

**CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM
APIACEAE EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

LILIANE RIBEIRO NUNES

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO - 2019**

**CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM
APIACEAE EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

LILIANE RIBEIRO NUNES

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Lopes Prins

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO - 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

N972

Nunes, Liliane Ribeiro.

Crescimento e composição de óleos essenciais em *Apiaceae* em função da disponibilidade hídrica / Liliane Ribeiro Nunes. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

88 f. : il.

Bibliografia: 57 - 80.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2019.
Orientadora: Claudia Lopes Prins.

1. Metabólitos secundários. 2. *Foeniculum vulgare* Mill.. 3. *Petroselinum crispum*. 4. *Coriandrum sativum*. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM APIACEAE EM FUNÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

LILIANE RIBEIRO NUNES

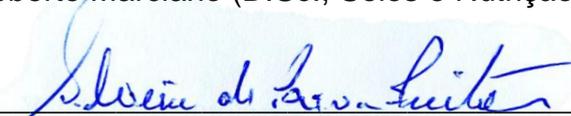
“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal”

Aprovado em 15 de março de 2019

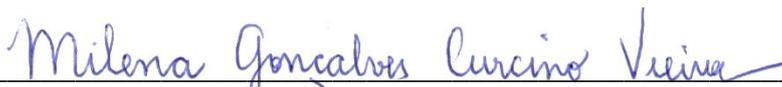
Comissão Examinadora



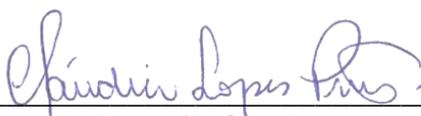
Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF



Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc., Fitotecnia) – UENF



Prof^a. Milena Gonçalves Curcino Vieira (D.Sc., Ciências Naturais) – IFF



Prof^a. Cláudia Lopes Prins (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientadora)

Aos meus pais e minhas irmãs, meu bem maior.

Aos amigos envolvidos nessa jornada.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me guiou sempre pelos melhores caminhos, que me fez coragem quando eu era medo, que me fez entender que para todo sonho é necessário persistência e para toda escolha, uma renúncia. Que me deu sabedoria para entender que a vida é sempre resultado da nossa própria escolha.

À minha mãe Vanilde e ao meu pai Rovinaldo, apoiadores incondicionais nessa minha jornada. Pessoas que me orgulham muito, meus maiores exemplos, vocês fazem com que eu tenha vontade de ser melhor a cada dia. Obrigada por terem me ajudado a chegar até aqui. Amo vocês!

À minha irmã Leonildes, pelo apoio e compreensão, por fazer parte dessa história.

À minha irmã Luhilda, a minha “mãe Luh”, por ser esse ser de luz tão maravilhoso, por me apoiar, acompanhar, incentivar, me ouvir e sempre ter as palavras certas para acalmar meu coração.

Ao meu querido “velhinho”, Gilson Soares, por estar sempre em minha vida, me incentivando e me fazendo acreditar que eu posso ir mais longe.

Aos meus amigos Margareth, Aluísio e Victória, que mesmo longe conseguem fazer meus dias mais felizes.

Ao meu amigo irmão Assistone, que participou dessa jornada comigo, muitas vezes me ouvindo, me vendo chorar e me fazendo sorrir. Com certeza você foi fundamental meu amigo!

À minha amiga Gessane, por ter sido uma grande parceirinha nessa jornada nada simples, porém gratificante.

À minha orientadora, mãe científica, amiga, irmã, exemplo de ser humano, Cláudia Prins. Por me incentivar, apoiar, me mostrar os caminhos, por me fazer conseguir ver o lado bom de cada coisa e por me fazer entender que não importa a circunstância, o seu caráter determina o valor de suas conquistas.

Ao professor Cláudio Marciano, por toda contribuição concedida no decorrer do experimento e por toda paciência.

Ao Lucas, por me auxiliar nas atividades de campos. Às minhas amigas Mariane e Bruna, pelo auxílio em campo e laboratório, por se tornarem essas amigas únicas, por fazerem parte dessa caminhada, deixando o meu riso mais feliz.

Aos meus amigos Gabriella e Leandro, duas pedras preciosas que a vida me deu, vocês tornaram muita coisa mais leve, obrigada por cada sorriso, por cada dança, por cada conversa, por tudo que vivemos ao longo dessa jornada. Saibam que sempre estarei com vocês!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Hortaliças condimentares da família Apiaceae.....	5
2.1.1. A Cultura do funcho (<i>Foeniculum vulgare</i>).....	5
2.1.2. A Cultura da salsinha (<i>Petroselinum crispum</i>).....	7
2.2. Estresse Hídrico.....	11
2.3. Óleos Essenciais.....	14
2.4. Estresse hídrico e sua influência na produção dos óleos essenciais...	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Localização dos experimentos.....	21
3.2. Material vegetal e propagação.....	21
3.3. Instalação e condução do experimento.....	22
3.4. Avaliações.....	24
3.4.1. Funcho.....	24
3.4.1.1. Avaliações biométricas.....	24
3.4.1.2. Avaliações fisiológicas e bioquímicas.....	25
3.4.2. Salsinha e Coentro.....	26
3.4.2.1. Avaliações biométricas.....	26
3.4.2.2. Avaliações fisiológicas.....	26
3.5. Extração dos óleos essenciais.....	27
3.6. Análise estatística.....	27

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5. RESUMO E CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE A	81
APÊNDICE B	85

RESUMO

NUNES, Liliane Ribeiro; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2019. Crescimento e composição de óleos essenciais em Apiaceae em função da disponibilidade hídrica. Orientadora: Prof^a Cláudia Lopes Prins.

As hortaliças condimentares têm sua importância quando o assunto é a história da alimentação humana. Além disso têm relevância como fonte de renda e sustentabilidade para pequenos agricultores, pois as tecnologias de produção usadas para essas culturas são relativamente intensivas em mão-de-obra, o que faz com que seja conduzida em escalas reduzidas. Na família Apiaceae destacam-se, dentro desse grupo de hortaliças, espécies como o *Foeniculum vulgare* Mill. (funcho), a *Petroselinum crispum* (salsinha) e o *Coriandrum sativum* (coentro). As hortaliças, de modo geral, têm como característica grande exigência por água, sendo este um dos fatores de maior importância na qualidade da produção agrícola. O uso eficiente da água deve ser um assunto constante, diante do aumento progressivo da demanda de produção de alimentos. Isso ocorre porque a limitação da quantidade de água é uma restrição ambiental importante para a produtividade das plantas. Além disso, a condição de déficit hídrico não somente limita o crescimento e a sobrevivência das plantas, mas também induzem várias respostas metabólicas e fisiológicas. Existem evidências de que as concentrações de metabólitos secundários, como óleos essenciais (OE), aumentam significativamente em plantas submetidas a condições de limitação hídrica. A presença de OEs, substâncias aromáticas e voláteis, permite a

utilização de tais plantas para dar sabor e aroma aos alimentos. Os interesses da produção de plantas condimentares estão ligados a quantidade produzida de biomassa vegetal e aos teores dos princípios ativos do óleo essencial, que estão relacionados com a qualidade condimentar. Compreender a influência dos fatores ambientais na regulação da biossíntese de metabólitos secundários pode contribuir para a criação de sistemas de manejo e aumento da produção e qualidade de compostos de interesse nas espécies. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da redução da disponibilidade hídrica sobre o crescimento e produção de óleo essencial de hortaliças condimentares da família Apiaceae. As plantas foram cultivadas em vasos de 5,5 L preenchidos com substrato comercial. Os tratamentos foram compostos pelo fornecimento de água, respectivamente, 75 e 50% do volume aplicado às plantas controle (100% da capacidade de vaso). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com oito repetições para salsa e coentro e 10 repetições para o funcho. Foram avaliados o crescimento da parte aérea (massa fresca, número de folhas e massa seca total), crescimento de raiz (massa fresca e seca), área foliar, temperatura da folha, SPAD, conteúdo relativo de água e composição do OE (cromatografia gasosa). Com os resultados obtidos foi possível concluir que os diferentes níveis de disponibilidade hídrica influenciaram negativamente o crescimento das espécies e o efeito sobre a composição do óleo essencial foi mais expressivo em resposta ao NÍVEL 2, porém com variação quanto à direção do efeito, sendo α -pineno (4,37%) e anetol (50,21%) influenciados positivamente e undecanal (2,27%) e γ -terpineno (1,20%) influenciados negativamente.

ABSTRACT

NUNES, Liliane Ribeiro; M.Sc.; North Fluminense State University - Darcy Ribeiro. March, 2019. Growth and essential oil composition of Apiaceae aromatic species as affected by water availability. Advisor: Prof^a Cláudia Lopes Prins.

Culinary herbs are important for human food history. They are also relevant to small farmers as income source and sustenance, since its management requires intensive work which is suitable for small grown areas. Apiaceae is a botanical family including culinary herbs like *Foeniculum vulgure* Mill. (fennel), *Petroselinum crispum* (parsley) and *Coriandrum sativum* (coriander or cilantro). Vegetables require high water supplies and this abiotic factor is one of the most important for crop production and quality. Because food demand is increasing and water restriction is a significant impairment in grown areas around the world, water use efficiency should be considered. Water deficit reduces not only plant growth and survival, but also induces a range of metabolic and physiological responses. There is evidence that secondary metabolite concentrations, including essential oils (EOs), increase significantly in plants exposed to water restrictions. Culinary herbs produce essential oils, aromatic and volatile compounds, responsible for its aroma and flavor, which allow these plants to be used in food preparations. Compounds of essential oils in culinary herbs are so important as plant biomass production, since they are related to the quality of these plants. It is necessary to understand how environmental factors can regulate secondary metabolites biosynthesis in order to establish management systems to promote the biosynthesis of essential oil compounds related to product quality. Therefore, this work aimed to evaluate

the effects of water restriction on growth and essential oil production of culinary herbs from Apiaceae family. The plants were grown on 5.5 L pots fulfilled with commercial substrate. The treatments were composed of water supply of 75% (LEVEL 2) and 50% (LEVEL 3) of that volume applied to control plants, which corresponded to 100% (LEVEL 1) of the maximal pot water retention capacity. The experimental design was completely randomized. For parsley and cilantro it was used eight repetitions. For fennel it was used 10 repetitions. Shoot growth (fresh mass, leave number and total dry mass), root growth (fresh and dry masses), leaf area, leaf temperature, greenness (SPAD index), relative water content and essential oil composition (GC-MS) were evaluated. Water restriction affected growth and essential oil composition. The growth of the three species was negatively affected by water restriction. For essential oil composition, the treatment LEVEL 2 showed different effects according to the compound. For α -pinene and anethole it was observed a positive effect, with mean percentages of 4.37 and 50.21, respectively, whereas undecanal and γ -terpinene were negatively affected, with a mean percentage of 2.27 and 1.20, respectively.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento do consumo de hortaliças, seguido da crescente exigência do consumidor, é notória a necessidade de manter seu fornecimento em quantidade e qualidade mesmo em épocas pouco favoráveis a produção (Gualberto et al., 2009).

Silva (2012) expõe a importância da produção de hortaliças, por sua relação com a saúde humana, pois fornece nutrientes importantes para o organismo, realiza manutenção e melhoria da saúde, previne vários tipos de doenças, promove a longevidade de vida humana, entre outros fatores. Com isso, o consumo de hortaliças é visto como essencial, pois são ricas em vitaminas e sais minerais, apresentam bom teor de carboidratos e fibras, poucas gorduras e calorias, apresentando uma variedade de compostos funcionais e com virtudes dietéticas e até terapêuticas.

A produção de hortaliças no Brasil, com a sua grande variabilidade de espécies e cultivares, possui dependência de grande número de pequenos produtores, capitalizados ou não, além de um número expressivo de médios e grandes produtores. Tendo em vista um país com uma população em sua maioria urbana e projetada para atingir 212 milhões em 2025, existe uma ampla demanda interna pelas hortaliças e, diante disso, grandes oportunidades para o desenvolvimento do setor (Reifschneider e Lopes, 2015).

A principal contribuição das hortaliças nas dietas é como fonte de vitaminas, sais minerais e fibras. São alimentos coloridos e saborosos, com

grande diversidade de espécies e que podem ser consumidos crus, na forma de saladas e sucos, cozidos ou acompanhando carnes. Algumas espécies de hortaliças conhecidas como condimentares e aromáticas são utilizadas para realçar, de maneira especial, o sabor e o aroma dos alimentos, pois atuam como tempero e, tendo em vista que o sabor é um dos principais atrativos da alimentação humana, essas espécies podem tornar palatável um alimento que antes não o era (Silva et al., 2013).

Dentre as várias famílias de plantas condimentares, podemos destacar a família *Apiaceae*, que possui cerca de 400 gêneros e 4.000 espécies. Antigamente era conhecida como *Umbelliferae*, em virtude das flores estarem dispostas em forma de umbela. As flores são pequenas e possuem simetria radial com cinco sépalas, cinco pétalas e cinco estames. Pode-se perceber, na maioria das espécies, a presença do dimorfismo nas flores. A atração dos insetos é alcançada pelas pétalas externas, mais vistosas; e a reprodução, pelas mais internas (Judd et al., 2009).

As plantas condimentares são muito utilizadas na alimentação humana, pois possuem princípios ativos sintetizados como metabólitos secundários que estão presentes nos óleos essenciais e que lhes conferem característica aromática. Essa característica está presente nas plantas da família *Apiaceae*, apresentando aroma em algum de seus órgãos, sejam as folhas, flores, casca ou raiz (Silva et al., 2013).

Os óleos essenciais, são misturas de diversos compostos voláteis, odoríficos, insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos. Apresentam uma grande importância terapêutica e econômica (Silva et al., 2003). Os propósitos da produção de plantas condimentares estão ligados não só à quantidade da biomassa vegetal produzida, como também aos teores dos princípios ativos do óleo essencial que estão relacionados com a qualidade condimentar (Madueño Box, 1973). Além disso o condimento é, muitas vezes, utilizado como o próprio conservante do alimento (Alves, 2007).

O manejo agrônômico é considerado como um dos componentes do processo produtivo que mais poderá interferir na produção e qualidade do produto vegetal, sendo o manejo da água de significativa importância (Marchese e Figueira, 2005). Para que haja uma satisfatória produção do vegetal, a água é um fator indispensável. Atualmente, a água consumida na agricultura corresponde a

70% do volume disponível para atividades humanas e isso ocorre na maioria dos países, regiões e continentes. Segundo Llamas e Martinez Santos (2006), o uso intensivo de água para a agricultura em países e regiões áridas e semi-áridas vem provocando drástica diminuição no volume dos reservatórios, e o investimento em produção de alimentos mais rentáveis, significa maior investimento e usos mais intensivos de água na agricultura. Existe uma enorme necessidade de redução desse uso e isso pode ser possível com a introdução de tecnologias adequadas, eliminação dos desperdícios e introdução de reuso (Tundisi, 2008). O uso eficiente da água inclui qualquer medida que reduza a quantidade que se utiliza por unidade de qualquer atividade, e que favoreça a manutenção e a melhoria da qualidade da água (Paz et al., 2000).

A limitação da quantidade de água é uma restrição ambiental importante para a produtividade das plantas. A condição de déficit hídrico não somente limita o crescimento e a sobrevivência das plantas, mas também levam a várias respostas metabólicas e fisiológicas (Girard, 2005). Com a limitação hídrica ocorre uma redução na disponibilidade de água para processos associados ao transporte e conduz a mudanças na concentração de muitos metabólitos, seguidas por distúrbios nos hidratos de carbono e no metabolismo de aminoácidos (Santos et al., 2010). Com o fechamento dos estômatos há uma diminuição da difusão de CO₂ para o mesófilo foliar, levando assim a uma redução da taxa fotossintética, afetando o acúmulo dos fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade das culturas e desencadear na ativação do metabolismo secundário como forma de proteção ao estresse (Santos et al., 2014).

A água é essencial à vida e ao metabolismo das plantas e, sendo assim, seria esperado que em ambientes com maior disponibilidade hídrica a produção de óleo essencial fosse maior. No entanto, estudos realizados com plantas que produzem óleos essenciais têm demonstrado que a menor disponibilidade de água pode aumentar a produção de óleo essencial. Como é clara a redução da biomassa da planta sob níveis de estresse severos, níveis moderados de estresse são vistos como uma alternativa de integrar qualidade e quantidade vegetal, e uso adequado da água. Nessas condições a restrição do crescimento sem impacto no metabolismo do carbono pode resultar em estruturas disponíveis para produção de compostos como os metabólitos secundários, conforme afirma a hipótese do balanço carbono:nitrogênio. Neste sentido, o presente estudo foi realizado

objetivando avaliar o efeito dos níveis de restrição hídrica sobre o crescimento e produção de óleo essencial nas hortaliças condimentares salsa (*Petroselinum crispum*), coentro (*Coriandrum sativum*) e funcho (*Foeniculum vulgare*).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Hortaliças condimentares da família Apiaceae

A família Apiaceae é caracterizada por possuir plantas aromáticas, principalmente com hastes ocas e muitas flores, possuindo mais de 3.700 espécies e 434 gêneros (Shojaiefar et al., 2015).

2.1.1. A cultura do funcho (*Foeniculum vulgare*)

A espécie *Foeniculum vulgare* Mill., família Umbelliferae/Apiaceae, é conhecida desde a antiguidade na Europa e na Ásia Menor. É nativa da região sul da Europa e região do Mediterrâneo, sendo bastante produzida em várias partes do mundo (Izadi-Darbandi et al., 2013; Shojaiefar et al., 2015). Acredita-se que possivelmente chegou ao Brasil junto com os colonos portugueses (Silva, 2001).

O funcho chega a alcançar 2,5 m de altura, com folhas bem leves, que chegam a 40 cm de comprimento e pecíolo alargado com uma bainha que envolve o caule formando uma espécie de bulbo (cabeça-do-funcho), sendo este comestível. As flores são hermafroditas, de cor amarelo-esverdeadas, que se unem em forma de buquês no formato de umbelas, possuindo, em cada seção, de 20 a 50 pequenas flores, e o fruto sendo uma semente seca marrom acinzentada ou esverdeada com ranhuras, que possui comprimento de 4 a 10 mm e largura de

1,5 a 2 mm (Izadi-Darbandi et al., 2013; Grover et al., 2013; Rather et al., 2012; Lorenzi e Matos, 2002).

Sendo muito utilizado pela população brasileira, o funcho (*Foeniculum vulgare* Mill., Apiaceae), também é conhecido como falsa erva-doce ou anis-doce. É uma planta aromática e condimentar (Lorenzi e Matos, 2008), perene e bienal, entouceirada, nativa da região mediterrânea, que facilmente é encontrada em terrenos baldios.

Visto como uma espécie Mediterrânea típica, o funcho já se encontra perfeitamente instalado em outras zonas de clima temperado (no Norte da Europa, na América do Norte e na Austrália). Devido à sua grande adaptabilidade, a cultura foi facilmente introduzida em vários locais do globo, crescendo agora espontaneamente (Barbosa et al., 2007). O funcho silvestre adapta-se bem a vários tipos de clima desde que tenha boa exposição ao sol, solos férteis e bem drenados (Barbosa et al., 2007). Porém, tende a optar por bordaduras de caminhos e de campos de cultivo, em locais secos, baldios descampados ou taludes pedregosos (Da Cunha et al., 2007).

O funcho apresenta uma extensa história de uso medicinal. Habitualmente, os frutos de funcho são conhecidos pela sua ação mucolítica, antisséptica, antiespasmódica e digestiva, sendo muito usados como expectorante ou como carminativo, contra cólicas abdominais e flatulências. Por outro lado, o seu efeito estrogênico permite usar as sementes como galactogênicos (estimulação da produção de leite) (Da Cunha et al., 2007). Em termos de utilizações, os frutos são usados, principalmente, como aromatizantes ou corretores de sabores em licores, medicamentos, pasta de dentes e pastelaria (Da Cunha et al., 2007). Também é usado em cosméticos para formulações de sabonetes, cremes de limpeza e combate a rugas faciais (Sartório et al., 2000). Atualmente, o *F. vulgare* tem despertado o interesse para estudo do potencial antioxidante e atividade antimicrobiana do extrato e óleo essencial de suas sementes/frutos (Ruberto et al., 2000; Araque et al., 2007; El-Adly et al., 2007).

Mesmo em doses elevadas, o funcho é considerado uma planta atóxica (Corrêa Junior et al., 2004). Ainda não existindo referências para contraindicações, é sabido que o óleo essencial, em altas doses, pode provocar alucinações, excitação e convulsões, isso se deve à presença da fenchona (C₁₀H₁₆O) (Sartório et al., 2000).

Na culinária, o funcho é utilizado, na forma fresca, em saladas ou molhos, ou mesmo como especiaria ou erva aromática, para o tempero de peixe ou carne, e ainda em sopas, para conferir o sabor adocicado característico (Barros et al., 2010). O funcho é composto quimicamente por proteínas, carboidratos, ácidos málico, caféico e clorogênico, além de cumarinas, esteroides e flavonoides, que estão presentes o óleo fixo (não volátil), porém se destacando pela maior presença no óleo essencial (volátil) (Manzoor et al., 2012). Em estudos realizados por Rather et al. (2012), a composição química para o *F. vulgare* tem sido mencionada com 9,5% de proteína, 10,0% de lipídeos, 13,4% de minerais, 18,5% de fibras e 42,3% de carboidratos. Os minerais e vitaminas presentes são cálcio, potássio, sódio, ferro, fósforo, tiamina, riboflavina, niacina e vitamina C.

