



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

**JANIQUELLE DA SILVA RABELO**

**DETERMINANTES FISIOLÓGICOS, METABÓLICOS E PRODUTIVOS NA  
CONSORCIAÇÃO DA RÚCULA COM JAMBU EM FUNÇÃO DO REGIME  
HÍDRICO NO SEMIÁRIDO**

**FORTALEZA**

**2021**

JANIQUELLE DA SILVA RABELO

DETERMINANTES FISIOLÓGICOS, METABÓLICOS E PRODUTIVOS NA  
CONSORCIAÇÃO DA RÚCULA COM JAMBU EM FUNÇÃO DO REGIME HÍDRICO  
NO SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia/Horticultura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães.

FORTALEZA

2021

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

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R114d Rabelo, Janiquelle da Silva.

Determinantes fisiológicos, metabólicos e produtivos na consorciação da rúcula com jambu em função do regime hídrico no semiárido / Janiquelle da Silva Rabelo. – 2021.

150 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós- Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães.

1. Acmella oleracea (L.) R. K Jansen.. 2. Eruca sativa Mill. 3. Sistema consorciado. 4. Escassez hídrica. I. Título.

CDD 630

---

JANIQUELLE DA SILVA RABELO

DETERMINANTES FISIOLÓGICOS, METABÓLICOS E PRODUTIVOS NA  
CONSORCIAÇÃO DA RÚCULA COM JAMBU EM FUNÇÃO DO REGIME HÍDRICO  
NO SEMIÁRIDO

Tese apresentada ao Programa de Pós  
graduação em Agronomia/Fitotecnia da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial para obtenção do grau de Doutora em  
Agronomia. Área de concentração:  
Fitotecnia/Horticultura.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Sérgio Antônio Lopes de Gusmão  
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

A Deus.

Aos meus pais, Marineide e José Carlos e aos  
meus irmãos Jeriane, Junes e Jerônimo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me fortalecer a cada dia.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade e amplas condições para cursar o doutorado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo durante o curso e bolsa PQ – Produtividade em Pesquisa conferida ao orientador.

Ao Professor. Dr. Marcelo de Almeida Guimarães pela excelente orientação, pela amizade, conselhos e confiança, meu profundo respeito e gratidão.

Ao Professor. Dr. Aleksandro Oliveira da Silva pela ajuda, ensinamentos e prontidão em ajudar sempre que precisava.

Ao laboratório de Fisiologia Vegetal e ao Dr. Lineker Lopes, pelo apoio na realização das análises bioquímicas fisiológicas.

Ao programa de Pós-graduação em Fitotecnia pela oportunidade do curso e aos docentes pelos conhecimentos compartilhados.

À Profa. Dra. Rosilene Mesquita agradeço pelo apoio a pesquisa e compartilhamento de conhecimento.

A minha família, minha base, mesmo de longe sempre apoiaram e deram forças, amor e carinho, afetos que tiveram grande importância durante o doutorado.

Aos meus avós paternos Maria Nobre e Raimundo Arcolau e minha vó materna Nenca por todo amor e carinho.

A minha irmã Nanzinha. Juntas viémos do interior para tentar entrar na faculdade e, atualmente, estamos finalizando juntas o doutorado. Foram muitas abdições e lutas que passamos juntas, mas sem a sua ajuda não teria conseguido.

Ao meu esposo Valsergio Barros pela imensa ajuda na execução dos experimentos, pela paciência, pelo companheirismo, amizade e carinho.

A todos os funcionários da Fazenda Experimental Vale do Curu da Universidade Federal do Ceará – FEVC, em especial ao irmão Diassis pela dedicação e presteza em sempre ajudar quando precisava e in memória ao funcionário e amigo Kirino.

A bolsista de iniciação científica, Iana Mendes que contribuiu para a execução de todas as análises nos dois anos experimentais. Nossa parceria foi muito importante para execução dos ensaios. E a todos os amigos do Núcleo de Estudos em Olericultura do Nordeste – NEON, em especial a Caris Viana, Italo Sampaio, Nailson Oliveira, Davi Guilherme,

Ronaldo Oliveira, Ana Régia Hengdes, Benedito Pereira e Lazáro Casseiro pela ajuda no desenvolvimento dos ensaios, pela amizade e apoio no anos transcorridos do doutorado.

Aos amigos Edibergue Santos, Vanklane Almeida e Humberto Gildo Souza pela ajuda na execução da pesquisa.

