerância e acúmulo de Cd. Após 21 dias de crescimento, foram avaliados os efeitos do Cd no crescimento, teor de clorofila, taxa fotossintética líquida, concentração de CO₂ intercelular e teor de malondialdeído. A maioria dos parâmetros de crescimento foram reduzidos sob estresse por Cd. As duas cultivares apresentaram tolerância e capacidade de acúmulo relativamente alta de Cd (> 100 mg kg⁻¹), sendo N5 mais tolerante e com maior acúmulo de Cd do que N2. As raízes acumulam mais Cd do que caules e folhas. Desta maneira, os resultados obtidos pelos autores sugeriram que a alcachofra de Jerusalém pode ser cultivada em cargas relativamente altas de Cd, e o N5 pode ser um excelente candidato para fitorremediação de solos contaminados com Cd.

O potencial de fitorremediação da alcachofra de Jerusalém vem sendo investigado frente a outros elementos químico também considerados contaminantes ambientes. Assim, LV et al. (2018) avaliaram os efeitos do estresse por mercúrio no crescimento, fotossíntese e acúmulo de mercúrio em diferentes cultivares de da alcachofra de Jerusalém, e selecionaram cultivares apropriadas quanto à sua eficácia na fitorremediação de solo contaminado por mercúrio (Hg^{2+}). As cultivares LZJ033 (alto teor de biomassa e nutrientes acima do solo e forte reprodução sexuada) e LZJ119 (longo período de crescimento vegetativo) exibiram mais tolerância ao estresse por mercúrio do que LZJ047 (maior produção de tubérculos e teor total de açúcar). As linhagens LZJ119 e LZJ047 apresentaram atrasos no tempo de emergência de cerca de quatro semanas, e LZJ047 apresentou a maior taxa de mortalidade, 85,19%, sob tratamento com 10 mg kg^{-1} de mercúrio. A taxa fotossintética líquida e o teor de clorofila, por exemplo, diminuíram em resposta ao estresse por mercúrio. O diâmetro do caule, a biomassa do caule e a taxa fotossintética da alcachofra de Jerusalém mostraram alguns aumentos modestos em resposta ao estresse por mercúrio. No geral, LZJ119 produziu mais biomassa sob estresse de mercúrio, enquanto LZJ033 exibiu uma maior capacidade de bioacumulação de mercúrio. Conseqüentemente, LZJ119 pode ser um bom candidato para uso em casos de contaminação moderada a baixa por mercúrio, enquanto LZJ033 pode ser um candidato melhor sob condições de alta contaminação por mercúrio. Além disso, os autores verificaram que quando a alcachofra de Jerusalém foi cultivada em solo contaminado com mercúrio, ela não apenas removeu o mercúrio do solo, mas também produziu grandes quantidades de tubérculos e brotos que poderiam ser usados como matéria-prima para a produção de bioetanol.

5.4 ESTRESSE SALINO

O estudo de LONG et al. (2010) estudou as mudanças fisiológicas de duas cultivares de alcachofra de Jerusalém (*H. tuberosus*), na qual eles chamaram N1 para a sexta geração cultivada com 75% de irrigação com água do mar por seis anos e N7 se referia à uma variedade geral, os experimentos foram conduzidos sob diferentes concentrações (0%, 10% e 25% de concentração de água do mar em casa de vegetação e 0%, 30% e 50% de concentração de água do mar no campo) de estresse salino da água do mar. No experimento em casa de vegetação, houve diminuição da