No que diz respeito às características agrônômicas, a espécie *Foeniculum vulgare* precisa de iluminação plena com luz solar direta, apesar de produzir em clima frio, temperado e tropical, prefere temperatura amena, na qual gera maior quantidade de princípio ativo (Côrrea Junior et al., 2003). Quanto à reprodução, sementes semeadas direta ou indiretamente em solos ricos em matéria orgânica, leves e bem drenados, são boas alternativas. A colheita das folhas adultas ocorre aproximadamente três meses após o plantio, já os frutos são colhidos por debulha, ainda imaturos (verde amarelado) para evitar grandes perdas (Sartório et al., 2000).

Embora com maior abundância nas partes superiores, especificamente nos frutos (2 a 6% de óleos essenciais), as essências do funcho encontram-se distribuídas por toda a planta (Da Cunha et al., 2007). Sendo assim, o funcho é uma planta de grande valor industrial e uma das principais fontes de anetol (C₁₀H₁₂O), uma substância com ampla utilização na indústria de alimentos (Hunault, 1989).

2.1.2. A cultura da salsa (*Petroselinum crispum*)

A *Petroselinum crispum*, popularmente conhecida como salsa ou salsaínia, é uma planta aromática que apresenta indícios de origem na região do Mediterrâneo, tornando-se popular como tempero nos mais diferentes pratos, na

Europa e no restante do mundo (Kreydiyyeh et al., 2001). É uma planta que atinge de 0,15 a 0,30 m de altura (Lorenzi e Matos, 2002).

A salsa é uma das plantas condimentares mais populares da gastronomia mundial, sendo uma excelente fonte de vitamina A, C, niacina, riboflavina, cálcio, ferro e fósforo. Também possui grande relevância econômica devido a seus fins medicinais (Factor et al., 2008).

Pertencente à família Apiaceae, é uma espécie que se adapta melhor a temperaturas mais amenas, sendo semeada, preferencialmente, durante o outono-inverno. Já para as sementeiras ao longo de todo o ano, a sugestão é que sejam feitas em regiões mais altas (Filgueira, 2008a). A salsa apresenta relevância pela sua ampla comercialização como condimento (Rodrigues et al., 2008) e por ser uma das plantas condimentares mais consumidas no Brasil. Porém seu volume de produção é pouco expressivo quando comparado ao de outras hortaliças folhosas, como a rúcula e a alface (Escobar et al., 2010).

Segundo Albuquerque Filho (2006), a salsa (*Petroselinum crispum*), planta herbácea e anual, apresenta características peculiares quanto ao caule, às flores e às folhas. Estas apresentam aroma forte, são reunidas em roseta basal, possuem uma coloração verde-escura, sendo compostas por folíolos triangulares. As flores são pequenas e estão dispostas em inflorescência (umbelas) e apresentam coloração amarelo-clara. A cultura possui o caule pouco ramificado, apresenta inúmeros canais oleíferos, os quais proporcionam o aroma e sabor, e possuem coloração verde-clara. Os frutos têm uma forma ovóide a elipsóide de dimensões variáveis (entre 1,2-3,2 cm de comprimento por 0,7-1,9 cm de largura) e apresentam estrias proeminentes com canais resiníferos (Da Cunha et al., 2007). Por ser uma planta cultivada, em sua maioria, em pequenas propriedades, como a maioria das hortaliças, a salsa se destaca como uma importante cultura para a agricultura familiar (Carvalho, 2011).

A planta produz mais em solos areno-argilosos, com alto teor de matéria orgânica, boa fertilidade e pH entre 5,8 e 6,8. A primeira colheita é feita entre 50 e 90 dias após a sementeira, quando as plantas atingem cerca de 10 a 15 cm de altura (Filgueira, 2008b). O rebrotamento é aproveitado para novos cortes, com isso um cultivo pode ser explorado por dois a três anos, especialmente quando é cultivada em condições de clima ameno (Heredia Zárata et al., 2003).

Carvalho (2011) destaca que esse condimento viabiliza folhas universalmente utilizadas na culinária, integrando diversos tipos de pratos – frios (saladas), quentes (carnes) ou apenas para a ornamentação. Porém os benefícios da salsa estão muito além da característica condimentar na culinária e na composição de outros produtos alimentícios. Esta planta pode representar um aliado à nossa saúde, pois demonstra que possui ação diurética (Campos et al., 2009), estimula a menstruação e atua na prevenção de doenças cardiovasculares (Corrêa Filho, 2014).

A salsa é uma fonte abundante de diversos metabólitos secundários (Appendino et al., 1998). Seu óleo essencial, obtido tanto das folhas quanto das sementes, é também utilizado como *flavour* em muitas fragrâncias na perfumaria (Lorenzi e Matos, 2002). O óleo essencial obtido das folhas da salsa possui componentes como: α -pineno, β -pineno, sabineno, ρ -cimeno, limoneno, α -felandreno, β -felandreno, α -terpineno, hexanal, carotol, α -terpineno, cariofileno, fenilacetaldéido, terpineol, canfeno, 3-careno, campeno, α -terpinoleno, eugenol, ρ -1,3,8-menthatrieno, *cis*-hex-3-en-1-ol, propanodiol, sendo a miristicina e o apiol os dois principais e responsáveis pela atividade antioxidante (Farzaei et al., 2013).

2.1.3. A cultura do coentro (*Coriandrum sativum*)

A palavra coentro deriva do grego Kóris ('Koriandrom', que significa percevejo), devido ao aroma acentuado de suas folhas. Provavelmente é originário da Europa e do Oriente, onde é cultivado há mais de três mil anos. Na região do Mediterrâneo seu cultivo foi iniciado no antigo Egito, havendo menções a ele na Bíblia, que o comparava ao "Maná", alimento sagrado enviado por Deus (Nascimento e Pereira, 2005).

A espécie *Coriandrum sativum* é pertencente à família das Apiáceas, a mesma do aipo, funcho, cenoura, salsa e mandioquinha-salsa, dentre outras. É uma hortaliça-condimento de ciclo anual, sendo uma espécie também de polinização cruzada, realizada principalmente por insetos. A planta é herbácea, glabra, de raiz pivotante do tipo fusiforme, caule ereto, pouco ramificado, com altura variando de 30 cm a 1 metro. As folhas são compostas, profundamente partidas, de disposições alternadas, parecidas às da salsa comum, embora mais recortadas, com um tom verde mais escuro. Suas flores são hermafroditas,

protândricas, pequenas, brancas ou roxeadas, reunidas em inflorescências do tipo umbela. O fruto é um diaquênio ovóide, globuloso, de 2 a 4 mm de diâmetro. Quando seco, os frutos são partidos formando duas sementes. Em média, um grama de sementes contém 80-90 “sementes” (frutos) (Wanderley Júnior e Nascimento, 2008).

A propagação é feita pela sementeira direta, em canteiros definitivos, em sulcos espaçados de 20 a 30 cm, deixando-se as plantas espaçadas de 10 cm, após o desbaste. O coentro não tolera baixas temperaturas, por isso deve ser semeado de setembro a fevereiro. A colheita ocorre cerca de 60 dias após a sementeira, quando as plantas atingirem de 10 a 15 cm de altura ou deixando-as crescer até alcançarem 50 a 60 cm, para retirar somente alguns ramos, podendo-se fazer diversas colheitas, tal como no caso da salsa (Filgueira, 2013).

O coentro é pouco exigente em nutrientes e quanto ao tipo de solo, além de ser tolerante à acidez. É uma planta rústica, de fácil condução em campo, não requer tratamentos culturais específicos e é pouco sujeito aos problemas fitossanitários. Seu ciclo de vida dura aproximadamente 120 dias e o florescimento ocorre entre 65 e 90 dias. Sua floração é intensa e suas flores, brancas, pequenas e aromáticas, atraem diversos insetos benéficos como polinizadores, predadores e parasitoides (Medeiros et al., 2009). Possui ciclo anual e apesar de ser considerada uma “cultura de quintal”, grande número de produtores está envolvido com sua exploração, tornando-a, conseqüentemente, uma cultura de grande importância socio-econômica (Sousa et al., 2011).

No Brasil, o coentro é largamente consumido como condimento. É presumível que, em valor de mercado, seja a segunda hortaliça folhosa de importância para o Brasil, perdendo somente para a alface (Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM), 2012; Wanderley Júnior e Melo, 2003). É indispensável à culinária das regiões Norte e Nordeste, como parte de vários pratos típicos, sendo consumido *in natura* (folhas e ramos verdes) ou na forma de sementes (inteiras ou moídas), onde encontra condições climáticas favoráveis ao cultivo durante todo o ano, já que é uma espécie de clima quente, intolerante a baixas temperaturas. Entretanto, seu cultivo e uso têm se tornado popular também em outras regiões do país (Wanderley Júnior e Melo, 2003; Nascimento e Pereira, 2005). Os frutos ou as sementes secas também são ricos em óleos essenciais com aroma e sabor muito apreciados e largamente

empregados na indústria alimentícia para a fabricação de licores, doces e condimentos e na indústria de perfumes e cosméticos (Nascimento e Pereira, 2005). Na Região Nordeste do Brasil, a produção de folhas verdes é o maior motivo para a exploração da produção dessa olerícola, sendo uma cultura rica em vitaminas A, B1, B2 e C, e boa fonte de cálcio e ferro (Lima, 2007).

Em 100 g de folhas frescas são encontradas 294 calorias, 26,7 g de glicídios, 11,5 g de proteínas, 15,6 g de lipídios, 110 mg de cálcio, 45 mg de fósforo e 2 mg de ferro. Já em 100 g de frutos encontram-se 53 mcg de retinol, 150 mcg de tiamina, 280 mcg de riboflavina, 1,6 mg de niacina e 75 mg de ácido ascórbico (Franco, 2005).

Melo et al. (2003) relatam que muitos vegetais apresentam, em sua constituição, compostos com ação antioxidante, dentre os quais se destacam as especiarias, ingredientes utilizados no preparo de alimentos, desde os primórdios da História, para melhorar ou ressaltar suas características organolépticas, bem como preservá-las. Esses pesquisadores constataram a presença de compostos antioxidantes no coentro, cultivar Verdão.

2.2. Estresse hídrico

Durante o ciclo de vida das plantas, nem sempre é possível encontrar condições ambientais favoráveis e que sejam propícios ao seu crescimento e desenvolvimento. Um importante fator ambiental que limita o crescimento é a redução na disponibilidade de água do solo. Essa baixa disponibilidade de água causa nas plantas o chamado estresse hídrico, que ocorre, geralmente, de maneira gradual, sendo que alguns vegetais, mais tolerantes, conseguem desenvolver mecanismos e se adaptar a essa situação de redução desse recurso no solo (Chaves Filho e Seraphin, 2001).

O estado de estresse hídrico é caracterizado quando os níveis de água estão abaixo ou acima da faixa tolerável pelo organismo, ou seja, tanto a falta de água como o excesso dela pode causar danos aos vegetais. Segundo Lichtenthaler (2006), o estresse é um desvio significativo das condições ideais para a vida, levando à indução de respostas e mudanças no organismo, acrescentando, ainda, que a reação das plantas ao estresse hídrico ocorre em quatro fases distintas. Na primeira fase a planta tem a redução de algumas

funções normais, como o desempenho fotossintético. Na segunda fase a planta busca alternativas na tentativa de se adaptar ao estresse que se mantém, entrando na fase de resistência. Na terceira fase, diante da continuidade do estresse, a planta é levada à fase de exaustão, na qual a alta intensidade do fenômeno leva a planta a um estado crônico ou até mesmo a morte. Enfim, caso o estresse seja interrompido antes de causar a morte do indivíduo, a planta ganha uma nova chance e entra na quarta fase, com uma recuperação parcial ou total de suas funções fisiológicas.

O déficit hídrico pode causar impactos significativos no crescimento e desenvolvimento das plantas (Martins et al., 2008), levando a alterações no comportamento que dependem da duração e da severidade do estresse e do estágio de desenvolvimento da planta. As plantas expostas à deficiência hídrica alteram seu metabolismo, por meio da ativação de diferentes mecanismos de resistência, com a finalidade de se adaptarem a esse tipo de estresse. Estudos referentes às relações hídricas e interações planta-ambiente causadas pelo déficit hídrico temporário são de fundamental importância, visto que a redução da disponibilidade de água tem efeitos em vários processos fisiológicos das plantas, muitos dos quais estão envolvidos com os mecanismos de adaptação e de produção das culturas (Jifon e Syvertsen, 2003; Jaimez et al., 2005; García-Tejero et al., 2010).

Plantas submetidas ao estresse hídrico apresentam resposta como a redução do teor de água na planta, a diminuição do potencial hídrico foliar, a perda de turgor, ao fechamento dos estômatos e a diminuição do crescimento celular (Leite et al., 2009). Todas essas respostas interferem no conteúdo relativo de água, que é considerado a variação de massa de água do tecido, que, por sua vez, resulta da variação da massa de água da célula e, conseqüentemente, da variação do volume celular, entre a turgescência plena e a perda da turgescência (Angelocci, 2002). De acordo com Taiz e Zeiger (2004), quanto menor a quantidade de água no solo, mais negativo deve ser o potencial hídrico desenvolvido pelas raízes para conseguir gerar um gradiente e favorecer a absorção de água. Essa redução de água pode enfraquecer as funções vitais como também pode estimular reações adaptativas, que preparem as plantas para sobreviverem em períodos prolongados de déficit hídrico (Silva et al., 2002).

Uma das estratégias de sobrevivência das plantas, em ambientes com restrição de água, é o ajustamento osmótico, via acúmulo ou compartimentalização de solutos (Ashraf e Foolad, 2007; Brito et al., 2008). Para se aclimatar e/ou se adaptar a déficit hídricos de diferentes níveis de intensidade, as plantas podem acumular prolina (Yamada et al., 2005; Nayyar e Walia, 2003) e/ou outros aminoácidos livres (Kusaka, Ohta e Fujimura et al., 2005; Rai, 2002) e carboidratos (Chaves et al., 2002). Estes compostos compartilham a propriedade de permanecerem estáveis em pH neutro e serem altamente solúveis em água (Ballantyne e Chamberlin, 1994). Além disso, exercem pouco ou nenhum efeito sobre a interação de macromoléculas solventes, quando apresentam-se em altas concentrações. Entre esses solutos, os carboidratos são elementos-chave, pois podem ser armazenados tanto na forma de polissacarídeos com baixa atividade osmótica, como o amido, quando na forma de açúcares altamente solúveis e higroscópicos, como a sacarose e hexoses (Whittaker et al., 2007). Sendo assim, é plausível que espécies vegetais possam, durante o seu crescimento, ter a síntese e o acúmulo de seus carboidratos afetados pelo déficit hídrico, bem como utilizá-los na geração de compostos osmoticamente ativos através da sua degradação em resposta a esses estresses do ambiente (Sanches, 2012).

Durante a evolução dos vegetais várias estruturas foram criadas para absorver, transportar e controlar a entrada e saída de água do vegetal, como as raízes, sistema vascular avançado, epiderme, estômatos, etc. (Luvaha et al., 2008). Em condições de déficit hídrico a transpiração é reduzida devido ao fechamento estomático, e à medida que as plantas reduzem a transpiração ocorre um aumento equivalente na temperatura foliar, devido ao acúmulo de energia pela água na forma de calor latente, com a temperatura foliar podendo ficar acima de um limiar ótimo para a atividade metabólica (Melotto e Underwood, 2008; Vieira et al., 2014).

A falta de água para a planta na fase vegetativa reduz o crescimento, a área foliar e o rendimento dos grãos, podendo, em muitos casos, causar a morte do organismo. Os tecidos vegetais apresentam aspecto de murcha e para diminuir a exposição da área foliar, os folíolos tendem a se fechar, afetando também a taxa fotossintética (Souza et al., 2013; Ferrari et al., 2015).

Dentre as técnicas desenvolvidas pelos vegetais para sobreviver à seca, pode ser citado o mecanismo de fechamento dos estômatos, que tem por

finalidade reduzir a perda de água da planta para ambiente externo. Outra situação que ocorre é o maior crescimento das raízes em relação à parte aérea, na intenção de encontrar zonas úmidas no solo que supram a necessidade hídrica até atingir novamente o equilíbrio (Taiz e Zeiger, 2009). As distintas reduções nas porcentagens de acúmulo de matéria seca das raízes, caules e folhas estão relacionadas e dependem do estágio de desenvolvimento, além da sensibilidade relativa dos diversos órgãos, de modo que, em alguns casos, pode haver o direcionamento de uma maior taxa na distribuição de fotoassimilados para as raízes do que para a parte aérea.

A arquitetura radicular e sua capacidade de exploração das camadas mais profundas e úmidas do solo, juntamente com maior razão entre a raiz e parte aérea, são características importantes para conseguir reduzir o déficit hídrico. Para que haja a continuidade do crescimento radicular, sob condições de menor disponibilidade hídrica, é necessário a manutenção de uma pressão de turgor mínima nas células, que seja capaz de permitir o alongamento da parede celulósica e o crescimento celular (Hsiao e Xu, 2000).

Para Brito et al. (2008), situações de estresse hídrico podem estimular síntese de diversas proteínas de proteção ao estresse, relativas à manutenção da estrutura de outras proteínas. Todos esses compostos podem também desempenhar a função de proteção dos tecidos vegetais contra danos celulares, como os causados pelo estresse oxidativo.

Em resumo, a plasticidade das plantas em condições de estresse é influenciada pela duração e intensidade do estresse, que influencia diretamente na sobrevivência ou morte das plantas submetidas as condições adversas do meio (Souza et al., 2013).

2.3. Óleos essenciais

Os óleos essenciais são compostos voláteis e complexos, responsáveis pela fragrância de muitas plantas. Na natureza, eles desempenham um papel importante na proteção das plantas como agentes antibacterianos, antivirais, antifúngicos, inseticidas e também contra herbívoros, reduzindo a palatabilidade e, conseqüentemente, o ataque a essas plantas. Eles também possuem o papel

de atrair alguns insetos para favorecer a dispersão de pólen e sementes, ou repelir outros indesejáveis (Bakkali et al., 2008).

Os óleos essenciais também são chamados de óleos voláteis ou óleos etéreos. Essas denominações resultam de algumas de suas características físico químicas, tais como: óleo, por serem líquidos de aparência oleosa à temperatura ambiente; voláteis, sua principal característica que o difere assim dos óleos fixos; essenciais, apresentam odor agradável e intenso; e etéreos, pois são solúveis em solventes etéreos, como éter (Simões e Spitzer, 2010).

A variação da composição química dos óleos essenciais é considerável em plantas de diferentes famílias e, comumente, dentro da mesma espécie pode ocorrer diferença qualitativa e quantitativa, devido a fatores ambientais, ao manejo das plantas, bem como à forma de extração, armazenamento e fase de desenvolvimento na época de colheita (Nascimento et al., 2007).

O conhecimento sobre óleos essenciais de plantas iniciou-se alguns séculos antes da era cristã. As referências históricas de obtenção e utilização desses óleos estão ligadas, originalmente, aos países orientais, com destaque para o Egito, Pérsia, Japão, China e Índia (Silva et al., 2010). Os óleos essenciais não são substâncias puras, mas sim misturas complexas com muitos constituintes naturais, contendo variadas proporções de ésteres, éteres, álcoois, fenóis, aldeídos, cetonas e hidrocarbonetos de estrutura aromática ou terpênica das plantas e são caracterizados por um forte odor (Povh, 2000; Simões e Spitzer, 2000). Geralmente são extraídos das partes vegetais por meio de destilação por arraste à vapor d'água, hidrodestilação ou compressão de pericarpo de frutos cítricos, contudo existem outros métodos de extração como a *enfleurage* ou enfloração, extração por CO₂ supercrítico (muito utilizado na indústria) e por solventes orgânicos apolares (não apresentam valor comercial) (Morais, 2009).

Os óleos essenciais são obtidos a partir de plantas aromáticas normalmente localizadas em países de clima temperado, como os do Mediterrâneo, e nos países tropicais (Bakkali et al., 2008). O uso do óleo e seus componentes podem atender a indústria mundial de inúmeras formas, como na elaboração de produtos naturais nas indústrias farmacêuticas, alimentícias, fabricação de bebidas aromatizadas, químicas, perfumarias, além do controle biológico de pragas ou doenças na agricultura (Simões e Spitzer, 2000).

Os óleos podem ser sintetizados pela planta toda, a exemplo da menta e da lavanda, ou estocados em determinados órgãos da planta, tais como flores (camomila, tangerina), folhas (eucalipto, manjeriço, capim-limão), nos frutos (funcho, erva-doce), raízes (vetiver), rizomas (cúrcuma, gengibre) ou sementes (noz-moscada, cravo) (Povh, 2000). Como seus compostos ativos são originados nos metabólitos das plantas, sua composição química, as características físico-químicas, os odores e a quantidade dos princípios ativos dos óleos essenciais de diferentes órgãos vegetais podem apresentar propriedades diferentes, mesmo sendo obtidos da mesma planta durante o período de um dia, como em épocas do ano e também podem variar pelo grau de desenvolvimento e o ambiente onde as plantas se encontram (Povh, 2000).

É grande a quantidade de metabólitos secundários já identificados, sendo que estes se dividem em três grandes grupos que se diferenciam quimicamente entre si, sendo eles: terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados (Sousa e Sousa, 2017).

Já foram isolados, aproximadamente 55.000 terpenóides, sendo que estes podem apresentar funções tanto no metabolismo primário como secundário. Alguns terpenos, a exemplo do grupo das giberelinas (diterpenos), são fitormônios, que possuem função definida no crescimento ou desenvolvimento da planta (Taiz e Zeiger, 2009). Como metabólitos secundários, a maior contribuição dos terpenos está no fato desse grupo atuar como toxinas e inibidores do forrageio, defendendo a planta contra muitos insetos e outros animais (Silva, 2013).

Segundo Simões et al. (2007), o metabolismo secundário é caracterizado por substâncias cuja produção e acúmulo estão restritos a um número limitado de organismos e, embora não sejam julgados necessariamente essenciais, garantem vantagens relacionadas à sobrevivência e perpetuação da espécie da planta em questão.

2.4. Estresse hídrico e sua influência na produção dos óleos essenciais

A água é essencial à vida e ao metabolismo das plantas, portanto, seria esperado que em ambientes mais úmidos a produção de princípios ativos fosse maior. No entanto, a produção de óleo essencial, para algumas plantas, pode ser

reduzida com o aumento da disponibilidade de água (Andrade e Casali, 1999). Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas podem ter seus processos metabólicos influenciados, tais como o fechamento estomático, o declínio na taxa de crescimento, o acúmulo de solutos e antioxidantes e a expressão de genes específicos de estresse (Silva e Casali, 2000).

De acordo com Nogueira et al., (2005), o efeito da deficiência hídrica sobre as plantas é complexo, não havendo um mecanismo universal de tolerância à seca, pois as plantas respondem por meio de vários processos adaptativos à escassez de água como, por exemplo, através da capacidade de reduzir o potencial hídrico, aliada a adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas. Ainda, segundo esses autores, embora os processos de tolerância à seca muitas vezes sejam avaliados separadamente, as espécies utilizam mecanismos associados para sua sobrevivência em condições desfavoráveis de disponibilidade de água.

Estes mecanismos de defesa são de natureza química e, normalmente, envolvem substâncias do metabolismo secundário (Croteau et al., 2000; Pinto et al., 2002). As plantas produzem uma larga e diversa ordem de componentes orgânicos divididos em metabólitos primários e secundários. Os metabólitos primários possuem função estrutural, plástica e de armazenamento de energia. Os metabólitos secundários, produtos secundários ou produtos naturais, visivelmente, não possuem relação com o crescimento e desenvolvimento da planta (Vizzotto et al., 2010; Taiz e Zeiger, 2009).

A biossíntese dos metabólitos secundários é um processo complexo que está sujeito à influência de fatores ambientais (luz, temperatura, solo, água, etc.), época e forma de colheita, secagem, armazenamento e material genético, que podem interferir na qualidade e a quantidade dos produtos secundários (Martins et al., 2006; Gobbo-Neto e Lopes, 2007).

As respostas metabólicas resultantes do estresse hídrico são o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a redução na absorção de CO₂ de forma significativa. Como resultado, o consumo de equivalentes redutores (NADPH) para a fixação de CO₂, através do ciclo de Calvin, também reduz consideravelmente, gerando um grande excesso de equivalentes redutores. Como conseqüência, os processos metabólicos são direcionados para a síntese

de compostos que constituem as categorias dos isoprenoides, fenóis ou alcaloides (Selmar, 2008).

Inúmeras vezes o estresse hídrico foi mencionado como responsável pelas concentrações significantes de metabólitos secundários em plantas, e, de fato, existem vários relatos que ratificam que estas condições geralmente levam a um aumento na produção de vários tipos desses compostos (Gobbo-Neto e Lopes, 2007).

Para Velloso et al., (2005), o estresse hídrico e variações de temperatura levaram a alterações na produção de metabólitos secundários em *Hevea brasiliensis* L. De modo geral o estresse hídrico aumentou os níveis de todos os metabólitos, especialmente dos flavonoides.

Em estudo realizado por Alvarenga et al. (2010) com *Lippia sidoides* Cham (alecrim pimenta) foi avaliada a influência de diferentes períodos de estresse hídrico relacionados a produção de óleos essenciais e flavonoides. Foram testados cinco intervalos de tempo de irrigação, sendo observado que o teor de óleo essencial e de flavonoides diminuíram significativamente, acompanhando o aumento do estresse hídrico, com decréscimo de, aproximadamente, 50% no teor de óleo e de 60% no teor de flavonoides totais.

Farahani et al., (2008) relataram que o estresse hídrico teve efeito significativo sobre a produção e percentual de constituintes de óleo de calêndula. Com os resultados foi possível constatar que a maior produção de óleo essencial foi obtida sob condições não secas e maior rendimento de óleo foi obtido sob condições de seca.

Pinto et al. (2014), ao estudarem o efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e a composição do óleo essencial de *C. citratus*, puderam observar que maiores valores de lâmina de irrigação proporcionaram a redução dos valores de rendimento de óleo, apontando que o déficit hídrico pode favorecer a produção de óleo.

Silva et al. (2002) estudaram a efeito do estresse hídrico sobre o teor, a composição química do óleo essencial e o crescimento de *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae) e concluíram que a deficiência hídrica severa reduziu o crescimento, a produção de biomassa fresca e seca das plantas e o teor de óleo essencial.

Singh (2004), estudando alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) em diferentes regimes de irrigação, observou que a fração de reposição de água não interferiu no teor de óleo essencial.

Em trabalho realizado por Sousa et al. (2005), envolvendo a relação da sazonalidade com a produção de óleo essencial na cultura do funcho, foi observado que as folhas apresentaram uma variação com relação ao teor de óleo em diferentes épocas, sendo possível verificar uma tendência à diminuição no teor do óleo entre as diferentes estações climáticas (final do inverno - entre 1,0 e 1,6% - e final da primavera – entre 0,8 e 1,4%).

Petropoulos et al. (2008), em trabalho realizado com a cultura da salsa, em que três cultivares foram cultivadas sob condições de 35-40% e 45-60% de déficit hídrico. Observaram que com o déficit hídrico de 35-40% foi perceptível o aumento do rendimento de óleo essencial das folhas, assim como dos seus constituintes.

Em trabalho realizado avaliando doze acessos de coentro cultivados sob dois níveis de estresse hídrico por redução do fornecimento de água, sendo estes moderado e severo, foi mostrada a forte influência das condições ambientais sobre essa cultura, levando a um aumento da produção do óleo essencial pela redução do fornecimento de água, principalmente no estresse moderado (Saxena et al., 2010).

Em experimento com a cultura do coentro, Hassan e Ali (2014) avaliaram a produção e composição de óleo essencial da cultura a partir da disponibilização de cinco lâminas de irrigação, as quais foram 40%, 60%, 80%, 100% e 120% da evapotranspiração potencial. Constatou-se que com o aumento do nível de irrigação houve aumento na produção de óleo essencial, no entanto a constituição do óleo não apresentou mudanças.

Carvalho et al. (2003), em trabalho realizado com artemísia, apresentaram resultados em que a deficiência hídrica diminuiu o crescimento, a produção de biomassa fresca e seca das plantas e o teor de óleo essencial.

Em muitos casos a redução hídrica tem contribuído ativamente para o acúmulo de compostos ativos em plantas. Sob condições de estresse as espécies herbáceas e arbustivas tendem a aumentar a produção de terpenos (Marchese et al., 2010).

Plantas de lavanda submetidas ao estresse hídrico apresentaram aumento do teor e qualidade dos óleos essenciais, porém teve redução na produção de biomassa (ZHU et al., 2018). Mahmoud et al. (2018) recomendam, para plantas de marroio, situações de menor disponibilidade hídrica para maximizar o teor de óleo essencial. Nessas situações a redução da produção vegetal foi visível.

Em trabalho realizado por Ghassemi-Golezani et al. (2018) em *Carum copticum* L. com tratamentos de ácido salicílico e ácido abscísico, todos submetidos ao estresse hídrico, percebeu-se uma redução dos componentes do óleo essencial e biomassa fresca. Plantas de sálvia e lavanda foram cultivadas sob irrigação adequada, moderada e déficit hídrico severo, obtendo-se que as plantas sob estresse apresentaram menor produção de biomassa, porém beneficiaram-se do rendimento e da qualidade do óleo essencial, com maiores concentrações de antioxidantes (Chrysargyris et al., 2016).

Ainda que muitos estudos apontem o estresse hídrico como um fator favorável ao aumento da produção dos óleos essenciais e seus componentes, os resultados não são conclusivos. Assim, há necessidade de novas pesquisas que possibilitem a melhor compreensão da relação entre a disponibilidade hídrica e a produção dos compostos voláteis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos na Unidade de Apoio à Pesquisa da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ. Os trabalhos foram desenvolvidos em ambiente protegido, estufa com 147 m², 546 m³, coberta com filme transparente apresentando espessura de 150 µm e lateral com tela de 35% de sombreamento. As coordenadas geográficas, do local no qual foi implantado o experimento, compreendem 21° 45' 39h de latitude Sul e 41° 17' 20h de longitude a Oeste. O clima da região, na classificação de Köppen (1948), é do tipo AW, tropical com estação seca, apresentando temperatura média de 23,6 °C e pluviosidade média anual de 1073 mm.

3.2. Material vegetal e propagação

As espécies estudadas foram o funcho (*Foeniculum vulgare*), a salsinha (*Petroselinum crispum*) e o coentro (*Coriandrum sativum*), sendo utilizadas as cultivares Erva doce de cabeça, Graúda Portuguesa e Verdão, respectivamente.

A cultivar de funcho Erva doce de cabeça é composta por um bulbo branco ou verde pálido, a partir do qual o caule cresce, sendo o caule coberto por ramagens verdes, perto das quais flores crescem e produzem sementes. É uma

cultura que pode ser semeada o ano inteiro, porém apresenta ciclo de 80 dias no verão e 100 dias no inverno, com altura comercial de 60 cm. Já a cultivar de salsinha Graúda Portuguesa apresenta grande vigor e hábito de crescimento ereto, sendo esta resistente ao florescimento precoce, além de mostrar boa tolerância às baixas temperaturas. É uma planta de coloração verde escuro, sabor mais intenso e de fácil rebrote e, assim como o funcho, sua semeadura é viável o ano inteiro, com ciclo de 60 dias no verão e 80 dias no inverno, e altura comercial entre 12 a 27 cm (Filgueira 2008b).

A cultivar de coentro Verdão possui característica muito rústica e folhas verde escuras. Tem boa adaptação a altas temperaturas e possui tolerância a doenças do solo em geral. Sua semeadura pode ser realizada o ano inteiro, com ciclo de 35 a 40 dias e altura de folhagem entre 30 e 40 cm. É uma cultivar de fácil produção e ótimo rendimento (Filgueira 2008b).

Para as três culturas, foram produzidas mudas a partir de semeadura, em bandejas de poliestireno expandido de 200 células preenchidas com substrato comercial para hortaliças. Na sequência, após a emergência das primeiras folhas, foi realizada a transferência das plantas para copos de descartáveis de 200 mL, sendo estes preenchidos, também, com substrato para hortaliças, nos quais permaneceram até apresentarem desenvolvimento ideal para a realização do transplantio.

3.3. Instalação e condução do experimento

As espécies estudadas foram transplantadas possuindo em média 15 cm de altura e cultivadas em vasos de 5,5 L, preenchidos com o substrato para hortaliças Carolina Soil, composto por turfa, vermiculita, resíduo orgânico agroindustrial classe A e calcário, sendo realizada a padronização da massa para manter a homogeneidade entre vasos. É importante destacar que ao longo do experimento não foi realizada adubação.

Para a determinação do teor de água do substrato no momento do preenchimento dos vasos, uma amostra de, aproximadamente, 100 g foi pesada e submetida à secagem em estufa (105°C), por 48 h, e novamente pesada. A partir da umidade gravimétrica pôde-se calcular a massa de substrato seco em cada vaso. Logo após o preenchimento do vaso foi realizada a saturação do substrato

para determinação da capacidade máxima de retenção de água no vaso. O procedimento consistiu em manter os vasos em um recipiente contendo água a 2/3 de sua altura por 24 h. A superfície superior do vaso foi recoberta com sacos de plástico, para evitar a evaporação. Após o período estabelecido o vaso foi removido do recipiente com água para que o excesso de água fosse drenado livremente durante 24 h. Na sequência, foi obtida a massa do substrato hidratado, sendo a diferença em relação a massa do substrato seco, considerada correspondente à massa de água necessária para atingir 100% da capacidade máxima de retenção de água do vaso.

A curva de retenção de água (Figura 1) foi determinada no Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias com uso de funil de placa porosa e câmaras de pressão de Richards, permitindo relacionar a umidade e tensão da água no substrato.

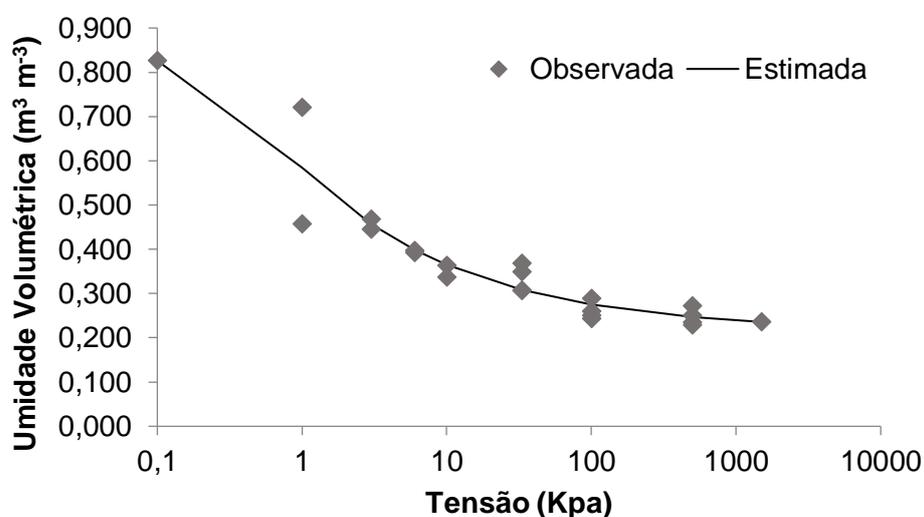


Figura 1. Curva de retenção de água do substrato utilizado para cultivo das apiáceas salsa, coentro e funcho.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 8 repetições para salsinha e coentro e com 10 repetições para o funcho, sendo que cada parcela foi representada por um vaso. Cada vaso foi composto por uma, 20 e 150 plantas para o funcho, a salsinha e o coentro, respectivamente.

Os tratamentos foram compostos por três níveis de fornecimento de água, sendo a irrigação do tratamento controle realizada diariamente para que fosse atingida a umidade equivalente à 100% da capacidade máxima de retenção previamente determinada. Os outros dois tratamentos foram correspondentes ao fornecimento de 75% (NÍVEL 1) e 50% (NÍVEL 2) do volume de água fornecido ao tratamento controle. O monitoramento da quantidade de água no substrato do tratamento controle foi feito por meio do método gravimétrico. Com o auxílio de uma tabela contendo a relação entre a massa do conjunto e a porcentagem de água no substrato, foi determinada a quantidade de água a ser repostada nos vasos para atingir a porcentagem de água referente a cada tratamento.

3.4. Avaliações

A coleta do material vegetal, das culturas em estudo, foi realizada nas primeiras horas da manhã, por volta das 7h.

3.4.1. Funcho

3.4.1.1. Avaliações biométricas

Como variáveis resposta foram avaliadas: massa fresca da parte aérea (MFPA), número de folhas (NF), massa fresca de folhas (MFFo), massa fresca do bulbo (MFB), largura do bulbo (LB), altura do bulbo (AB), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR).

As variáveis AB e LB foram obtidas com auxílio de régua e fita métrica, respectivamente (Figura 2). Para obtenção do peso fresco de raízes, foi retirado o substrato e, posteriormente, realizada lavagem, utilizando peneiras para reduzir a perda de material radicular.

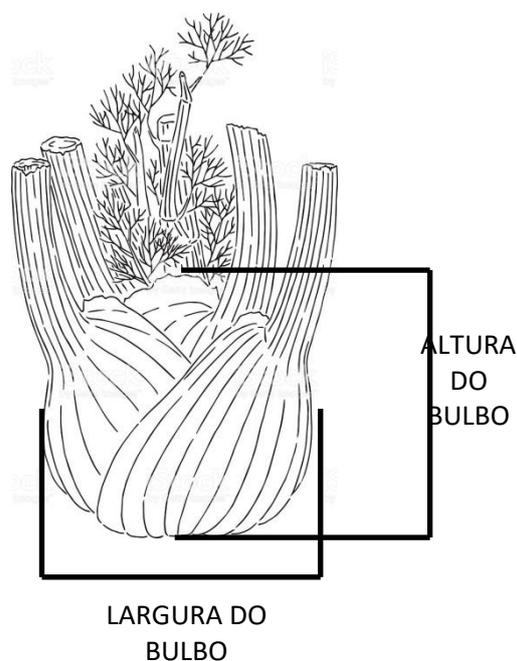


Figura 2. Representação da avaliação das variáveis largura do bulbo (LB) e altura do bulbo (AB). Fonte: <https://www.istockphoto.com/br/vetor/desenho-de-erva-doce-gm514465926-88114247>

Após as avaliações, as plantas foram colocadas em uma estufa de ventilação forçada, passando por um processo de secagem à 60 °C, até apresentarem massa constante, sendo necessário, aproximadamente, 24 h para a estabilização. Após esse procedimento, foi realizada a análise de MSPA e MSR, utilizando-se da mesma balança.

É válido destacar que a MSPA foi obtida por meio de um fator de correção gerado pelo peso seco obtido de uma amostra, de 50 gramas, fresca retirada de cada planta/parcela. Sendo assim, a MSPA foi obtida por meio da relação do valor da massa seca obtida da amostra fresca de 50 gramas, com o valor da massa fresca total.

3.4.1.2. Avaliações fisiológicas e bioquímicas

As variáveis fisiológicas e bioquímicas avaliadas foram conteúdo relativo de água (CRA) e sólidos solúveis (°BRIX).

Para determinação do CRA foram retirados 6 discos do material vegetal (bulbo), com o auxílio de um perfurador de rolha. Os resultados de peso do disco fresco, disco saturado e disco seco foram obtidos por uma balança analítica de precisão. O CRA foi calculado de acordo com a fórmula (1).

$$CRA = \frac{\text{massa disco saturado} - \text{massa disco seco}}{\text{massa disco fresco} - \text{massa disco seco}} \times 100 \quad [1]$$

Para saturação, os discos do bulbo foram mantidos por 24 horas em água desionizada ao abrigo da luz. Após a saturação o excesso de água da superfície dos tecidos foi removido com uso de papel absorvente. Em seguida os discos foram pesados. A massa seca dos discos foi obtida após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105-110 °C por 24 h.

Para determinação dos sólidos solúveis 50 g do vegetal fresco foi triturado em liquidificador com 100 mL de água desionizada. O material resultante foi coado com auxílio de uma peneira e centrifugado a 4000 rpm durante 15 minutos. Na sequência, com o auxílio do refratômetro digital de mão (modelo Poket PAL 1, ATAGO, Japão) foi determinado o °BRIX de cada amostra.

3.4.2. Salsinha e coentro

3.4.2.1. Avaliações biométricas

As plantas foram avaliadas quanto à massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca das raízes (PFR), peso seco das raízes e área foliar (AF). A AF foi determinada com o auxílio de um integrador de área foliar de bancada (modelo LI-3100, LI-Cor, EUA).

3.4.2.2. Avaliações fisiológicas

Como variáveis fisiológicas foram avaliadas a temperatura da folha às 9 h, a intensidade de verde às 10 h e o conteúdo relativo de água. Para avaliação das variáveis fisiológicas foram selecionadas cinco folhas totalmente expandidas e saudáveis. Para obtenção da temperatura foliar foi utilizado um termômetro de

infravermelho (modelo AK30 NEW, AKSO, China). As medições foram realizadas a 10 cm de distância da folha. Nas mesmas folhas foi determinada a intensidade de verde com uso de medidor portátil de clorofila (SPAD, modelo 502, Konica Minolta, Japão). O CRA foi determinado conforme especificado no item 3.4.1.2., a partir de discos foliares.

3.5. Extração dos óleos essenciais

Para a extração dos óleos essenciais foi utilizado “material fresco + 1000 mL de água”. A técnica de extração foi a hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger. Antes do início da extração foram adicionados ao tubo coletor 3 mL de hexano. A extração foi realizada durante 2 h a partir do momento que corresponderá ao início do acúmulo do óleo no tubo coletor do aparelho. Seguindo-se a extração, a mistura hexano + óleo essencial foi coletada com o auxílio de pipeta graduada e seu volume determinado.