taxa de crescimento seco, mas aumento da porcentagem de matéria seca e lesão de membrana ocorreu em ambos os genótipos nos tratamentos com água do mar de 10% e 25%, embora menor dano da membrana celular tenha sido observado em N1 do que N7. N1 acumulou maiores teores de Na^+ , Cl^- , açúcar solúvel e prolina nas folhas em comparação com N7. No experimento de campo, os rendimentos de parte aérea, raiz e tubérculo e os teores de açúcar total e inulina nos tubérculos de N1 foram superiores aos de N7. O menor grau de lesão salina em N1 indicou que a cultivar relativamente tolerante ao sal apresentou maior razão K^+/Na^+ , menor razão $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ e o aumento do ajuste osmótico induzido pelo sal.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A alcachofra de Jerusalém é de interesse específico devido ao seu alto teor de inulina e proteína nos tubérculos.
- Alcachofra de Jerusalém inteira pode representar uma fonte de carboidrato e nitrogênio para fermentação de bioetanol sem necessidade de adição de nutrientes suplementares.
- Os tubérculos de alcachofra de Jerusalém podem ser utilizados na indústria alimentícia modificando a composição de alimentos para melhorar sua estabilidade e conservação.
- A planta pode acumular metais pesados considerados contaminantes ambientais sem sofrer danos a sua fisiologia e, assim, ter aplicação para fitorremediação.
- Alcachofra de Jerusalém é capaz de apresentar bons rendimentos na produção de tubérculos e não sofrer em seu crescimento quando cultivada em solos com elevada salinidade;
- Todas as propriedades biológicas e potencialidades para aplicações industriais, faz-se necessário realizar mais estudos que possam aumentar a comercialização da alcachofra de Jerusalém e sua rentabilidade para fins biotecnológicos. Além disso, ficou claro que a salinidade não é um fator estressante para o cultivo desta planta uma vez que essa característica em solos pode ser considerado um estresse abiótico para outras plantas.

7 REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. S.; ASHRAF M, HUSSAIN M. Phytotoxic effects of nickel on yield and concentration of macro-and micro-nutrients in sunflower (*Helianthus annuus L.*) achenes. **J Hazard Mat**, v. 185, n. 2-3, p.1295–1303, 2011.
- ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, n. 7, p. 869–881, 2013.
- ALLA, N. A.; DOMOKOS-SZABOLCSY, É.; EL-RAMADY, H.; HODOSSI, S.; FÁRI, M.; RAGAB, M.; TAHA. H. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*): A review of in vivo and in vitro propagation. **International Journal of Horticultural Science**, v. 20, n. 3-4, p. 131-136, 2014.
- ARULIAH, R.; SELVI, A.; THEERTAGIRI, J.; ANANTHASELVAM, A.; KUMAR, K. S.; MADHAVAN, J.; RAHMAN, P. Integrated remediation processes towards heavy metal removal/recovery from various environments-a review. **Frontiers Environ Sci**, v. 7, p. 66, 2019.
- BHAGIA, S.; AKINOSHO, H.; FERREIRA, J.; RAGAUSKAS, A. Biofuel production from Jerusalem artichoke tuber inulins: a review. *Biofuel Research Journal*, Saint John, v. 4, n. 2, p. 587-599, 2017.
- BOECKNER, L. S.; SCHNEPF, M. I.; TUNGLAND, B. C. Inulin: a review of nutritional and health implications. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 43, p. 1-63, 2001.
- BOURNE, A. T. **The Voyages and Explorations of Samuel de Champlain (1604–1616)**. A. S. Barnes Co., New York, 1906. 308p.
- BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W. JONES, R.L. (eds). *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Rockville. **American Society of Plant Physiologists**, 2000. cap.22, p1158-1203.
- CAMARA, T.R.; WILLADINO, L. Compreendendo o estresse abiótico in vitro. In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.; CAVALCANTE, U.M.T. (eds). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife. MXM Gráfica e Editora. 2005. Parte.V, cap.29, p.325-335.

CAMARA, T.R.; WILLADINO, L.; TORNÉ, J.M.; RODRÍGUEZ, P.; SANTOS, M.A. **Efeito da putrescina e do estresse salino em calos de milho**. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v. 10, p. 153-156. 1998.

CHENG, Y.; ZHOU, W. G.; GAO, C. F. et al. Biodiesel production from Jerusalem artichoke (*Helianthus Tuberosus* L.) tuber by heterotrophic microalgae *Chlorella protothecoides*. **J Chem Technol Biotechnol**, v. 84, n. 5, p. 777–781, 2009.

CHENG, M.; ZENG, G.; HUANG, D. et al. Hydroxyl radicals based advanced oxidation processes (AOPs) for remediation of soils contaminated with organic compounds: a review. **Chem Eng J**, v. 284, p. 582–598, 2016.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. Cap. 9, p. 119-141.

DIAS, N. S.; FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUAREZ, D. L. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 1009-1024, 2016.

EKMEKCI, Y.; TANYOLAC, D; AYHAN, B. A crop tolerating oxidative stress induced by excess lead: maize. **Acta Physiol Plant**, v. 31, n. 2, p. 319–330, 2009.