Em seguida foi determinada a massa do material coletado. A diferença de valor entre a massa correspondente ao volume coletado de hexano “puro” e a massa do volume coletado “hexano + óleo essencial”. Após a pesagem, o óleo essencial foi armazenado em frasco de vidro âmbar envolto em papel alumínio e mantido em freezer até a realização da análise de composição química.

A análise qualitativa do óleo e determinação do percentual de compostos presentes no mesmo foi realizada com o auxílio de cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (GCMS-QP2010 plus da marca SHIMADZU), sob as seguintes condições: coluna HP-5 (30x0,25x0,25), temperatura do forno 60 °C, temperatura de injeção 220 °C, fluxo na coluna 1 mL min⁻¹, taxa de temperatura 60 à 260 °C, temperatura do detector 280 °C. Os compostos presentes no óleo essencial foram identificados pelo índice de similaridade superior a 90%, de acordo com biblioteca do equipamento (NIST08).

3.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância ($P \geq 0,05$) e quando observado efeito dos tratamentos foi realizado teste de médias (Tukey 5%), com auxílio do programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de restrição hídrica utilizados neste experimento, correspondentes a, reduções de 25% e 50% no fornecimento de água para as plantas, afetaram negativamente o crescimento das espécies estudadas. De maneira geral, os efeitos mais expressivos ocorreram na parte aérea, embora o sistema radicular também tenha sido afetado.

Salsa, coentro e funcho são hortaliças e, como tais, são comercializadas e consumidas *in natura*. Nesse sentido torna-se necessário destacar a importância da produção de biomassa verde dessas culturas. Além disso, a massa fresca é um indicativo do estado fisiológico relativo ao conteúdo de água nos tecidos e sua progressiva redução indica os efeitos do estresse hídrico (Lopes e Lima, 2015). No presente trabalho as culturas em estudo mostraram-se sensíveis às restrições hídricas impostas, apresentando redução da produção da massa fresca à medida em que foram submetidas a condições de redução da disponibilidade de água (Figura 3). É interessante destacar a intensidade da redução da MFPA dos tratamentos níveis 1 e 2 em relação ao controle, sendo estas de 23% e 49% para a salsa (Tabela 1A), 31% e 48% para o coentro (Tabela 2A), 20% e 41% para o funcho (Tabela 3A).

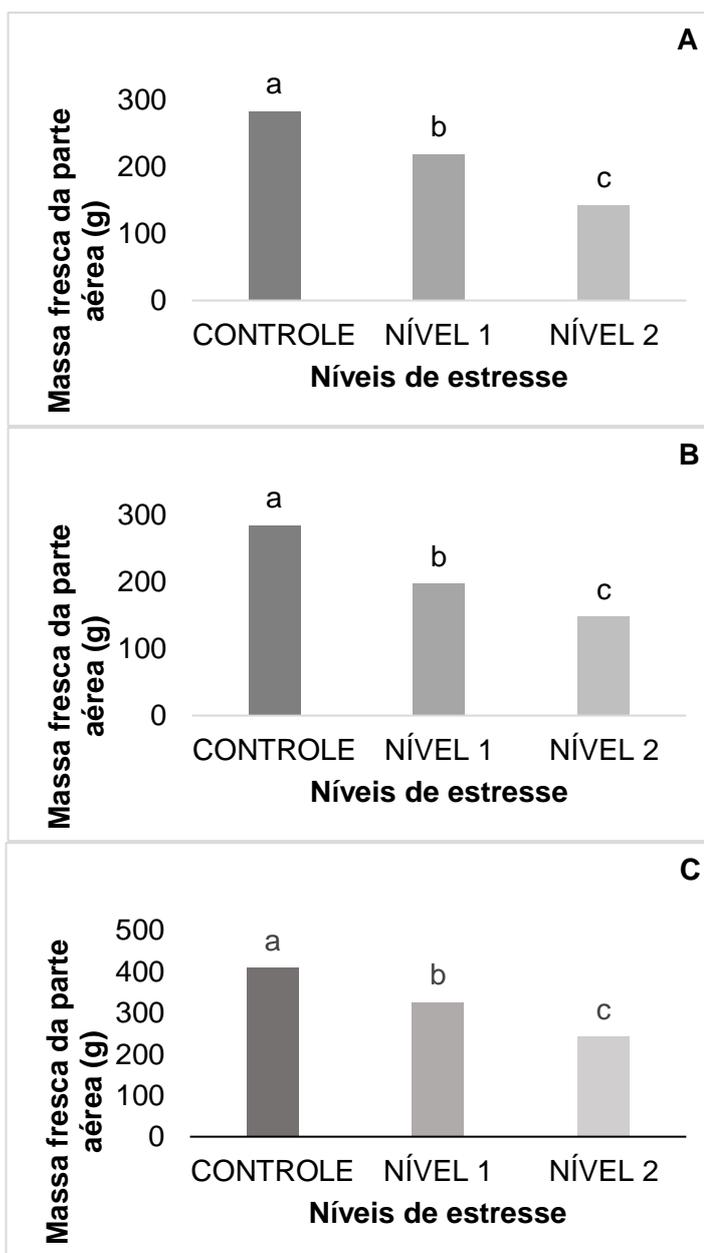


Figura 3. Massa fresca (g vaso^{-1}) da parte aérea de salsa (A) (*Petroselinum crispum*), coentro (B) (*Coriandrum sativum*) e funcho (C) (*Foeniculum Vulgare*), em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

A massa fresca nem sempre é uma boa referência para medir o crescimento da planta, pois é uma variável sensível as alterações ambientais e por isso apresenta oscilações que podem gerar resultados pouco confiáveis. Assim a massa seca é uma alternativa mais precisa para avaliação do

crescimento, pois esta característica reflete a atividade a fotossintética e indica a aquisição e assimilação de carbono, já que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do seu crescimento, é resultante da atividade fotossintética (Benincasa, 2003). Nas condições de restrição hídrica impostas às plantas neste trabalho verificou-se que todas as culturas apresentaram redução de ganho de massa seca, sendo observados diferentes níveis de sensibilidade ao estresse (Figura 4).

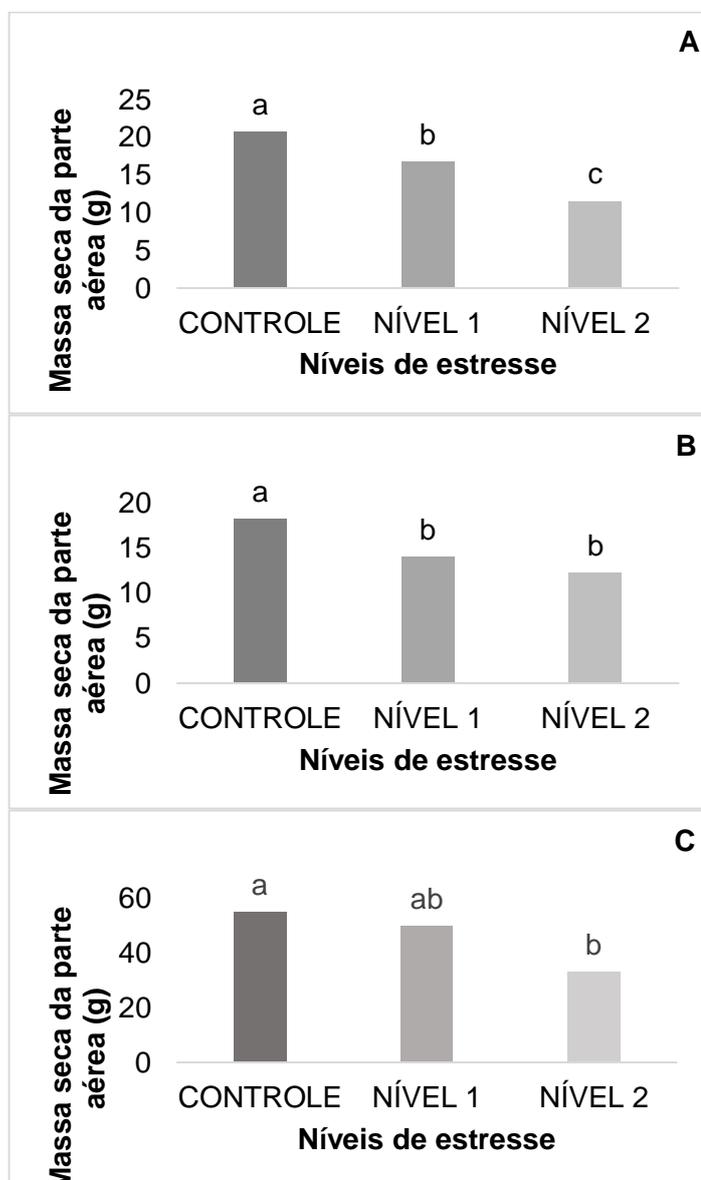


Figura 4. Massa seca (g vaso⁻¹) da parte aérea de salsa (A) (*Petroselinum crispum*), coentro (B) (*Coriandrum sativum*) e funcho (C) (*Foeniculum Vulgare*), em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

Os dados obtidos indicam que quando induzidas restrições de 25% no fornecimento de água o funcho apresenta maior tolerância, enquanto salsa e coentro respondem com reduções mais expressivas na massa seca. No entanto, para o funcho e coentro não há diferença significativa entre os dois níveis de restrição hídrica aos quais as plantas foram submetidas. Quando consideradas as respostas comparando-se reduções de 25% com reduções de 50% verifica-se que o impacto da restrição hídrica é menor para o coentro. A salsa parece ser a cultura mais sensível apresentando restrições do crescimento significativamente maiores conforme o aumento do déficit hídrico.

A raiz é o órgão de percepção do estresse hídrico por alteração da disponibilidade de água no solo, uma vez que a absorção de água é sua função primordial. Plantas que crescem sob condições de estresse hídrico têm a habilidade de desenvolver um sistema radicular eficiente, visando assegurar um fornecimento de água contínuo para atender à transpiração e ao seu crescimento (Al-Karaki et al., 2007). Embora sua importância seja reconhecida, o conhecimento sobre o sistema radicular ainda é insuficiente, quando comparado a outros órgãos vegetais. Isso se dá em função da dificuldade inerente às análises de raízes, que levam a perdas do material. No entanto, o sistema radicular deve ser considerado quando se trabalha com estresse hídrico, uma vez que sua resposta pode indicar as estratégias das plantas para lidar com o fator estressante (Gonçalves e Lynch, 2014).

Em relação à massa fresca das raízes, salsa e funcho apresentaram alteração em resposta ao estresse hídrico, enquanto coentro não teve essa variável alterada pelos tratamentos. A deficiência hídrica com redução de 50% do fornecimento hídrico (Nível 2) resultou em alterações na massa fresca de raiz de salsa, com reduções de, em média, 68% em relação às massas obtidas nas plantas controle (Figura 5).

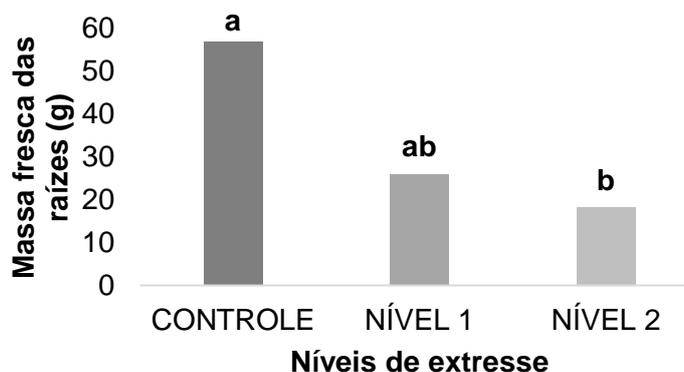


Figura 5. Massa fresca (g vaso^{-1}) da raiz de salsa (*Petroselinum crispum*), em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

Já para o funcho foi observado maior desenvolvimento radicular quando as plantas foram submetidas a deficiência hídrica moderada, i.e., redução de 25% do fornecimento hídrico (Nível 1), com produção de massa fresca de raiz equivalente a, aproximadamente, o dobro daquela obtida no tratamento controle (Figura 6).

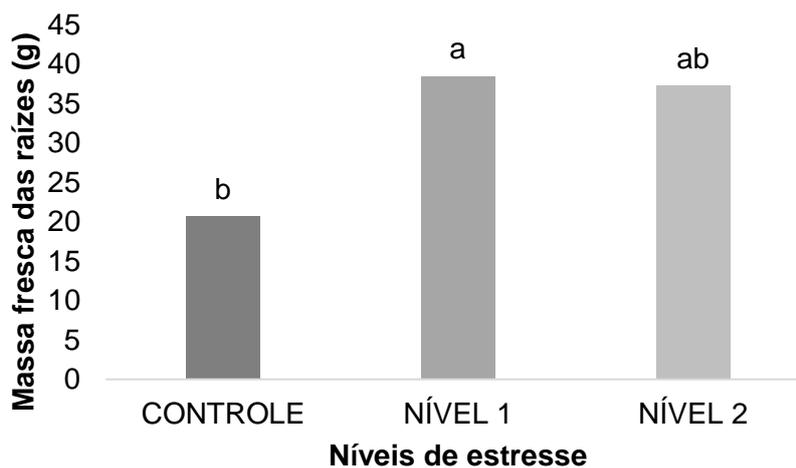


Figura 6. Massa fresca (g vaso^{-1}) da raiz de funcho (*Foeniculum vulgare*), em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

Essa resposta pode ser associada a estratégias de tolerância que visam a sobrevivência em condições adversas. Para a cultura do coentro a média geral de produção de massa fresca de raízes foi de 7,22 g/vaso (Tabela 2A).

Quanto à massa seca de raiz apenas salsa foi negativamente influenciada pela redução do fornecimento hídrico, onde restrições de 25% no fornecimento de água já foram suficientes para reduzir o crescimento em massa seca em 30%, em média, e reduções de 50% causaram decréscimo de 48% no acúmulo de massa seca de raízes (Figura 7). Para coentro e funcho não houve efeito dos tratamentos (Tabelas 2A e 3A), com médias gerais de 1,13 g e 7,49 g, respectivamente

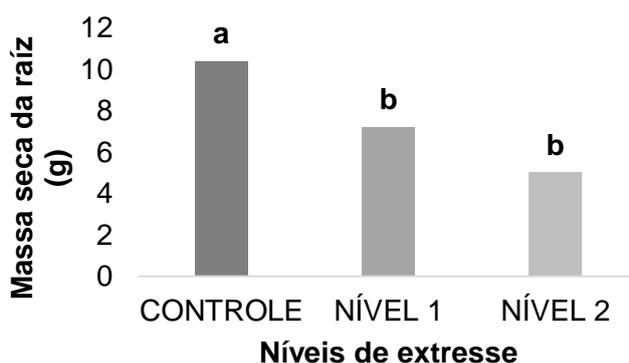


Figura 7. Massa seca (g vaso^{-1}) da raiz de salsa (*Petroselinum crispum*), em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

Quando o crescimento da parte aérea é restringido por algum fator do meio, ocorre o aumento da disponibilidade de assimilados para as raízes. Isso leva a um maior crescimento, possibilitando a exploração de novas áreas do solo e permitindo o aumento da aquisição de recursos. Esse processo proporciona o restabelecimento da planta após ser submetida ao estresse hídrico (Lopes e Lima, 2015).

Porém os resultados apresentados nesse estudo apontam diferenças em relação ao observado na literatura, o que nos leva a formular questões sobre métodos de avaliação. As raízes apresentam diâmetros variáveis, com expressivo número de raízes finas que são mais passíveis a perdas no processo de coleta e

lavagem. Assim, trabalhos com grandes volumes de substrato ou solo possuem maior probabilidade de erros. Dessa forma, é relevante avaliar se a massa de raiz seria a melhor variável a se considerar, pois raízes finas respondem ao estresse hídrico com maior sensibilidade, o que também poderia justificar redução de massa.

As análises das massas da parte aérea e raiz isoladamente podem fornecer informações sobre o acúmulo de massa, porém a relação entre estas variáveis pode indicar alocação preferencial para uma ou outra parte revelando a resposta da planta ao estresse e suas estratégias de tolerância ou susceptibilidade. A relação parte aérea/raiz é uma variável útil para esta avaliação. Com o aumento do crescimento das raízes, a relação parte aérea/raiz é menor sob baixos potenciais hídricos, o qual juntamente com o efeito do fechamento estomático pelo ABA, auxilia a planta a enfrentar o estresse hídrico (SHARP, 2002). Apenas o coentro apresentou alteração na razão parte aérea/raiz (seca) (Figura 8), enquanto para salsa e funcho as razões médias gerais foram de 2,33 e 6,38, respectivamente (Tabelas 1A e 3A), sem diferenças entre os tratamentos.

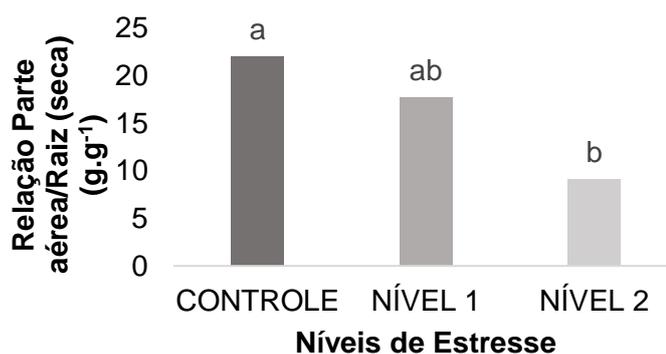


Figura 8. Relação Parte aérea/Raiz (seca)(g.g⁻¹) da raiz de coentro (*Coriandrum sativum*), em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

Diante dos resultados apresentados pelo tratamento nível 2 podemos observar menor valor da razão parte aérea/raiz, o que implica dizer que a planta de coentro se mostrou bem tolerante, tendo em vista que esta investiu maior

quantidade de fotoassimilados para o desenvolvimento radicular em detrimento da parte aérea. Essa maior alocação de fotoassimilados para as raízes na planta em condição de déficit hídrico sugere uma priorização do crescimento radicular, o que favorece a absorção de água e menor perda de água por transpiração (Figuerola et al., 2004; Taiz e Zeiger, 2004).

O conteúdo relativo de água tem sido utilizado na avaliação do estado hídrico das plantas, mais especificamente das folhas, sendo, desse modo um bom indicador de estresse hídrico, uma vez que este se relaciona a reduções no teor de água dos tecidos (Machado, 2004). Sob as condições de restrição hídrica aplicadas neste trabalho não foi observado efeito dos tratamentos sobre o CRA para as espécies estudadas com médias de 70,20, 76,04 e 73,48% para salsa, coentro e funcho, respectivamente (Tabelas 1A, 2A e 3A). A ausência do efeito dos tratamentos sobre o CRA indica que as condições aplicadas não foram suficientes para alterar o teor de água nos tecidos, conferindo às plantas, mesmo sob estresse, um estado de bom funcionamento fisiológico e preservação das estruturas celulares.

A deficiência hídrica nas plantas é normalmente caracterizada por perda de clorofila e um declínio progressivo na capacidade fotossintética, mostrando-se como um grande impedimento no processo de incremento de massa. Isso leva a análise dos pigmentos fotossintéticos a ser uma importante ferramenta para avaliação da sanidade e integridade dos aparatos internos da célula durante o processo de fotossíntese (Rong-Hua et al., 2006). Os resultados obtidos mostram que, mesmo havendo redução em algumas variáveis, como crescimento da parte aérea e sistema radicular, o sistema de captação de energia para fotossíntese das culturas ainda não havia sido afetado. A avaliação da intensidade de verde (SPAD) foi realizada apenas em salsa e coentro, não sendo possível no funcho em função da morfologia foliar. As médias obtidas para salsa e coentro foram de, em média, 36,36 e 20,27, respectivamente (Tabelas 1A e 2A), sem diferenças entre tratamentos.

A temperatura da folhagem tem sido utilizada como indicador de estresse hídrico (Gonzalez-Dugo et al., 2014; Taghvaeian et al., 2012). Do total de água absorvido pela planta, cerca de 95% é utilizado para manter o equilíbrio térmico por transpiração. O aumento da temperatura da folha, em plantas sob deficiência hídrica ou estressadas está relacionado ao aumento da resistência difusiva,

controlado predominantemente pela diminuição da condutância estomática em consequência da diminuição do conteúdo de água disponível no solo (Mansur e Barbosa, 2000). A variação na transpiração, portanto, afeta diretamente a temperatura da planta, notadamente a temperatura foliar (Qiu et al., 2000). Deste modo, a temperatura foliar pode ser utilizada como um meio indireto de avaliar a transpiração da planta, sendo consideradas comprometidas as relações hídricas se a temperatura foliar estiver elevada. Nas avaliações realizadas para essa variável foi observado que não houve alteração significativa em resposta aos diferentes tratamentos, ou seja, a redução da disponibilidade hídrica não elevou a temperatura foliar. Assim, pode-se inferir que não houve redução significativa da taxa transpiratória em resposta aos tratamentos e, possivelmente, a condutância estomática também não apresentou redução. Em conjunto, essas informações demonstram que as trocas gasosas não estavam comprometidas sob os níveis de redução de fornecimento de água aplicados. As temperaturas médias observadas foram de 23,42 e 23,05°C para salsa e coentro, respectivamente (Tabelas 1A e 2A).

As plantas possuem estratégias de aquisição e uso de recursos. Em locais com baixa disponibilidade de recursos, prevalece uma estratégia conservativa, caracterizada por crescimento lento, proteção dos tecidos, órgãos de reserva, folhas de vida longa e com baixa concentração de nutrientes, baixa taxa fotossintética e baixa taxa de respiração (Donovan et al., 2011). Com isso, a deficiência hídrica afeta o crescimento das plantas, devido à redução na turgescência da célula (Nogueira et al., 2005), o que resulta na diminuição do desenvolvimento da área foliar e, conseqüentemente, afeta a produção e a translocação de fotoassimilados para as novas áreas de crescimento (Larcher, 2004). Sendo as folhas os órgãos vegetais responsáveis pela fotossíntese, com poucas exceções, a área foliar deve ser destacada por ser uma característica determinante ou correlacionada à superfície fotossinteticamente ativa (Benincasa, 2003). A folha, por possuir todo o aparato fotossintético da planta, é o órgão que mais responde, de forma plástica (Castro et al., 2005; Chiamolera et al., 2010) sendo que sua redução limita a produtividade, uma vez que provoca queda na interceptação de luz. Deste modo, a área foliar é considerada um indicador de importância, utilizada para investigar a adaptação ecológica das plantas (Monteiro et al., 2005) e para as hortaliças em estudo, salsa e coentro, torna-se uma

avaliação de relevância, tendo em vista que são hortaliças cujas folhas são os órgãos de interesse comercial.

A área foliar de salsa e coentro foi negativamente afetada apenas quando as plantas foram submetidas ao nível de estresse mais severo (nível 2), exibindo reduções de 33 e 31%, respectivamente, em relação ao tratamento controle (Figura 9). Espécies em locais mais secos possuem tendência em apresentar área foliar específica menor do que espécies que estejam em áreas com boa disponibilidade de água (Pooter e Garnier, 2007), representando uma estratégia da planta contra a dessecação (Ackerley et al., 2002).

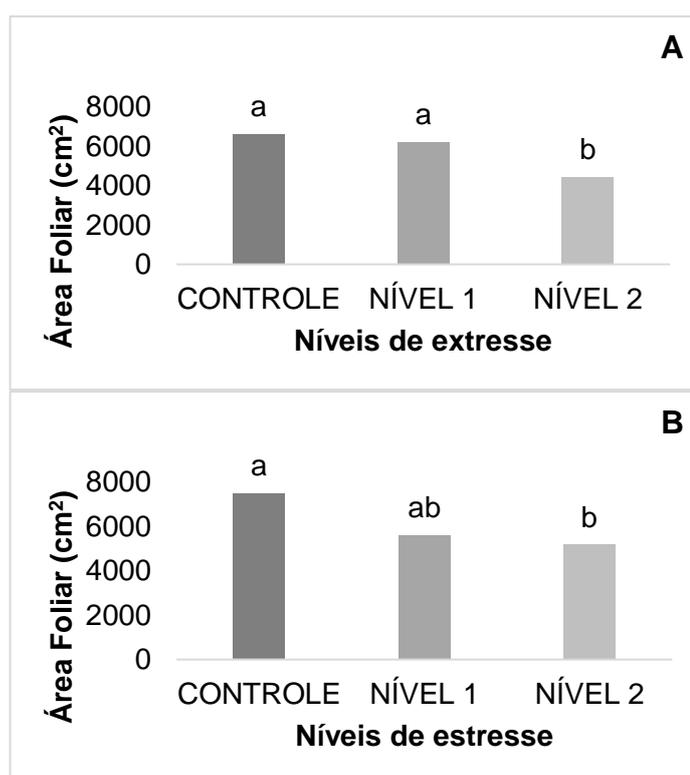


Figura 9. Área foliar (cm²) de salsa (A) (*Petroselinum crispum*) e coentro (B) (*Coriandrum sativum*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

As folhas e caules tenros (bulbo) do funcho são as estruturas de interesse para o consumo *in natura*. Sendo assim, a falta de variação do número de folhas da planta em condições de redução da disponibilidade hídrica apresenta-se como um fator vantajoso para a cultura, mostrando valores, em média de, aproximadamente, 18 unidades.

As folhas são os órgãos mais sensíveis, mas quando as folhas do funcho são expostas a ambientes com baixa disponibilidade hídrica, apresentam um endurecimento exterior para evitar a perda de água (Lorenzi e Matos, 2002). Nos resultados obtidos neste estudo, pôde-se observar efeito distinto ao observado na literatura, tendo em vista que a redução da disponibilidade hídrica levou a uma redução gradual da massa fresca de folhas, apresentando redução equivalente a 41,87% quando comparado ao tratamento controle (Figura 10).

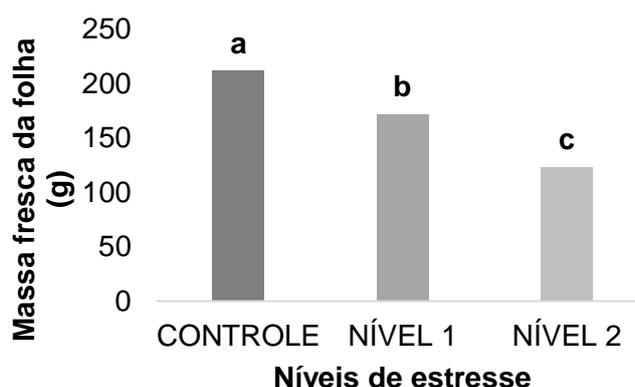


Figura 10. Massa fresca (g planta^{-1}) da folha de funcho (*Foeniculum vulgare*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

O bulbo é uma estrutura suculenta e corresponde basicamente ao conjunto de pecíolos da planta, que se caracterizam por serem grandes, de cor esbranquiçada, de base larga, sendo emitidos pelo caule de tamanho reduzido, abraçando-o (Del Rio et al., 2007). O bulbo constitui parte da folha, porém possui maior tolerância aos efeitos do estresse envolvendo a redução do crescimento. Contudo, em situação de baixa disponibilidade hídrica, a qual pode causar danos a planta, o maior impacto pode ser notado na largura dessa estrutura vegetal. Em relação as análises realizadas para a largura do bulbo, notou-se diferenças significativas entre os tratamentos, mostrando redução de 22% para o nível 2, em relação ao controle. Com isso observa-se que provavelmente a redução da disponibilidade hídrica influenciou negativamente no metabolismo da planta, reduzindo o acúmulo dessa estrutura com maior capacidade de reserva (Figura

11). Já a altura do bulbo não mostrou diferença significativa para os tratamentos, apresentando valores com média de 11,93 cm (Tabela 3A).

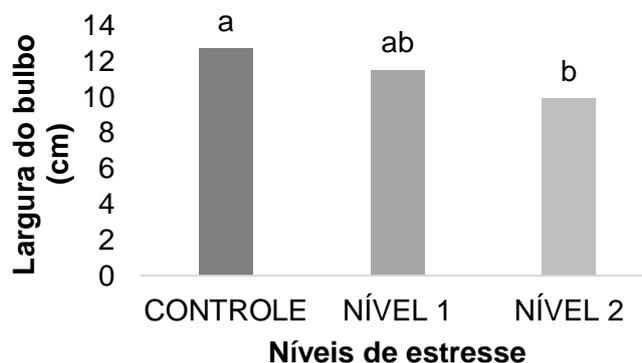


Figura 11. Largura do bulbo (cm) do funcho (*Foeniculum vulgare*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

O crescimento é afetado pelo déficit hídrico por restrições tanto na divisão como no alongamento celular. Com isso, ocorre um decréscimo na expansão das folhas, anterior a redução do número de folhas verdes, e, logo após, o acúmulo de fitomassa e de sólidos solúveis é afetado (Inman-Bamber, 2004). No decorrer do experimento a indução do estresse hídrico nas plantas de funcho levou a redução significativa da produção de biomassa verde, além de provocar a murcha de folhas. Com isso houve a redução no número folhas fotossinteticamente ativas que permaneceram na planta e a ocorrência de um bulbo com crescimento reduzido, diminuindo, assim, a produção e acúmulo de açúcares. Notou-se diferença significativa para a variável °Brix, apresentando efeito negativo com declínio de 68% no tratamento nível 2, quando comparado ao controle (Figura 12). A fotossíntese influencia na concentração interna de CO₂, o que é importante porque a produtividade da planta pode ser resultante do produto da energia solar interceptada e do CO₂ fixado durante um período. Na presença de quantidade adequada de luz e boas condições ambientais, como a disponibilidade de água, a fotossíntese é favorecida. Sendo assim, concentrações mais altas de CO₂ sustentam taxas fotossintéticas elevadas, levando à produção de compostos que

exercem efeito sobre a produção de sólidos solúveis (Taiz e Zeiger, 2006; Ancelotti e Costa, 2010). Com isso podemos entender que a redução da disponibilidade hídrica levou a uma menor produção de fotoassimilados necessários para o crescimento e acúmulo de sólidos solúveis. Discorridas as informações, os aspectos visuais das culturas podem ser analisados (Figura 13).

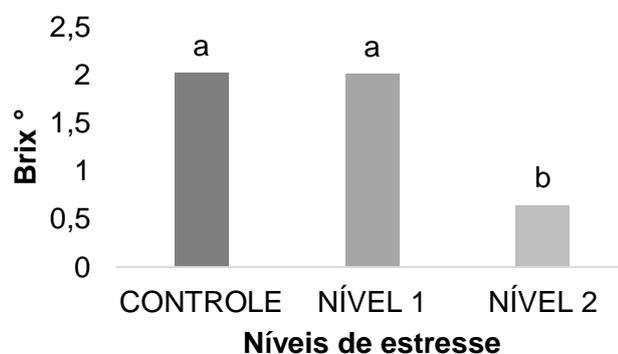


Figura 12. Valore referentes ao acúmulo do Brix do funcho (*Foeniculum vulgare*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

CULTURAS	NÍVEL DE ESTRESSE		
	CONTROLE	NÍVEL 1	NÍVEL 2
SALSA			
COENTRO			
FUNCHO			

Figura 13. Aspecto visual de plantas de salsa (*Petroselinum crispum*), coentro (*Coriandrum sativum*) e funcho (*Foeniculum vulgare*) das culturas submetidas aos diferentes níveis de estresse hídrico, na época da colheita.

Os resultados anteriormente expostos mostram os efeitos do estresse hídrico para as plantas e as modificações relacionadas ao crescimento. Para a cultura da salsa e do coentro, a ausência de efeito sobre a temperatura da folha indica que as trocas gasosas não foram afetadas. A temperatura da folha está relacionada com a transpiração, sendo que sua redução pode ser inferida pelo aumento da temperatura. Lima et al. (2010) relatam que o comportamento estomático determina a demanda transpiratória a que as folhas estão potencialmente sujeitas, controlando sua perda de água para o ambiente, na forma de vapor de água. Vieira Júnior et al. (2007) ressaltam que a transpiração é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura foliar devido às menores aberturas estomáticas e, por consequência, ocorrem diminuição da transpiração foliar e aumento da temperatura da folha, por conta da redução da dissipação do calor latente sinalizando que a capacidade de aclimatação das plantas diminui via transpiração.

O SPAD mede o índice de verde que representa indiretamente o *status* de clorofila na planta. Em folhas senescentes há baixa concentração de clorofila, decorrente da degradação dessas moléculas, e como consequência há também redução da atividade fotossintética. Nesse estudo podemos observar, nos distintos tratamentos, que as plantas estão estatisticamente com o mesmo nível de clorofila, o que indica que o aparelho de captação de energia luminosa da planta não foi afetado pelo estresse hídrico. A clorofila participa do processo de fotossíntese, atuando na etapa fotoquímica. As clorofilas são pigmentos responsáveis pela captura de luz utilizada na fotossíntese, sendo elas essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP e NADPH. Assim as clorofilas estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, com seu crescimento e adaptação aos diferentes ambientes (Jesus e Marengo, 2008). Silva et al., (2015) viram, em trabalho realizado com berinjelas, que o teor de clorofila aumentou com o aumento de lâminas de irrigação, pois a disponibilidade hídrica favoreceu o funcionamento do aparelho fotossintético, que influenciou positivamente na produção de pigmento. Brandão Filho et al. (2003), estudando trocas gasosas em dois híbridos de berinjela enxertadas em cultivo protegido, relataram que a taxa fotossintética se relaciona diretamente com o teor de clorofila das folhas. Além do exposto, no presente trabalho as culturas não apresentaram acréscimo em massa fresca da

parte aérea, ou seja, não houve aumento no crescimento, tendo em vista que a planta continuou com seus processos fisiológicos e o ganho de carbono não foi paralisado, então o carbono não utilizado para o crescimento pode ter sido disponibilizado para outros processos.

Para a cultura do funcho foi observada a redução do crescimento, porém não foi possível avaliar as trocas gasosas, pois a estrutura das folhas inviabilizou a avaliação. No entanto, os resultados observados para a variável °Brix podem ser indicativos indiretos do efeito dos tratamentos sobre o metabolismo de carbono na planta. O °Brix corresponde à quantidade de sólidos solúveis totais que constituem determinada solução. No estudo foi notada uma redução dessa variável. O °Brix pode ser associado à concentração de sacarose no vegetal (Parker et al., 2015). Outros trabalhos também indicam que existe associação do °Brix com a atividade fotossintética (Almodares et al., 2012; Machado et al., 2009). Nesse sentido, podemos supor que houve uma redução da fotossíntese, o que explicaria redução de carbono para a produção de sólidos solúveis. Por outro lado, a prolina é um osmorregulador produzido por funcho em condições de estresse, como o hídrico (Zali e Ehsanzadeh, 2015), com sua biossíntese podendo concorrer pelo carbono disponível, o que seria responsável pela redução do °Brix.

A produção e o acúmulo de metabólitos secundários pelas plantas podem aumentar sob estresse, principalmente quando o uso do carbono para o crescimento ou reprodução das plantas é reduzido (Kandil et al., 2004). Se o crescimento das plantas é limitado em função de alguma restrição ambiental, como o estresse hídrico, há o acúmulo de carboidratos em seus tecidos de acordo com a hipótese do balanço de fonte/dreno (Bryant et al., 1983). Quando o crescimento cessa, o carbono não utilizado para o metabolismo primário é acumulado e esse carbono excedente poderá ser direcionado para a síntese de metabólitos secundários (Hamilton et al., 2001; Machado et al., 2006), aumentando a produção destes na planta.

Os óleos essenciais de salsa, coentro e funcho foram obtidos, mas o seu teor não foi quantificado devido à pequena massa das amostras e por estarem compondo um extrato com hexano. Desta forma, apenas a composição química foi avaliada. Os compostos observados em todas as amostras de óleos essenciais das espécies estudadas são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Foram detectados no óleo essencial extraído de folhas de salsa, em média, 36 compostos para o tratamento CONTROLE, 32 para o tratamento NIVEL 1 e 34 para o tratamento NIVEL 2. Dos compostos detectados, oito estavam presentes em todas as amostras e correspondiam aos maiores percentuais. Os compostos majoritários identificados foram apiol, safrol, β -pineno, α -felandreno, carotol, α -pineno, ocimeno e germacrene (Tabela 1). Para a cultura do coentro foram detectados no óleo essencial extraído de suas folhas, em média, 34 compostos para o tratamento CONTROLE, 31 para o tratamento NIVEL 1 e 26 para o tratamento NIVEL 2. Destes compostos, oito estavam presentes em todas as amostras e correspondiam as maiores percentagens. Os compostos majoritários identificados foram 2-dodecenal, decanal, 8-hexadecenal, dodecanal, nonano, undecanal, 2-undecenal e tetradecanal (Tabela 2). No óleo essencial extraído de folhas de funcho, em média, 18 compostos para o tratamento CONTROLE, 19 para o tratamento NIVEL 1 e 15 para o tratamento NIVEL 2. Sendo que destes compostos, oito estavam presentes em todas as amostras e correspondiam aos maiores percentuais. Os compostos majoritários identificados foram α -pineno, estragol, β -pineno, *d*-limoneno, β -mirceno, anetol, ocimeno e γ -terpineno (Tabela 3).

Para as três espécies estudadas os compostos majoritários e presentes em todas as amostras foram utilizadas para avaliação dos efeitos dos tratamentos.

Tabela 1. Características dos óleos comuns aos tratamentos aplicados na cultura da salsa (*Petroselinum Crispum*).

(fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/dodecanal#section=Top>)

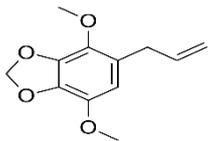
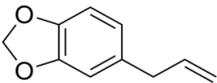
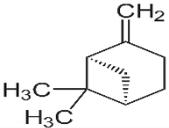
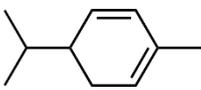
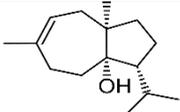
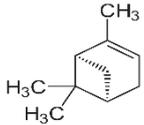
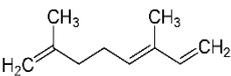
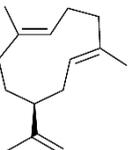
COMPOSTO	FÓRMULA	FÓRMULA ESTRUTURAL	CARACTERÍSTICAS
Apiol	$C_{12}H_{14}O_4$		Encontrado no óleo de salsinha (folhas e sementes), salsão, sassafrás, erva-doce.
Safrol	$C_{10}H_{10}O_2$		Incolor ou ligeiramente amarelo. Nas plantas funciona como repelente natural. Utilizado na indústria farmacêutica. Tem aroma característico de confeitaria.
β -pineno	$C_{10}H_{16}$		Incolor. Cheiro amadeirado. Ingrediente de sabor.
α -felandreno	$C_{10}H_{16}$		Encontrado também na pimenta da Jamaica, monoterpene cíclico, usado em fragrâncias.
Carotol	$C_{15}H_{26}O$		Sesquiterpeno.
α -pineno	$C_{10}H_{16}$		Incolor com odor de terebintina.
ocimeno	$C_{10}H_{16}$		Usados na perfumaria devido ao seu odor herbal doce.
Germacrene	$C_{15}H_{24}$		Não utilizado para fragrâncias e flavorizantes. Atrai abelhas, porém possui característica repelente.

Tabela 2. Características dos óleos comuns aos tratamentos aplicados na cultura do coentro (*Coriandrum sativum*).

(fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/dodecanal#section=Top>)

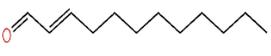
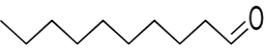
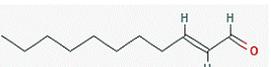
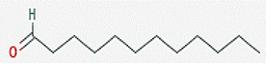
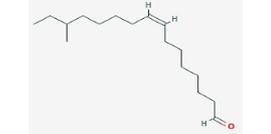
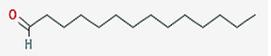
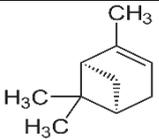
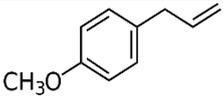
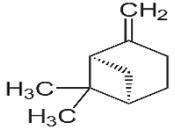
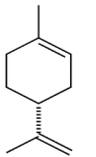
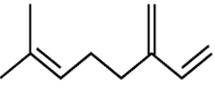
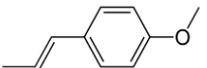
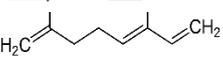
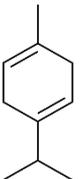
COMPOSTO	FÓRMULA	FÓRMULA ESTRUTURAL	CARACTERÍSTICAS
2-Dodecenal	C ₁₂ H ₂₂ O		Agente flavorizante encontrado também em gengibre, cerefólio e na casca de Citrus
Decanal	C ₁₀ H ₂₀ O		Saturated fatty aldehyde, formado da redução do carboxy group do ácido decanóico (capric acid). Importante no aroma do trigo sarraceno
Nonano	C ₉ H ₂₀		Presente em inúmeros óleos como oliva, orégano
Undecanal	C ₁₂ H ₂₂ O		Ingrediente flavorizante, encontrado em muitos óleos essenciais. Formado da redução do grupo ácido carboxílico do ácido undecanoico.
2-Undecenal	C ₁₁ H ₂₀ O		Também componente do aroma de frutos como manga
Dodecanal	C ₁₂ H ₂₄ O		Agente flavorizante encontrado também em cenoura, gengibre, cascas de Citrus
8-Hexadecenal	C ₁₆ H ₃₀ O		Presente em óleo essencial de diversas espécies.
Tetradecanal	C ₁₄ H ₂₈ O		Agente flavorizante, derivado do tetradecano.

Tabela 3. Características dos óleos comuns aos tratamentos aplicados a cultura do funcho (*Foeniculum vulgare*).