FERNANDES, P.D.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, E. P.; MEDEIROS, S. S. Biossalinidade e produção agrícola. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.

FIGLIOLI, F. et al. Overall plant responses to Cd and Pb metal stress in maize: growth pattern, ultrastructure, and photosynthetic activity. **Environ Sci Pollut Res**, v. 26, n. 2, p. 1781–1790, 2019.

FREIRE, M. B. G.; SOUZA, E. R.; FREIRE, F. J. Fitorremediação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.

FYTIANOS, K. et al. Accumulation of heavy metals in vegetables grown in an industrial area in relation to soil. **Bull Environ Contamin Toxicol**, v. 67, p. 423–430, 2001.

GASPAR, T.; FRANCK, T.; BISBIS, B.; KEVERS, C.; JOUVE, L.; HAUSMAN, J.F.; DOMMES, J. Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. **Plant Growth Regulation**, v. 37, p. 263-285, 2002.

GE, X. Y.; ZHANG, W. G. A shortcut to the production of high ethanol concentration from Jerusalem artichoke tubers. **Food Technol Biotech**, v. 43, n. 3, p. 241–246, 2005.

GENGMAO, Z.; MEHTA, S. K.; ZHAOPU, L. Use of saline aquaculture wastewater to irrigate salttolerant Jerusalem artichoke and sunflower in semiarid coastal zones of China. **Agricultural Water. Management**, v. 97, n. 12, p. 1987-1993, 2010.

Helianthus tuberosus L., 2008. Disponível em:

<http://www.pierinodelvo.com/Helianthus_EN.html>. Acesso em: 6 de dezembro 2022.

JAISHREE, K. T. I. Assessment of heavy metals' risk on human health via dietary intake of cereals and vegetables from effluent irrigated land Jaipur District, Rajasthan. **Int J Inno Res Sci Engineer Technol**, v. 4, n. 7, p. 5142–5148, 2015.

KALAIVANAN D, GANESHAMURTHY AN (2016) Mechanisms of heavy metal toxicity in plants. **Abiotic Stress Physiol Horticult Crops**. Springer, New Delhi, pp 85–102.

KAYS, S. J, NOTTINGHAM, S. F. 2008. **Biology and chemistry of the Jerusalem Artichoke: *Helianthus tuberosus* L.** Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2008. 498p.

LONG, X. H.; HUANG, Z. R.; HUANG, Y. L.; KANG, J., ZHANG, Z. H., LIU, Z. P. Response of two Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) cultivars differing in tolerance to salt treatment. **Pedosphere**, v. 20, n. 4, p. 515-524, 2010.

MAICAKURKAEW, S.; JOGLOY, S.; HAMAKER, B. R.; NINGSANOND, S. Fructan: fructan 1-fructosyltransferase and inulin hydrolase activities relating to inulin and soluble sugars in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* Linn.) tubers during storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 3, p. 698-706, 2017.

Manejo da salinidade na agricultura. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.

MARIOD, A.A.; FATHY, S. F. E.; ISMAIL, M. Preparação e caracterização de concentrados protéicos de sementes desengorduradas de kenaf. **Food Chem**, v. 123, p. 747-752. 2010.

MEERS, E. et al. The use of bioenergy crops (*Zea mays*) for 'phytoattenuation' of heavy metals on moderately contaminated soils: a field experiment. *Chemosphere*, v. 78, p. 35–41, 2010.

MONTOYA D, et al. New solvent-producing *Clostridium* sp strains, hydrolyzing a wide range of polysaccharides, are closely related to *Clostridium butyricum*. **J Ind Microbiol Biotechnol**, v. 27, n. 5, p. 329–335, 2001.

MOTA, L. H. da S. de O.; GOMES, A. da SILVA; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. da. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1203-1210, 2012.

MUCHUWETI, M. et al. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. **Agr Ecosys Environ**, v. 112, p. 41–48, 2006.

NILSEN, E.T.; ORCUTT, D.M. The Physiology of Plants under Stress – Abiotic factors. **New York, John Wiley and Sons, Inc**, 1996.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.; CAVALCANTE, U.M.T. (eds). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife. MXM Gráfica e Editora. 2005. parte.II, cap. 10, p. 118-126.