COMPOSTO	FÓRMULA	FÓRMULA ESTRUTURAL	CARACTERÍSTICAS
α -pineno	$C_{10}H_{16}$		Incolor com odor de terebintina
Estragol	$C_{10}H_{12}O$		Agente aromatizante. Incolor e com odor de anis
β -pineno	$C_{10}H_{16}$		Incolor. Cheiro amadeirado. Ingrediente de sabor.
α -limoneno	$C_{10}H_{16}$		Incolor com aroma de limão, usado como solvente para resinas, dispersante para óleos
β -mirceno	$C_{10}H_{16}$		Líquido amarelo com odor agradável. Atividade anti-inflamatória
Anetol	$C_{10}H_{12}O$		Odor de óleo de anis e sabor doce
Ocimeno	$C_{10}H_{16}$		Usados na perfumaria devido ao seu odor herbal doce.
γ -terpineno	$C_{10}H_{16}$		Forte atividade antioxidante, odor de limão

Para os tratamentos aplicados, que correspondem às reduções de 25% e 50% de disponibilidade de água, observou-se efeito significativo para alguns constituintes dos óleos essenciais. Esses resultados foram obtidos por meio da avaliação quantitativa da área (integral) do pico de cada componente.

No óleo essencial de salsa apenas α -pineno foi afetado pelos tratamentos (Tabela 1B). Quando as plantas de salsa foram submetidas à deficiência hídrica de 50%, houve um acréscimo de 22,41% no percentual de α -pineno no óleo

essencial em comparação ao controle. Sendo assim o maior nível de restrição hídrica, levou ao aumento na produção de α -pineno (Figura 14). O α -pineno é um terpeno (Bakkali et al., 2008) constituinte de vários óleos essenciais e, em alguns casos, correspondem ao constituinte majoritário. Formam uma família ampla e estruturalmente diversa de produtos naturais derivados de unidades de isopreno (C_5) (Rohmer, 2003). É um dos três principais monoterpenos empregados como matéria-prima para produção de flavorizantes, fragrâncias, fármacos e perfumes (Carari, 2014). Os terpenos insaturados, como o α -pineno, têm mostrado atividade pró-oxidante. Isso porque sofrem autoxidação e o processo gera radicais alquila reativos, provenientes da própria estrutura do terpeno (Amorati et al., 2013).

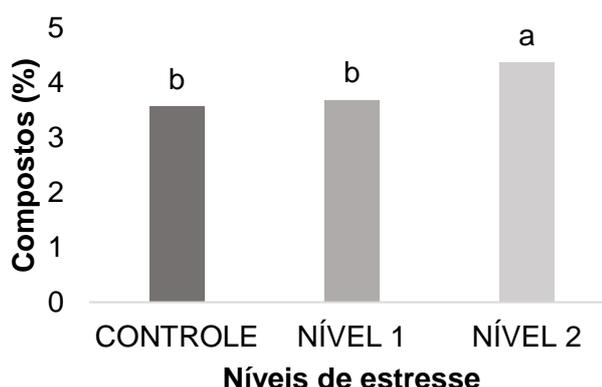


Figura 14. Percentual de α -pineno presente no óleo essencial da massa verde de salsa (*Petroselinum crispum*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

Em relação à cultura do coentro, observou-se efeito significativo para o composto undecanal. Os demais compostos analisados (Tabela 3) não foram afetados pelos tratamentos (Tabela 2B). O undecanal respondeu negativamente aos tratamentos aplicados, resultando no decréscimo de, aproximadamente, 27% na sua percentagem quando submetido ao estresse severo (nível 2) em relação à percentagem do controle (Figura 15). Geralmente citado como composto que compõe os óleos extraídos de folhas da cultura do coentro e encontrado em óleos cítricos, o composto undecanal foi identificado como um composto de alto poder odorífero. Um aldeído graxo que surge da redução do ácido carboxílico do ácido

undecanóico, sendo solúvel na maioria dos óleos fixos, óleo mineral e propilenoglicol e insolúvel em glicerina ($C_3H_8O_3$) (Kubo, 2004).

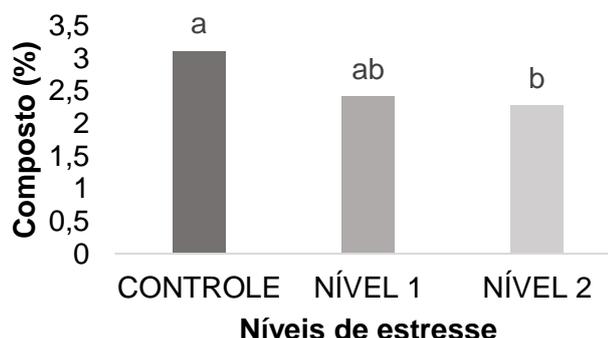


Figura 15. Percentual de undecanal presente no óleo essencial da massa verde de coentro (*Coriandrum sativum*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

Dos oito compostos analisados do óleo essencial do funcho, o d-Limoneno e o anetol, compostos característicos do óleo essencial da espécie, destacaram-se como majoritários (Tabela 3B). No óleo essencial do funcho encontrou-se fração volátil de monoterpenos oxigenados, destacando o γ -terpineno e o anetol, que foram afetados quando submetidos aos diferentes níveis água. O composto γ -terpineno respondeu positivamente à redução de 25% da oferta de água (Nível 1), assim a restrição moderada favoreceu a produção do composto. Porém, quando submetido à redução de 50% da disponibilidade hídrica (Nível 2) foi possível observar decréscimo de 50,62% do percentual do composto no óleo essencial das plantas (Figura 16) em relação às plantas do nível 1.

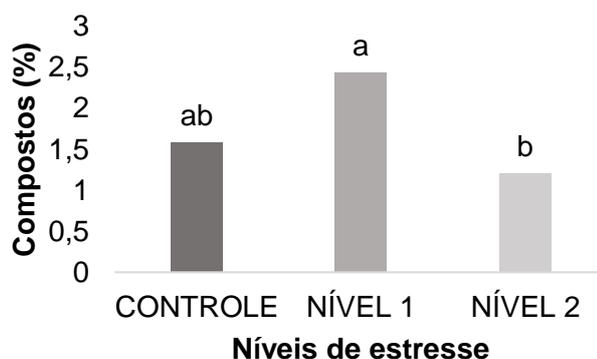


Figura 16. Percentual de γ -terpineno presente no óleo essencial da massa verde de funcho (*Foeniculum vulgare*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

O γ -terpineno é um monoterpeneo com ação antioxidante comprovada (Takahashi et al., 2003) presente em óleos essenciais de espécies vegetais. Um estudo avaliou a eficácia antioxidante dos terpenos mais comumente encontrados em óleos essenciais, a partir de dois modelos lipídicos (hidroperoxidienos e malonaldeído). Em geral, os monoterpeneos apresentaram baixa atividade antioxidante, com exceção de alguns compostos, a exemplo do γ -terpineno. A relação entre estrutura e atividade desse composto tem sido associada a grupos metilas fortemente ativados em suas estruturas (Ruberto e Baratta, 2000).

Além do γ -terpineno observou-se efeito significativo para o composto anetol, enquanto os demais compostos analisados (Tabela 3) não foram afetados pelos tratamentos aplicados (Tabela 3B). A baixa disponibilidade hídrica foi favorável à produção de anetol. No tratamento com redução hídrica de 50% o percentual de anetol correspondeu a mais da metade do percentual total de compostos do óleo essencial. Assim, a maior intensidade de restrição hídrica, levou a maior produção de anetol (Figura 17).

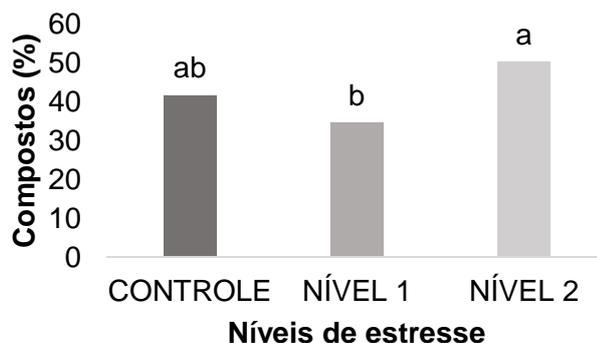


Figura 17. Percentual de anetol presente no óleo essencial da massa verde de funcho (*Foeniculum vulgare*) em resposta a diferentes níveis de estresse hídrico.

O anetol é um monoterpeneo, comumente é usado como aromatizante na indústria de bebidas, alimentos, cosmética (batons e sabonetes) e líquidos medicinais, bem como na fabricação de creme dental, doces, goma de mascar, sorvete e bebida alcoólica (Yea et al., 2006). É perceptível pelo paladar humano pelo seu sabor adocicado, sendo estimado que o seu poder de adoçar seja 13 vezes superior ao da sacarose, o comum açúcar de mesa. O cheiro e sabor são tidos como agradáveis pela maioria das pessoas, mesmo em altas concentrações. Aparenta ser ligeiramente tóxico, sendo que seu efeito pode ser irritante para as mucosas em grandes concentrações (Alves, 2009). Sua concentração em *Foeniculum vulgare* pode chegar a 90% do componente volátil do óleo dessa espécie, porém ocorre em baixas concentrações no componente volátil de outras culturas como no bálsamo do limão (6,1%), coentro (0,5%) e basílico doce (0,08%) (Newberne et al., 1999).

Os óleos essenciais naturais são uma mistura de diferentes tipos de compostos que podem ser tanto antioxidantes, quanto oxidantes. Dependendo da composição do óleo e das condições experimentais, interações sinérgicas ou antagônicas que podem ocorrer (Amorati et al., 2013). Em geral, óleos essenciais com grande conteúdo de compostos fenólicos e modesto conteúdo de terpenos insaturados são mais prováveis de possuírem maior capacidade antioxidante (Ruberto e Baratta, 2000; Amorati et al., 2013).

Caruso et al. (2009) relataram, em trabalho realizado com o proteoma de trigo, que os efeitos do estresse hídrico estão relacionados à biossíntese de enzimas associadas ao mecanismo de desintoxicação ERO (espécies reativas de oxigênio) e enzimas envolvidas na biossíntese de prolina. Segundo Shvaleva et al. (2005), a seca levar à maior produção de ERO, ao nível celular, que pode realizar um papel na sinalização intracelular ativando o sistema antioxidante e, em caso de continuidade da condição estressante, causar um estresse oxidativo. Este estresse pode ser diagnosticado pelo acúmulo de peróxidos de lipídios, proteínas oxidadas entre outros. A desintoxicação da ERO é dependente de um sistema enzimas antioxidantes e metabólitos. Sendo assim, a produção de metabólitos de natureza antioxidante, conforme observado no presente estudo, pode indicar que estes compostos foram produzidos como estratégia de defesa. Segundo Barbosa et al. (2014), a eficiência do sistema antioxidativo, frente à elevada produção de espécies reativas de oxigênio decorrente de estresse, é um importante mecanismo bioquímico para manutenção da homeostase redox e sobrevivência da planta. Em estudo realizado por Ormeno et al. (2007), com emissões de terpeno sob déficit hídrico em *Pinus halepensis* e *Cistus albidus*, foi relatado que os monoterpenos parecem atuar como protetores das plantas contra períodos severos de seca, apresentando declínio de sua produção apenas em uma faixa de estresse severo elevado.

Algumas condições ambientais que levam ao aumento da razão fonte/dreno, têm sido ativadoras do metabolismo secundário, como observado por Bongue-Bartelsman e Phillips (1995) para compostos fenólicos. O acúmulo de carbono em quantidades que excedem as necessidades de crescimento da planta, pode favorecer o aumento da síntese de metabólitos secundários sem influenciar no crescimento da planta. A tendência para concentrações crescentes de compostos secundários nestas condições é bastante clara para compostos fenólicos solúveis, embora haja também relatos de nenhum efeito ou mesmo um efeito negativo do CO₂ elevado, variando de acordo com as espécies de plantas e condições ambientais (Peñuelas e Estiarte, 1998).

Em estudo realizado por Barnes et al. (1997), plantas submetidas a condições de CO₂ elevado não apresentaram resposta para o aumento de lignina, que é um polímero fenólico insolúvel, sendo que a mesma resposta foi observada para os polissacarídeos estruturais, ambos compostos baseados em carbono que

compõem a parede celular. Verificou-se, entretanto, que tanto as plantas adaptadas ao CO₂, constantemente elevado quanto as plantas submetidas a fontes naturais de CO₂ apresentam concentrações elevadas de lignina.

Assim como para os carboidratos estruturais e a lignina, estudos não conseguiram observar efeitos significativos do CO₂ elevado na concentração de terpenos (Peñuelas e Llusà, 1997; Fajer et al., 1992). Turtola et al. (2003) verificaram que as plantas produzem altas concentrações de terpenos sob condições de estresse ambiental, devido à baixa alocação de carbono ao crescimento. No entanto, ainda que CO₂ elevado aumente a relação C/N da folha, parece não estimular as enzimas necessárias para aumentar a produção de terpenóides (Johnson e Lincoln, 1991; Fajer et al., 1992). O investimento diferenciado em armazenamento e componentes de defesa de cada espécie de planta é o fator que explica resultados variáveis, sendo que essa variabilidade é encontrada em muitas avaliações ecofisiológicas, a exemplo do crescimento, cuja resposta ao CO₂ elevado pode variar bastante (Bazzaz et al., 1990; Körner, 1995).

Sallas et al. (2003), trabalhando com mudas de pinheiro, informaram que os terpenóides apresentaram produção mais expressiva em situações de CO₂ e temperatura elevadas quando comparados aos compostos fenólicos totais. Porém, quando as mudas foram submetidos ao tratamento apenas com concentração de CO₂, apresentaram redução nas suas concentrações de terpenóides, o que é contrário à hipótese do equilíbrio fonte/dreno, mas apoia a sugestão de Loreto et al. (2001), que diz que as atividades enzimáticas dos terpenóides na folhagem são reguladas negativamente pela elevação CO₂.

Lerdau (2002) expõe que, talvez, o modelo da hipótese do balanço de fonte/dreno acabará por ser substituído por algo mais abrangente, que possa explicar uma gama maior de respostas das plantas. Ou, talvez, um melhor entendimento das vias biossintéticas e os *pools* de recursos envolvidos na produção de metabólitos secundários da planta vá confirmar o mérito da perspectiva da hipótese. No entanto, ainda vale a pena considerar a possibilidade levantada pelo balanço de C, de que muitas respostas plásticas de plantas podem ser uma consequência da disponibilidade de carbono.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

As hortaliças condimentares possuem grande importância na alimentação humana, destacando-se também como grande fonte de renda para pequenos agricultores. Sendo as hortaliças, bastante exigentes em água e este um dos fatores de sucesso relacionado a qualidade da produção agrícola, o uso eficiente da água deve ser um assunto frequente diante do aumento progressivo da demanda de produção de alimentos. A condição de déficit hídrico não somente limita o crescimento e a sobrevivência das plantas, mas também induz várias respostas metabólicas e fisiológicas responsáveis pela qualidade final do vegetal. Sendo assim, as culturas, da família Apiaceae, *Foeniculum vulgare* Mill. (funcho), *Petroselinum crispum* (salsinha) e o *Coriandrum sativum* (coentro) foram estudadas com o objetivo de avaliar o efeito da redução da disponibilidade hídrica sobre seu crescimento e produção de óleo essencial.

As plantas foram cultivadas em vasos de 5,5 L preenchidos com substrato comercial. Os tratamentos foram compostos pelo fornecimento de água, respectivamente, 75 e 50% do volume aplicado às plantas controle (100% da capacidade de vaso). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com oito repetições para salsinha e coentro e 10 repetições para o funcho. Foram avaliados o crescimento da parte aérea (massa fresca, número de folhas e massa seca total), crescimento de raiz (massa fresca e seca), área foliar, temperatura da folha, spad, conteúdo relativo de água e composição do OE (cromatografia gasosa).

No presente trabalho as culturas em estudo mostraram-se sensíveis aos níveis de disponibilidade hídrica impostos, apresentando decréscimo da produção da massa fresca em situações de redução da disponibilidade de água. A massa fresca mostra-se sensível às alterações ambientais e por isso apresenta oscilações que podem gerar resultados de baixa confiabilidade. Em condições de restrições de 25% no fornecimento de água o funcho apresenta maior tolerância, enquanto salsa e coentro respondem com reduções mais expressivas na massa seca. A salsa parece ser a cultura mais sensível, apresentando restrições do crescimento significativamente maiores conforme o aumento do déficit hídrico. A massa fresca das raízes da salsa foi reduzida e do funcho foi aumentada em resposta ao estresse hídrico, enquanto o coentro não teve essa variável alterada pelos tratamentos. Quanto à massa seca de raiz apenas salsa foi negativamente influenciada pela redução do fornecimento hídrico, apresentando decréscimo com as restrições de 25% e 50% da disponibilidade hídrica. Enquanto para o coentro e funcho não houve efeito dos tratamentos.

Apenas o coentro apresentou alteração na razão parte aérea/raiz, com menor valor da razão parte aérea/raiz na maior restrição hídrica, o que implica dizer que a planta de coentro se mostrou bem tolerante, apresentando maior investimento em raiz. Não foi observado efeito dos tratamentos sobre o conteúdo relativo de água (CRA) para as espécies estudadas. A ausência do efeito dos tratamentos sobre o CRA indica que as condições aplicadas não foram suficientes para alterar o teor de água nos tecidos, conferindo às plantas, mesmo sob estresse, um estado de bom funcionamento fisiológico e preservação das estruturas celulares.

A avaliação da intensidade de verde (SPAD) foi realizada apenas em salsa e coentro, não sendo possível no funcho em função da morfologia foliar, porém não foi observado efeito significativo para as espécies avaliadas. Nas análises realizadas para a variável temperatura da folha foi observado que não houve alteração significativa em resposta aos diferentes tratamentos, ou seja, a redução da disponibilidade hídrica não elevou a temperatura foliar, também indicando bom funcionamento fisiológico das plantas a área foliar de salsa e coentro foi negativamente afetada apenas quando as plantas foram submetidas ao nível de estresse mais severo, o que deveria afetar a produção e translocação de fotoassimilados.

Na cultura do funcho não foram observados efeitos significativos para número de folhas e altura de bulbo. Para a largura do bulbo, notou-se efeito significativo entre os tratamentos, mostrando redução para o tratamento nível 2, em relação ao controle. Para o °Brix, foi observado diferença significativa apresentando efeito negativo no tratamento nível 2, quando comparado ao controle. Com isso podemos entender que a redução da disponibilidade hídrica levou a menor produção de fotoassimilados necessários para o crescimento e para o acúmulo de sólidos solúveis. Foi observado nas análises influência dos tratamentos na produção dos compostos dos óleos essenciais, sendo α -pineno e anetol influenciados positivamente e undecanal e γ -terpineno influenciados negativamente.

Com isso conclui-se que o crescimento foi negativamente afetado pelos níveis de estresse hídrico sem efeitos deletérios para a atividade fotossintética. No entanto, os resultados obtidos não permitem concluir que houve uso de possível C excedente para síntese de óleos. Porém, o perfil dos compostos afetados e o impacto dos níveis mais elevados de restrição sobre estes revelam o papel destes compostos no processo de resposta ao estresse, possivelmente com ajustes no processo de proteção antioxidante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerley, D.; Knight, C.; Weiss, S.; Barton, K.; Starmer, K. (2002) Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*, 130(3): 449-457.
- Albuquerque Filho, J. A. C. (2006) *Eficiência do uso da água no cultivo do coentro e da salsa na presença de um polímero hidroabsorvente*. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Campina Grande - PB, Universidade Federal de Campina Grande. 107 f.
- Al-Karaki, G. N.; Al-Ajmi, A.; Othman, Y. (2007) Seed germination and early root growth barley cultivars as affected by temperature and water stress. *American-Eurasian Journal Agricultural and Environmental Science*, Dubai, 2(2): 112-117.
- Almodares, A.; Hotjatabady, R. H.; Mirniam, E. (2003) Effects of drought stress on biomass and carbohydrate contents of two sweet sorghum cultivars. *Journal of Environmental Biology*, Iran, may. 34(3): 585-589.
- Alvarenga, I. C. A.; Valadares, R. V.; Martins, E. R.; Oliveira, F. G.; Figueiredo, L. S. D.; Kobayashi, M. K. (2010) Water stress before harvest of pepper rosmarin. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 46(7): 706-711.

- Alves, C. M. de H. A. (2009) *Óleo essencial de Croton zehntneri e seus principais constituintes químicos anetol e estragol inibem parâmetros contráteis do músculo liso traqueal de rato*. Dissertação (Mestrado em Ciências Fisiológicas) - Fortaleza – CE, Universidade Estadual do Ceará, 123f.
- Alves, J. N. (2007) *Utilização da radiação gama do cobalto – 60 como tratamento quarentenário de plantas medicinais, aromáticas e condimentares desidratadas infestadas por Lasioderma serricorne (Fabricius, 1792) (Coleoptera, Anobiidae) e Plodia interpunctella (Hubner, 1813) (Lepidoptera, Pyralidae)*. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) - São Paulo – SP, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 83f.
- Amorati, R.; Foti, M. C.; Valgimigli, L. (2013) Antioxidant activity of essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, EUA. 61: 10835 – 10847.
- Andrade, F.M.C.; Casali, V.W.D. (1999) *Plantas medicinais e aromáticas: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia. MG: Arte Livros, 139p.
- Angelocci, L. R. (2002) *Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico*. Piracicaba: Edição do autor. 272 p.
- Appendino, G.; Jakupovic, J.; Bossio, E. (1998) Structural Revision of the Parsley Sesquiterpenes Crispanone and Crispane. *Phytochemistry*. 49(6): 1719-1722.
- Araque, M.; Rojas, L. B.; Usubillaga, A. (2007) Antibacterial activity of essential oil of *Foeniculum vulgare* Miller against multiresistant Gram-negative bacilli from nosocomial infections. *Ciência*. 15(3): 366-370.
- Ashraf, M.; Foolad, M.R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216.

- Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças (ABCSEM). (2012) *Projeto para o levantamento dos dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil*. 2012. Disponível em: <http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf> Acesso em 08 de janeiro de 2019.
- Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D.; Idaomar, M. (2008) Biological effects of essential oils - A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 446-475.
- Ballantyne, J. S.; Chamberlin, M. E. (1994) Regulation of cellular amino acid levels. In: Strange, K. (Ed). *Cellular and molecular physiology of cell volume regulation*. Boca Raton: CRC press. 111-222p.
- Barbosa, M. R.; Silva, M. M. A.; Willadino, L.; Ulisses, C.; Camara, T. R. (2014) Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciência Rural*, 44(3): 453-460.
- Barbosa, R. A.; Lopes, V. R.; Poças, I. (2007) Funcho (*Foeniculum vulgare* Mill.) - Caracterização morfológica de populações silvestres do Entre Douro e Minho. *Actas do II Colóquio Nacional de Plantas Aromáticas e Mediciniais, Associação Portuguesa de Horticultura (Eds.)*, Caldas dos Gerês, Portugal. p. 59-67.
- Barnes, J. D.; Bettarini, I.; Polle, A.; Slee, N.; Raines, C.; Miglietta, F.; Raschi, A.; Fordham, M. (1997) The impact of elevated CO₂ on growth and photosynthesis in *Agrostis canina* L. ssp. *montelucci* adapted to contrasting atmospheric CO₂ concentrations, *Oecologia* 110, 169–178.
- Barros, L.; Carvalho, M. A.; Ferreira, R. F. C. I. (2010) The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): shoots, leaves, stems and inflorescences. *Food Science and Technology*, 43: 814-818.

- Bazzaz, F.A., Coleman, J.S.; Morse, S.R. (1990) Growth responses of seven major co-occurring tree species of the northeastern United States to elevated CO₂. *Canadian Journal of Forest Research*. 20 (9): 1479–1484.
- Benincasa, M. M. P. (2003) *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. Jaboticabal: Funesp. 41 p.
- Bongue-Bartelsman, M. Philips, D.A. (1995) Nitrogen stress regulates gene expression of enzymes in the flavonoid biosynthetic pathway of tomato. *Plant Physiol. Biochem.* 33, 539–546.
- Brandão Filho, J. U. T.; Goto, R.; Guimarães, V. F.; Habermann, G.; Rodrigues, J. D.; Callegario. (2003) Influência da enxertia nas trocas gasosas de dois híbridos de berinjela cultivados em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 21: 474-477.
- Brito, L. K. L. F.; Silveira, J. A. G.; Lima, L. L. F.; Timóteo, A. R. S.; Chagas, R. M.; Macedo, C. E. C. (2008) Alterações no perfil de frações nitrogenadas em calos de cana-de-açúcar induzidas por déficit hídrico. *Revista Agropecuária Brasileira*, Brasília, 43(6): 683-690.
- Bryant, J.P.; Chapin, F.S.; Klein, D.R. (1983) Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, 40: 357-368.
- Campos, K. E.; Balbi, A. P. C.; Alves, M. J. Q. de F. (2009) Diuretic and hipotensive activity of aqueous extract of parsley seeds (*Petroselinum sativum* Hoffm.) in rats. *Revista brasileira de farmacognosia*. João Pessoa, 19(1a): 41-45.
- Carari, D. M. (2014) *Oxifuncionalização de monoterpenos catalisada por nitrato de ferro (III)*. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa. 116f.

- Caruso, G.; Cavaliere, C.; Foglia, P.; Gubbiotti, R.; Guarino, C.; Samperi, R.; Lagana, A. (2009). Analysis of drought responsive proteins in wheat (*Triticum durum*) by 2D-PAGE and MALDITOF mass spectrometry. *Plant Science*, Amsterdam, 177(6): 570-576.
- Carvalho, L. M.; Casali, V. W. D.; Souza, M. A.; Cecon, P. R. (2003) Disponibilidade de água no solo e crescimento de *Artemisia*. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 21(4): 726-730.
- Carvalho, N. L. (2011) *Cultura da Salsa (Petroselinum crispum)*. Dissertação (Graduação) da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz-SP, Piracicaba.
- Castro, E. M.; Pinto, J. E. B. P.; Melo, H. C.; Soares, A. M.; Alvarenga, A. A.; Lima Junior, E. C. (2005) Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. *Horticultura Brasileira*, 23(3): 846-850.
- Chaves Filho, J. T.; Seraphin, E. S. (2001) Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Botânica*. São Paulo. 24(2): 199-204.
- Chaves, M. M.; Flexas, J.; Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, Oxford, 103(4): 551-560.
- Chiamolera, L.B.; Ângelo, A.C.; Boerger, M.R. (2010) Resposta morfoanatômica da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl (Podocarpaceae) implantado em duas áreas com diferentes graus de sucessão às margens do Reservatório Iraí – PR. *Revista Biotemas*, 23(1): 1-11.
- Chrysargys, A.; Laoutari, S.; Litskas, D. V.; Stavrinides, M. C.; Tzortzakis, N. (2016) Effects of water stress on lavender and sage biomass production,

essential oil composition and biocidal properties against *Tetranychus urticae* (Koch). *Scientia Horticulturae*. 213: 96-103.

Corrêa Filho, L. C. (2014) *Avaliação dos processos de higienização e secagem na qualidade de folhas de salsa (Petroselinum crispum Mill.)*. Dissertação (Mestrado Engenharia de Biosistemas) - Niterói – RJ, Universidade Federal Fluminense. 86f.

Corrêa Júnior, C.; Graça, L. R.; Scheffer, M. C. (Orgs.) (2004). *Complexo agroindustrial das plantas medicinais, aromáticas e condimentares no estado do Paraná: Diagnósticos e Perspectivas*. Curitiba: Sociedade Paranaense e Plantas Medicinais: EMATER- PR; EMBRAPA FLORESTAS, 272p.

Croteau, R.; Kutchan, T. M.; Lewis, N. G. (2000) Natural products (secondary metabolites). In: Buchanan, B.; Gruissem, W.; Jones, R. *Biochemistry & molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, Califórnia. 1408p.

Da Cunha, A. P.; Ribeiro, J. A.; Roque, O. R. (2007) *Plantas Aromáticas em Portugal Caracterização e utilizações*. Ed Serviços de Educação e Bolsas. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 328p.

Del Rio, J. P.; Maidana, J. A.; Molteni, A.; Pérez, M.; Pochetton, M. L.; Souilla, L.; Tito, G.; Turco, E. (2007) El rol de las “quintas” familiares del Parque Pereyra Iraola (Bs.As., Argentina) en el mantenimiento de la agrobiodiversidad. *Kurtziana*. Buenos Aires. Volume especial de Etnobotánica, 33 (1): 217-226.

Donovan, L. A.; Maherali, H.; Caruso, C.M.; Huber, H.; Kroon, H. (2011) The evolution of the worldwide leaf economics spectrum. *Trends in Ecology and Evolution*, 26:88-95.

El-Adly, A. A.; Abada, E. A.; Gharib, F. A. (2007) Antibacterial effects of low power laser light and volatile oil of fennel (*Foeniculum vulgare* var. dulce) on

Grampositive and Gram-negative bactéria. *International Journal of Agriculture and Biology*. 9(1): 22-26.

Escobar, A. C. N.; Nascimento, A. L.; Gomes, J. G.; Borba, R. V.; Alves, C.C.; Costa, C. A. (2010) Avaliação da produtividade de três cultivares de salsa em função de diferentes substratos. *Horticultura Brasileira*. 28(2): 2671 - 2676.

Factor, T. L.; Purqueiro, L. F. V.; Lima, S. L.; Tivelli, S. W. (2008) Produção de salsa em função do período de cobertura com Agrotêxtil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48., Maringá, 2008. *Anais...* Brasília, v.26, n.2, CD-ROM.

Fajer, E.D., Bowers, M.D. and Bazzaz, F.A. (1992) *The effect of nutrients and enriched CO₂ on production of carbon-based allelochemicals in Plantago: a test of the carbon/nutrient balance hypothesis*, *Am. Nat.* 140, 707–723.

Farahani, H. A.; Valadabadi, A.; Rahmani, N. (2008) Effects of nitrogen on oil yield and its component of Calendula (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. Abstracts, *The World Congress on Medicinal and Aromatic Plants* (p. 364). Cape Town, South Africa.

Farzaei, M. H.; Abbasabadi, Z.; Ardekani, M. R. S.; Rahimi, R.; Farzaei, F. (2013) Parsley: a review of ethnopharmacology, phytochemistry and biological activities. *Journal of traditional Chinese medicine*, 33(6): 815-826.

Ferrari, E.; Paz, A.; Silva, A. C. (2015) Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 3(01): 67-77.

Ferreira, D. F. (2014) Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec. [online]*. 38(2) [citado 2015-10-17], p. 109-112 . Disponível em: ISSN 1413-7054.

- Figueiroa, M. F.; Barbosa, D. C. de A.; Simabukuko, E. A. (2004) Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Acta Botânica Brasilica*, São Paulo, jul./set. 18(3): 1-14.
- Filgueira, F. A. R. (2008a) Introdução a Olericultura. In: *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Viçosa: UFV, p. 13-21.
- Filgueira, F. A. R. (2008b) Apiáceas: Cenouras e outras culturas. In: *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Viçosa: UFV. p. 319-320.
- Filgueira, F. A. R. (2013) *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: UFV, p. 319.
- Franco, G. (2005) *Tabela de composição química dos alimentos*. 9. ed. São Paulo: Ateneu, 307p.
- García-Tejero, I.; Romero-Vicente, R.; Jiménez-Bocanegra, J. A.; Martínez-García, G.; Durán-Zuazo, V. H.; Muriel-Fernández, J. L. (2010) Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management*, 97 (5): 689–699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377409003667>>. Acesso em 05 de novembro de 2017.
- Ghassemi-Golezani, K.; Ghassemi, S.; Salmasi, S. Z. (2018) Changes in essential oil-content and composition of ajowan (*Carum copticum* L.) seeds in response to growth regulators under water stress. *Scientia Horticulturae*. 231: 219-226.
- Girard, E. A. (2005) *Volume, biomassa e rendimento de óleos essenciais de craveiro (Pimenta pseudocaryophyllus (Gomes) Landrum) em floresta ombrófila*

mista. Curitiba: UFPR. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Curitiba- PR, Universidade Federal do Paraná. 81f.

Gobbo-Neto, L.; Lopes, N. P. (2007) Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, São Paulo, 30(2): 374-386.

Gonçalves, S. L.; Lynch, J. P. (2014) Raízes de plantas anuais: tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos. Embrapa Soja, (*Documento 357*), nov. Londrina-PR.

Gonzalez-Dugo, V.; Zarco-Tejada, P. J.; Fereres, E. (2014) Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198–199. 94–104.

Grover, S.; Malik, C. P.; Hora, A.; Kushwaha, H, B. (2013) Botany, Cultivation, Chemical Constituent and Genetic Diversity in Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill): a review. *LS – Na International of Life Sciences*. 2: 128-139.

Gualberto, R.; Oliveira, P. S. R.; Guimaraes, A. M. (2009) Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de alface do grupo crespa em cultivo hidropônico. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 27(1): 7-11.

Hamilton, J. G.; Zangerl, A. R.; Delucia, E. H.; Berenbaum, M. R. (2001) The carbon-nutrient balance hypothesis: its rise and fall. *Ecology Letters*, 4: 86-95.

Hassan, F. A. S.; Ali, E. F. (2014) Impact of different water regimes based on class-A pan on growth, yield and oil content of *Coriandrum sativum* L. plant. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13: 155-161.

Heredia Z.; N. A.; Vieira, M. C.; Weismann, M.; Lourenção, A. L. F. (2003) Produção e renda bruta de cebolinha e de salsa em cultivo solteiro e consorciado. *Horticultura Brasileira*, Brasília, julho-setembro. 21(3): 574-577.

- Hsiao, T. C.; Xu, L. K. (2000) Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 51: 1595-1616.
- Hunault, H.; Desmarest, P.; Du Manoir, J. (1989) *Foeniculum vulgare* Miller: Cell Culture, Regeneration, and the Production of Anethole, in: Bajaj Y.P.S. (ed.). *Biotechnology in Agriculture and Forestry 7, Medicinal and Aromatic Plants II*, Berlin Heidelberg, Springer, p. 185-212.
- Inman-Bamber, N. G. (2004) Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Research*, 89: 107-122.
- Izadi-Darbandi, A.; Bahmani, K.; Ramshini, H. A.; Moradi, N. (2013) Heritability Estimates of Agronomic Traits and Essential Oil Content in Iranian Fennel. *Journal of Agriculture Science Technology*. 15: 1275-1283.
- Jaimez, R. E.; Rada, F.; Garcia-Núñez, C.; Azócar, A. (2005) Seasonal variations in leaf gas exchange of platain cv. Hartón (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. *Scientia Horticulturae*, 104(1): 7989. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423804001098>> Acesso em 03 nov. 2017.
- Jesus, S. V. de; Marengo, R. A. (2008) O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazônica*. 38(4), 815 – 818.
- Jifon, J. L.; Syvertsen, J. P. (2003). Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree Physiology*, 23(2): 119-127. Disponível em: <<http://treephys.oxfordjournals.org/content/23/2/119.full.pdf>> :Acesso em 03 nov. 2017.

- Johnson, R.H. and Lincoln, D.E. (1991) Sagebrush carbon allocation patterns and grasshopper nutrition: the influence of CO₂ enrichment and soil mineral limitation, *Oecologia* 87, 127–134.
- Judd, W. S.; Kellogg, E. A.; Stevens, P. F. (2009) *Sistemática vegetal: um enfoque filogenético*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, p. 612.
- Kandil, F. E.; Grace, M. H.; Seigler, D. S.; Cheeseman, J. M. (2004) Polyphenolics in *Rhizophora mangle* L. leaves and their changes during leaf development and senescence. *Trees*, 18: 518-528.
- Köppen, W. (1948) *Climatologia: com um estudo de los climas de la tierra* Publications. México: Ed. FCE. 104p.
- Körner, C.H. (1995) *Biodiversity and CO₂: global change is under way*, *Gaia* 4, 234–243.
- Kubo, I.; Fujita, K. I.; Kubo, A.; Hihei, K. I.; Ogura, T. (2004) Antibacterial activity of Coriander volatile compounds against *Salmonella choleraesuis*. *J Agric Food Chem.* 52(11): 3329-32.
- Kusaka, M.; Ohta, M.; Fujikura, T. (2005) Contribution of inorganic componentes to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. *Physiologia Plantarum*, Lund. 125(4): 474-489.
- Larcher, W. (2004) *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 531 p.
- Leite, V. D.; Athayde Júnior, G. B.; De Sousa, J. T.; Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. (2009) Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. *International Journal Agricultural Biology*. 11: 100–105.

- Lerdau, M. (2002) Benefits of the Carbon-Nutrient Balance Hypothesis. *Oikos*, 98(3): 534-536.
- Lichtenthaler, H. K. (2006) The stress concept in plants: an introduction. *Annals...* New York Academy of Science, p. 187-198.
- Lima, j. S. S. de (2007) Desempenho agroeconômico de coentro em função de espaçamentos e em dois cultivos. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza. 38(04): 407-413.
- Lima, M. A.; Bezerra, M. A.; Gomes Filho, E.; Pinto, C. M.; Enéas Filho, J. (2010) Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. *Revista Ciência Agronômica*. 41: 654-663.
- Llamas, M. R.; Martinez, S. P. (2006) Significance of the silent revolution of intensive groundwaters use in world water policy. In: ROGERS, P. P.; LLAMAS, M. R.; MARTINEZ CORTINA, M. (ed.). *Water crisis: myth or reality?* espain: Funda-ción Marcelino Botín, Taylor & Francis, p.163-80.
- Lopes, N. F.; Lima, M. da G. de S. (2015) *Fisiologia da produção*. Ed. UFV. Viçosa, Minas Gerais. 492 p.
- Lorenzi, H.; Matos, F. J. A. (2002) *Plantas medicinais do Brasil: Nativas e Exóticas cultivadas*. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum.
- Lorenzi, H.; Matos, F. J. A. (2008) *Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas*. 2. ed. Nova Odessa, SP.: Instituto Plantarum.
- Loreto, F. R. J.; Fischbach, J.P.; Schnitzler, P.; Ciccioli, E.; Brancaleoni, C.; Calfapietra; G. Seufert. (2001) Monoterpene emission and monoterpene synthase activities in the Mediterranean evergreen oak *Quercus ilex* L. grown at elevated CO₂ concentration. *Global Change Biol.* 7:709–717.

- Luvaha, E.; Netondo, G. W.; Ouma, G. (2008) Effect of Water Deficit on the Physiological and Morphological Characteristics of Mango (*Mangifera indica*) Rootstock Seedlings. *American Journal of Plant Physiology*, 3: 115.
- Machado, F. A. P. S. A.; Capelasso, M.; Oliveira, A. J. B.; Gonçalves, R. A. C.; Zamuner, M. L. M.; Mangolin, C. A.; Machado, M. F. P. S. (2006) Alkaloid production and Isozymes expression from cell suspension culture of *Cereus peruvianus* Mill (Cactaceae). *J Plant Sci* 1: 324-331.
- Machado, R. A. F.; Durães, F. O. M.; Rodrigues, J. D.; Magalhães, P. C.; Cantão, F. R. O. (2004) *Análise de Clorofila e Conteúdo Relativo de Água em Linhagens de Milho constantes para tolerância à secas submetidas a dois níveis de nitrogênio*. XXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. Cuiabá. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/488087/1/Analiseclorofila.pdf>> Acesso em 07 fev. 2019.
- Machado, R. S.; Ribeiro, R. V.; Marchiori, P. E. R.; Machado, D. F. S. P.; Machado, E. C.; Landell, M. G. A. (2009) Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar, em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 1575-1582.
- Madueño Box, M. (1973) *Cultivo de plantas medicinales*, 2 ed., Madrid: Publicaciones de Extension Agrária, 490 p.
- Mahmoud, A. A.; Gendy, A. S. H.; Said-Al Ahl, H. A. H.; Grulova, D.; Tess Astatkie; Abdeirazik, T. M. (2018) Impacts of harvest time and water stress on the growth and essential oil components of horehound (*Marrubium vulgare*). *Scientia Horticulturae*, 232: 139-144.
- Mansur, R. J. C. N.; Barbosa, D. C. A. (2000) Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. *Phyton*, 68: 97-106.

- Manzoor, A. R.; Bilal, A. D.; Shahnawaz, N. S.; Bilal, A. B.; Mushtaq, A. Q. (2012) *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Marchese, J. A.; Ferreira, J. F.; Rehder, V. L.; Rodrigues, O. (2010) Water deficit effect on the accumulation of biomass and artemisinin in annual wormwood (*Artemisia annua* L., Asteraceae). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campos dos Goytacazes, 22(1): 1-9.
- Marchese, J. A.; Figueira, G. M. (2005) O uso de tecnologias pré e pós – colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 7(3): 86-96.
- Martins, F. B.; Streck, N. A.; Silva, J. C. Da; Morais, W. W.; Susin, F.; Navroski, M. C.; Vivian, M. A. (2008) Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 32:1297-1306.
- Martins, F. T.; Santos, M. H. D.; Polo, M.; Barbosa, L. C. D. A. (2006) Variação química do óleo essencial de *Hyptis suaveolens* (L.) Poit., sob condições de cultivo. *Química Nova*, 29(6): 1203-1209.
- Medeiros, M. A.; Resende, F. V.; Togni, P. H. B.; Sujii, E. R. (2009) Efeito do consórcio cultural no manejo ecológico de insetos em tomateiro. Brasília: Embrapa Hortaliças, 9 p. (*Comunicado Técnico*, 65).
- Melo, E. A.; Mancini Filho, J.; Guerra, N. B. (2003) Atividade antioxidante de extratos de coentro (*Coriandrum sativum* L.). *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 23: 195-199. Suplemento.
- Melotto, M.; Underwood, W.; He, S. Y. (2008) Role of stomata in plant innate immunity and foliar bacterial diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 46: 101–122.