OLIVEIRA, M.A; CORRÊA, D.A.G. **Desenvolvimento de *Helianthus tuberosus* (alcachofra de Jerusalém) por micropropagação e caracterização dos seus carboidratos de reserva**. Publicação UEPG, Ponta Grossa. Abr. 2007. RAUBER, J.L.P. Visitas de abelhas e produtividade do girassol (*Helianthus annuus* L.). Universidade federal da fronteira do sul, Cerro Largo, 2014. 34f.

ORCUTT, D.M.; NILSEN, E.T. Physiology of Plants Under Stress. **New York, John Willey & Sons**, 2000.

PANCHEV, I.; DELCHEV, N.; KOVACHEVA, D.; SLAVOV, A. Physicochemical characteristics of inulins obtained from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). **European Food Research and Technology**, v. 233, n. 5, p. 889-896, 2011.

PORTO E.R., AMORIM M.C.C., SILVA JUNIOR L.G.A. **Uso do rejeito dedessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 5, p. 111-114, 2001.

RAZMOVSKI, R.N., SCIBAN, M.B., VUCUROVIC, V.M. Bioethanol production from Jerusalem artichoke by acid hydrolysis. **Roman. Biotechnol. Lett.**, v. 16, p. 6497–6503, 2011.

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

RYZHENKO, N. O. et al. Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni phytotoxicity assessment. **Pol J Soil Sci**, v. 50, n. 2, 2017.

SAENGTHONGPINIT, W.; SAJJAANANTAKUL, T. Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 1, p. 93-100, 2005.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2016.

SINGH, R.; GAUTAM, N.; MISHRA, A.; GUPTA, R. Heavy metals and living systems: an overview. **Indian J Pharmacol**, v. 43, n. 3, p. 246–253, 2011.

SUN, Z.; XIE, X.; WANG, P.; HU, Y.; CHENG, H. Heavy metal pollution caused by small-scale metal ore mining activities: a case study from a polymetallic mine in South China. **Sci Total Environ**, v. 639, p. 217–227, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TCHOUNWOU, P. B.; YEDJOU, C. G.; PATLOLLA, A. K.; SUTTON, D. J. Heavy metal toxicity and the environment. **EXS**, v. 101 p. 1–30, 2012.

TÓTH, G.; HERMANN, T.; SZATMÁRI, G.; PÁSZTOR, L. Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. **Sci Total Environ**, v. 565, p. 1054–1062, 2016.

VILLA, R. D.; TROVO, A. G.; NOGUEIRA, R. F. Environmental implications of soil remediation using the Fenton process. **Chemosphere**, v. 71, p. 43–50, 2008.

WANG, J. Y. et al. Evaluation of electrokinetic removal of heavy metals from sewage sludge. **J Hazard Mater B**, v. 124, p. 139–146, 2005.

WENLING et al., **Desenvolvimento de helianthus tuberosus (alcachofra de Jerusalém) por micropropagação e caracterização dos seus carboidratos de**

reserva. Publicação UEPG, Ponta Grossa. Abr. 2007. RAUBER, J.L.P. Visitas de abelhas e produtividade do girassol (*Helianthus annuus L.*) . Universidade federal da fronteira do sul, Cerro Largo, 2014. 34f.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R. Aspectos fisiológicos do estresse salino em plantas.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: Reigosa, M.J.; Pedrol, N.; Sánchez, A. (eds). **La Ecofisiología Vegetal – Uma ciencia de síntesis**. Madrid. Thomson. 2004. cap. 10, p. 303-330.

WILSON, R. P.; HALVER, J. E.; HARDY, R. W. Aminoácidos e proteínas nutrição de peixes. 3ª ed USA: Elsevier Science, p. 144-175, 2002

YE, S. et al. Biological technologies for the remediation of co-contaminated soil. **Crit Ver Biotechnol**, v. 37 n. 8, 1062–1076, 2017.

ZHAO, C. H. et al. Single cell oil production from hydrolysates of inulin and extract of tubers of Jerusalem artichoke by *Rhodotorula mucilaginosa* TJY15a. *Process Biochem*, v. 45, n. 7, p. 1121–1126, 2010.

ZUBR, J.; PEDERSEN, H. S. **Characteristics of growth and development of different Jerusalem artichoke cultivars, in Inulin and Inulin-Containing Crops**. Fuchs, A., Ed., Elsevier Science, Amsterdam, 1993. p. 11-19.