- Monteiro, J. E. B. A.; Sentelha P. C.; Chiavegato, E. J.; Guiselini, C.; Santiago, A. V.; Prael, A. (2005) Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. *Bragantia*, 64(01): 15-24.
- Morais, L. A. S. (2009) Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira*. Horticultura brasileira, Águas de Lindóia, 27(2): 4050-4063 (Suplemento - CD Rom).
- Nascimento, P. F. C.; Nascimento, A. C.; Rodrigues, C. S.; Antonioli, A. A.; Santos, P. O.; Barbosa Junior, A. M.; Trindade, R. C. (2007) Antimicrobial activity of the essentials oils: a multifactor approach of the methods. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, João Pessoa. 17: 108-113.
- Nascimento, E. M.; Pereira, R. S. (2005) Coentro: a hortaliça de mil e uma utilidades. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 23(1): 55-60.
- Nayyar, N.; Walia, D. P. (2003) Water stress induced accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. *Biologia Plantarum*, Praha, 46(2): 275-279.
- Newberne, P.; Smith, R. L.; Doull, J.; Goodman, J. L.; Munro, I. C.; Portoghese, P. S.; Wagner, B. M.; Weil, C. S.; Woods, L. A.; Adams, T. B.; Lucas, C. D.; Ford, R. A. (1999) The FEMA GRAS assessment of trans-anethole used as a flavouring substance. Flavour and extract manufacture's association. *Food and Chemical Toxicology*, 37: 789-811.
- Nogueira, R. J. M. C.; Albuquerque, M. B. De; Silva, E. C. da. (2005) Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, E. de L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. (Ed.). *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 22- 31.
- Ormeno, E.; Mevy, J. P.; Vila, B.; Bousquet-Mélou, A.; Greff, S.; Bonin, G.; Fernandez, C. (2007) Water deficit stress induces different monoterpene and

sesquiterpene emission changes in Mediterranean species. Relationship between terpene emissions and plant water potential. *Chemosphere*, Elsevier, 67 (2): 276 - 284.

Parker, A. K.; Hofmann, R. W.; Van Leeuwen, C.; Mclachlan, A. R. G.; Trought, M. C. T. (2015) Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 21: 266–276.

Paz, V. P. da S.; Teodoro, R. E. F.; Mendonça, F. C. (2000) Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente. Comunicado Técnico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(3): 465-473, Campina Grande.

Peñuelas, J.; Llusà, J. (1997) Effects of carbon dioxide, water supply and seasonality on terpene content and emission by *Rosmarinus officinalis*, *J. Chem. Ecol.* 23: 979–994.

Peñuelas, J.; Estiarte, M. (1998) Can elevated CO₂ affect secondary metabolism and ecosystem function? January. *TREE*.13(1): 20-24.

Petropoulos, S. A.; Dimitra, D.; Polissiou, M. G.; Passam, H. C. (2008) The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Scientia Horticulturae*. 115: 393–397.

Pinto, Â, C.; Silva, D. H. S.; Bolzani, V. da S.; Lopes, N. P.; Epifanio, R. de A. (2002) Produtos naturais: atualidades, desafios e perspectivas. *Química Nova*, São Paulo, 25(1): 45-61.

Pinto, D. A.; Mantovani, E. C.; Melo, E. D. C.; Sedyama, G. C.; Vieira, G. H. S. (2014) Produtividade e qualidade do óleo essencial de capim-limão, *Cymbopogon citratus*, DC., submetido a diferentes lâminas de irrigação. *Revista brasileira de plantas medicinais*, Campinas, 16(1): 54-61.

- Poorter, H.; Garnier, E. (2007) Ecological Significance of inherent variation in relative growth rate and its components. In: PUGNAIRE, F.I.; VALLADARES, F. (Eds.). *Functional plant ecology*. Boca Raton: CRC Press. p.67-100.
- Povh, N. P. (2000) *Obtenção do óleo essencial da camomila (Matricaria recutita [L.] Rauschert) por diferentes métodos: destilação por arraste a vapor, extração com solventes orgânicos e extração com CO₂ supercrítico*. Campinas. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Campinas – SP, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 217f.
- Qiu, G.Y., Miyamoto, K.; Sase, S.; Okushima, L. (2000) Detection of crop transpiration and water stress by temperature-related approach under field and greenhouse conditions. *Jpn. Agr. Res. Quart.*, Ohwashi, 34(1): 29-37.
- Rai, V. K. (2002) Role of amino acids in plants responses to stresses. *Biologia Plantarum*, Phara, Dez. 45(4): 481-487.
- Rather, M. A.; Dar, B. A.; Sofi, S. N.; Bhat, B. A.; Qurishi, M. A. (2012) *Foeniculum vulgare*: a comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, 9: 1574-1583.
- Reifschneider, F. J. B.; Lopes, C. A. (2015) Horticultura brasileira sustentável sonho eterno ou possibilidade futura? *Revista de Política Agrícola*, Ano XXIV, Brasília, nº. 2, Abr/maio/jun.
- Rodrigues, A. P. D. C.; Laura, V. A.; Chemouth, K. da S.; Gadum, J. (2008) Absorção de água por semente de salsa, em duas temperaturas. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, 30(1): 4954.
- Rohmer, M. (2003) Mevalonate-independent methylerythritol phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis. Elucidation and distribution. *Pure na Applied Chemistry*, 75 (2-3): 375-387.

- Rong-Hua, L. I.; Pei-Pol, G. U. O.; Baumz, M.; Grando, S.; Ceccarelli, S. (2006) Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, Oxford, 5(10): 551-557.
- Ruberto, G.; Barrata, M. T.; Deans, S. G.; Dorman, H. J. (2000) Antioxidant and antimicrobial activity of *Foeniculum vulgare* and *Crithmum maritimum* essential oils. *Planta Medica*. 66: 687-693.
- Ruberto, G.; Baratta, M. T. (2000) Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. *Food Chemistry*, Reino Unido, 69: 167 – 174.
- Sallas, L.; Eeva-Maria Luomala, E-M.; Utriainen, J.; Kainulainen, P.; Holopainen, J. K. (2003) Contrasting effects of elevated carbon dioxide concentration and temperature on Rubisco activity, chlorophyll fluorescence, needle ultrastructure and secondary metabolites in conifer seedlings. *Tree Physiology*. 23(2): 97 - 108.
- Sanches, R. F. E. (2012). *Relações Hídricas e respostas ao déficit hídrico da espécie Bauhinia forficata*. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Piracicaba – SP, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 79f.
- Santos, C. F.; Lima, G. P. P.; Morgado, L. B. (2010). *Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na préfloração*. *Naturalia*, Rio Claro, 33: 34-44.
- Santos, T. T.; Santos, M.; Mendonça, M.; Silva Junior, C.; Silva-Mann, R.; Arrigoni-Blank, M. D. F.; Blank, A. F. (2014) Efeito do estresse hídrico na produção de massa foliar e teor de óleo essencial em sambacaitá (*Hyptis pectinata* L.). *Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura*, Campo Grande: SOB, 22: 1- 4.

- Sartório, M. L.; Trindade, C.; Resende, P.; Machado, J. R. (2000) *Cultivo orgânico de plantas medicinais*. Viçosa: Aprenda Fácil.
- Saxena, S. N.; Kakani, R. K.; Saxena, R.; Anwer, M. M. (2010) Effect of water stress on seed quality of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*. India, 19(1-2): 53–56.
- Selmar, D. (2008) Potential of salt and drought stress to increase pharmaceutical significant secondary compounds in plants. *Agriculture And Forestry*, 58(1): 139-144,
- Sharp, R. E. (2002) Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2): 211-222.
- Shojaierfar, S.; Mirlohi, A.; Sabzalian, M. R.; Yaghini, H. (2015) Seed yeild and essential oil content of fennel influenced by genetic variation and genotype x year interaction. *Industrial Crops and Products*. 71: 97-105.
- Shvaleva, A. L.; Costa e Silva, F.; Breia, E.; Jouve, L; Hausman, J. F.; Almeida, M. H.; Maroco, J. P.; Rodrigues, M. L.; Pereira, J. S.; Chaves, M. M. (2005) Metabolic reponses to water déficit in two *Eucalyptus globulus* clones with contrasting drought sensitivity. *Tree physiology*, Victoria, 26: 239-248.
- Silva, A. C. F. da. (2012) *Importância da horta orgânica*. Cultivo Orgânico. Disponível em: <<http://cultivehortaorganica.blogspot.com.br/2011/06/importancia-da-horta-organica.html>>. Acesso em 14 de nov. de 2017.
- Silva, D. B. da; Vieira, R. F.; Jannuzzi, H. (2013) Propagação e Cultivo de Plantas Aromáticas. In: Clemente, F. M. V. T.; Haber, L. L. (editoras técnicas). *Plantas Aromáticas e Condimentares: uso aplicado na horticultura*. Brasília-DF, Embrapa, 152p.

- Silva, F. G. da; Dutra, W. F.; Dutra, F. A.; Oliveira, I. M. De; Filgueiras, L. M. B.; Melo, A. S. de. (2015) Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. 19(10): 946–952.
- Silva, F.; Casali, V. W. D. (2000) *Plantas medicinais e aromáticas: Pós colheita e óleos essenciais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 135p.
- Silva, J. P. L.; Duarte-Almeida, J. M.; Perez, D. V.; Franco, B. D. G. De M. (2010) Óleo essencial de orégano: interferência da composição química na atividade frente à *Salmonella enteritidis*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 30: 136-141.
- Silva, M. D. A.; Santos, C. M.; Santos, V. H.; Rhein, A. F. A. (2013) Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 30(1): 173-181.
- Silva, R. C. (2001) *Plantas Medicinais na Saúde Bucal*. Vitória. 136 p.
- Silva, S. R. S.; Demuner, A. J.; Barbosa, L. C. A.; Andrade, N. J.; Nascimento, E. A.; Pinheiro, A. L. (2003) Análise dos constituintes químicos e da atividade antimicrobiana do óleo essencial e deficiência hídrica de *Melaleuca alternifolia* Cheel. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 6: 63-70.
- Silva, S. R. S.; Demuner, A. J.; Barbosa, L. C. A.; Casali, V. W. D.; Nascimento, E. A.; Pinheiro, A. L. (2002) Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. *Acta Scientiarum*, Maringá. 24(5): 1363-1368.
- Simões, C. M. O.; Schenkel, E. P.; Gosmann, G.; Mello, J. C. P. De; Mentz, L. A.; Petrovick, P. R. (Org.). (2007) *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6ª Ed. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS; Florianópolis: Ed. da UFSC, 1102 p.

- Simões, C. M. O.; Spitzer, V. (2010) Óleos essenciais. In: Simões, C.M.O.; Schenkel, E.P.; Gosmann, G., Mello, J.C.P.; Mentz, L.A.; Petrovick, P.R. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS; Florianópolis: UFSC, p. 467-495.
- Simões, C. M. O.; Spitzer, V. Óleos Voláteis. In: Simões, C.M.O.; Schenkel, E.P.; Gosmann, G.; Mello, J.C.P. De; Mentz, L.A.; Petrovick, P.R. (2000) *Farmacognosia da planta ao medicamento*. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS.
- Singh, M. (2004). Effects of plant spacing, fertilizer, modified urea material and irrigation regime on herbage, oil yield and oil quality of rosemary in semi-arid tropical conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79 (3): 411-415.
- Sousa, L. A.; Albuquerque, J. C. R.; Leite, M. N.; Stefanini, M. B. (2005) Sazonalidade dos ductos secretores e óleo essencial de *Foeniculum vulgare* var. vulgare Mill. (Apiaceae). *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 15(2): 155-161. Abr./Jun. João Pessoa. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbfar/v15n2/v15n2a15.pdf>>: Acesso em: 11 de nov. de 2017.
- Sousa, R. F. de; Sousa, J. A. de. (2017) Metabólicos secundários associados a estresse hídrico e suas funções nos tecidos vegetais. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*. 11(01): 01 - 08, jan-dez, Pombal – PB.
- Sousa, T. V.; Alkimim, E. R.; David, A. M. S. S.; Sá, J. R.; Pereira, G. A.; Amaro, H. T. R.; Mota, W. F. (2011) Época de colheita e qualidade fisiológica de sementes de coentro produzidas no Norte de Minas Gerais. *Rev. Bras. Pl. Med.*, Botucatu, 13(especial): 591-597.
- Souza, A. P.; Mota, L. L.; Zamadei, T.; Martin, C. C. (2013) Classificação Climática e Balanço Hídrico Climatológico no Estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1(1): 34-43.

- Taghvaeian, S.; Chávez, J. L.; Hansen, N. C. (2012) Infrared Thermometry to Estimate Crop Water Stress Index and Water Use of Irrigated Maize in Northeastern Colorado. *Remote Sens.* 4: 3619-3637.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2009) *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 848p.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2004) *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p.
- Takahashi, Y.; Inaba, N.; Kuwahama, S.; Kuki, W. (2003) Antioxidative effect of citrus essential oil components on human low-density lipoprotein in vitro. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 67(1): 195-197.
- Tundisi, J. G. (2008) Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos avançados*. v. 22(63): 1-16 São Carlos – SP.
- Turtola, S.; Manninen, A. M.; Rikala, R.; Kainulainen, P. (2003). Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in Scots pine and Norway spruce seedlings. *J. Chem. Ecol.* 29: 1981–1995.
- Velloso, M. A. L.; Abreu, I. N.; Mazzafera, P. (2005) Indução de metabólitos secundários em plântulas de *Hypericum brasiliense* Choisy crescendo in vitro. *Acta amazônica*, Campinas, 32(2): 267-272.
- Vieira Júnior, P. A.; Dourado Neto, D.; Oliveira, R. F.; Peres, L. E. P.; Martin, T. N.; Manfron, P. A.; Bonnacarrère, R. A. G. (2007) Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. *Acta Scientiarum Agronomy*, 29: 555-561.
- Vieira, G. H. S.; Mantovani, E. C.; Sedyama, G. C.; Delazari, F. T. (2014) Morphophysiological indicators of water stress on sugarcane as a function of irrigation depths. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 30(3): 65-75.

- Vizzotto, M.; Krolow, A. C.; Weber, G. E. B. (2010) Metabólitos Secundários encontrados em plantas e sua importância. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, *Documento 316*. 16p.
- Wanderley Júnior, L. J. G.; Melo, P. C. T. (2003) Tapacurá: nova cultivar de coentro adaptada às condições subtropicais do Brasil. *Horticultura Brasileira* 21: suplemento CD-Rom.
- Wanderley Júnior, L. J. G; Nascimento, W. M. *Produção de sementes de coentro*. 2008. Disponível em: <<http://www.abhorticultura.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- Whittaker, A.; Martinelli, T.; Farrant, J. M.; Bochicchio, A.; Vazzana, C. (2007) Sucrose phosphate synthase activity and the co-ordination of carbon partitioning during sucrose and amino acid accumulation in desiccation-tolerant leaf material of the C₄ resurrection plant *Sporobolus stapfianus* during dehydration. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, Oct. 58(13): 3775-3787.
- Yamada, N.; Morishita, H.; Urano, K.; Shiozaki, N.; Yamaguchi-Shinozaki, K.; Shinozaki, K.; Yoshida, Y. (2005) Effects of free proline accumulation in petúnias under drought stress. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, Jul. 56(417): 1975-1981.
- Yea, S. S.; Jeong, H.; Choi, C. Y.; Park, K.; Oh, S.; Shin, J.; Yun, C. (2006) Inhibitory effect of anethole on T-lymphocyte proliferation and interleukin-2 production through down-regulation of the NF-AT and AP-1. *Toxicology in vitro*, 20: 1098-1105.
- Zali, A. G.; Ehsanzadeh, P. (2018) Exogenous proline improves osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. *Industrial Crops & Products*. 111: 133–140.
- Zhu, L.; Song, L.; Gao, Y.; Qian, J.; Zhang, X.; Li, S. (2018) Effect of lanthanum on the growth and essential oil components of lavender under osmotic stress.

Journal of Rare Earths. Disponível em: <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002072118303569> > :
Acesso em: 12 de maio de 2018.

APÊNDICE A

Tabela 1A. Valores médios referentes a spad, temperatura da folha, matéria fresca da parte aérea, matéria seca da parte aérea, conteúdo relativo de água, área foliar, matéria fresca da raiz e matéria seca da raiz, para os níveis de estresse controle, nível 1 e nível 2, na cultura da salsinha, Campos dos Goytacazes/RJ, 2019.

Nível de estresse	Características								
	SPAD	TFOL	MFPA	MSPA	CRA	AFOLIAR	MFR	MSR	PA/R
CONTROLE	36,21 a	23,79 a	282,75 a	20,69 a	69,90 a	6617,17 a	56,96 a	10,41 a	2,12 a
MODERADO	37,22 a	23,14 a	218,50 b	16,73 b	70,87 a	6221,42 a	25,91 ab	7,23 b	2,50 a
SEVERO	35,66 a	23,34 a	142,75 c	11,46 c	69,84 a	4454,43 b	18,16 b	5,02 b	2,36 a
CV (%)	10,19	3,43	16,02	10,10	10,13	10,47	49,89	24,98	30,40

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2A. Valores médios referentes a spad, temperatura da folha, matéria fresca da parte aérea, matéria seca da parte aérea, conteúdo relativo de água, área foliar, matéria fresca da raiz e matéria seca da raiz, para os níveis de estresse controle, nível 1 e nível 2, na cultura do coentro, Campos dos Goytacazes/RJ, 2019.

Nível de estresse	Características								
	SPAD	TFOL	MFPA	MSPA	CRA	AFOLIAR	MFR	MSR	PA/R
CONTROLE	22,50 a	22,93 a	284,00 a	18,13 a	77,79 a	7494,22 a	7,03 a	0,98 a	21,96 a
MODERADO	19,51 a	23,14 a	197,25 b	13,96 b	76,39 a	5618,13 ab	6,85 a	1,03 a	17,66 ab
SEVERO	18,80 a	23,09 a	148,00 c	12,19 b	73,95 a	5183,91 b	7,81 a	1,39 a	9,07 b
CV (%)	21,93	1,32	12,86	16,59	6,64	28,26	39,26	36,51	53,75

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3A. Valores médios referentes a matéria fresca da parte aérea, matéria seca da parte aérea, número de folhas, matéria fresca da folha, matéria fresca do bulbo, altura do bulbo, largura do bulbo, conteúdo relativo de água, matéria fresca da raiz, matéria seca da raiz e brix, para os níveis de estresse controle, nível 1 e nível 2, na cultura do funcho, Campos dos Goytacazes/RJ, 2019.

Nível de estresse	Características											
	MFPA	MSPA	NFOL	MFFOL	MFBUL	ALBUL	LARBUL	CRA	MFR	MSR	BRIX	PA/R
CONTROLE	408,8 a	54,83 a	17,70 a	211,60 a	178,00 a	12,60 a	12,70 a	72,47 a	20,67 b	8,3913 a	2,02 a	7,19 a
NÍVEL 1	326 b	49,72 ab	17,40 a	172,00 b	154,00 ab	10,10 a	11,50 ab	77,81 a	38,45 a	7,4570 a	2,01 a	6,63 a
NÍVEL 2	242,2 c	32,80 b	16,00 a	123,00 c	119,20 b	13,10 a	9,90 b	70,17 a	37,23 ab	6,6306 a	0,64 b	5,32 a
CV (%)	13,01	39,47	18,02	16,11	24,39	43,16	13,06	11,44	48,95	29,053	20,94	39,13

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE B

Tabela 1B. Valores médios referentes às áreas dos constituintes químicos, do óleo essencial da salsinha, comuns a todos os tratamentos.

Níveis de estresse	SALSA							
	COMPOSTOS (%)							
	Carotol	Apiol	Safrol	α -pineno	β -pineno	α -feladren	Ocimeno	Germacrene
CONTROLE	0,74 a	13,83 a	6,86 a	3,57 b	3,13 a	1,91 a	1,97 a	1,45 a
NÍVEL 1	0,53 a	12,20 a	7,75 a	3,69 b	3,54 a	1,91 a	2,03 a	1,42 a
NÍVEL 2	0,72 a	13,45 a	7,03 a	4,37 a	4,04 a	1,89 a	1,96 a	1,32 a
CV (%)	41,37	24,43	36,10	10,79	28,90	9,47	12,73	15,15

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 2B. Valores médios referentes às áreas dos constituintes químicos, do óleo essencial do coentro, comuns a todos os tratamentos.

COENTRO								
COMPOSTOS (%)								
Níveis de estresse	2-	8-	Decanal	Dodecanal	Nonane	Undecanal	Tetradecanal	2-
	Dodecenal	Hexadecenal						Undecenal
CONTROLE	21,41 a	18,20 a	14,46 a	8,92 a	5,14 a	3,11 a	2,68 a	2,19 a
NÍVEL 1	22,19 a	19,30 a	14,35 a	7,68 a	4,50 a	2,41 ab	2,51 a	1,89 a
NÍVEL 2	23,25 a	20,54 a	13,12 a	8,36 a	4,56 a	2,27 b	2,97 a	1,97 a
CV (%)	8,34	9,74	16,89	24,68	15,11	19,22	17,39	19,45

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3B. Valores médios referentes ao percentual das áreas dos constituintes químicos, do óleo essencial do funcho, comuns a todos os tratamentos.

Níveis de estresse	FUNCHO							
	COMPOSTOS (%)							
	α -pineno	Ocimeno	Estragol	β -mirceno	γ -terpineno	β -pineno	d-limoneno	Anetol
CONTROLE	2,50 a	2,88 a	2,11 a	1,68 a	1,58 ab	3,68 a	37,22 a	41,67 ab
NÍVEL 1	2,69 a	3,00 a	1,80 a	1,63 a	2,43 a	3,25 a	38,96 a	34,54 b
NÍVEL 2	2,63 a	2,90 a	1,89 a	1,34 a	1,20 b	3,34 a	34,71 a	50,21 a
CV (%)	22,79	35,02	19,66	23,25	45,73	31,40	23,12	24,76

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5.