Aos funcionários do departamento de Fitotecnia em especial a Eliza e o Victor.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A consorciação pode ser desenvolvida através da combinação de inúmeras espécies de plantas, sendo uma das mais utilizadas a rúcula, por possuir ciclo curto e porte baixo. Além dessa, o jambu é outra hortaliça folhosa bastante promissora, isso porque apresenta características vegetativas similares, mas não coincidentes as da rúcula. Apesar de ser considerada uma hortaliça não tradicional no Nordeste brasileiro, o jambu tem potencial para desenvolver-se na região. Além de não haverem informações relativas a utilização da rúcula e do jambu combinados em cultivos consorciados, dados relacionados às necessidades hídricas e a produção do metabólito secundário espilantol, no jambu, nas condições do semiárido também são escassos. Sendo assim, propôs-se com esta pesquisa avaliar agrônômica e biologicamente o monocultivo e o cultivo consorciado de rúcula e jambu, sob diferentes regimes hídricos. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu, pertencente à Universidade Federal do Ceará, no município de Pentecoste. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas, com vinte tratamentos  $(2 + 1 + 1) \times 5$  e quatro repetições. As parcelas foram constituídas das irrigações (ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150) e as subparcelas formadas pelo sistema consorciado e solteiro de rúcula e jambu, 1) rúcula consorciada; 2) jambu consorciado; 3) rúcula em monocultivo e 4) jambu em monocultivo. Para um melhor diagnóstico da pesquisa foram realizados dois ciclos de cultivo, um em cada ano, 2018 e 2019, sendo que em cada ciclo foram realizados três ensaios. No primeiro ensaio foram avaliados os aspectos agrônômicos, eficiência biológica e eficiência do uso da água. No segundo ensaio foram avaliados o comportamento fisiológico e a habilidade competitiva e no terceiro ensaio foram avaliadas as respostas bioquímicas, pós-colheita e o teor do espilantol do jambu. Os resultados indicaram que a rúcula consorciada apresentou melhores características morfológicas. Quanto ao jambu, seus melhores resultados para as características morfológicas foram obtidos em monocultivo. A produtividade tanto da rúcula quanto do jambu foi maior no cultivo solteiro, no entanto, o uso eficiente da terra nos consórcios realizados nos dois anos indicou valores médios de 1,23 e 1,28, em 2018 e 2019, respectivamente. Os melhores resultados foram alcançados com a irrigação de ID75 para a rúcula e IT100 e IE125 para o jambu. O uso eficiente da água foi maior no cultivo solteiro, no entanto, resultados similares foram obtidos com o cultivo consorciado. A rúcula consorciada apresentou melhor comportamento fisiológico. Enquanto o jambu, seus melhores resultados para as características fisiológicas foram obtidos em monocultivo. Os resultados indicaram, de modo geral, que consorciação e as irrigações ID50 e ID75, possibilitaram a maior qualidade pós colheita da

culturas. Para a rúcula a consorciação e os regimes hídricos ID75, IT100 e IE125 apresentaram menores acúmulos das enzimas G-POD, APX, CAT e SOD, enquanto para o jambu, essa redução ocorreu no monocultivo associado as irrigações IT100, IE125 e IE150. A consorciação combinada com a irrigação ID75, promoveram aumento em 26,60 % no teor de espilantol no jambu. Com base no exposto, conclui-se que a combinação rúcula-jambu é promissora para o cultivo em consórcio em condição de cultivo semiárida.

**Palavras-chave:** *Acmella oleracea* (L.) R. K Jansen; *Eruca sativa* Mill; escassez hídrica. sistema consorciado.

## ABSTRACT

Intercropping can be developed via a combination of numerous species of plants, one of the most used being arugula due to its short cycle and small size. Jambu (*Acmella oleracea*) is another very promising leafy vegetable, as it has similar vegetative characteristics, albeit differing from those of arugula. Despite being considered a non-traditional vegetable in the northeast of Brazil, the jambu has the potential to develop in the region. In addition to the lack of information regarding the use of arugula and jambu as intercrops, data related to the water requirements and production of the secondary metabolite, spilanthol, in jambu under semi-arid conditions are also scarce. Therefore, this research proposes to evaluate, both agronomically and biologically, monocrops and intercrops of arugula and jambu under different water regimes. The experiment was carried out at the Vale do Curu Experimental Farm of the Federal University of Ceará, in the district of Pentecoste. The experimental design was of randomised blocks in a split-plot design, with 20 treatments (2 + 1 + 1) x 5 and four replications. The plots comprised the irrigation regimes (ID50, ID75, IT100, IE125 and IE150), with the subplots consisting of intercropped and monocropped systems of arugula and jambu: 1) intercropped arugula; 2) intercropped jambu; 3) monocropped arugula and 4) monocropped jambu. To better interpret the research, two crop cycles were carried out, one in 2018 and one in 2019; three trials were conducted in each cycle. In the first trial, agronomic aspects, biological efficiency and water use efficiency were evaluated. In the second trial, physiological behaviour and competitive ability were evaluated. The third trial evaluated the biochemical responses, post-harvest and spilanthol levels of the jambu. The results showed that the morphological characteristics of the intercropped arugula were superior. As for the jambu, the best results for morphological characteristics were obtained when grown as a monocrop. The productivity of both the arugula and jambu were greater for the single crops, however, land use efficiency for the intercrops grown in both years showed mean values of 1.23 and 1.28 in 2018 and 2019, respectively. The best results were achieved with the ID75 irrigation regime for arugula, and IT100 and IE125 for jambu. Water use efficiency was greater in the monocrops; however, similar results were obtained with the intercrops. Intercropped arugula showed better physiological behaviour, whereas for the jambu, the best results for physiological characteristics were obtained as a monocrop. In general, the results showed that intercropping and the ID50 and ID75 irrigation regimes afforded the highest post-harvest crop quality. For the arugula, intercropping and the ID75, IT100 and IE125 water regimes showed lower accumulations of the G-POD, APX, CAT and SOD enzymes, while for jambu, this reduction

was seen in the monocrop associated with the IT100, IE125 and IE150 regimes. Intercropping combined with the ID75 irrigation regime afforded an increase of 26.60% in the spilanthol content of the jambu. Based on the above, it is concluded that a combination of arugula and jambu is promising for intercropping under semi-arid conditions.

**Keywords:** *Acmella oleracea* (L.) R. K Jansen; *Eruca sativa* Mill; Intercropping system; Water shortage.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura química do espilantol.....	23
Figura 2 – Publicação e artigos 2000 - 2020 .....	39
Figura 3 – Publicação por periódicos.....	40
Figura 4 – Publicação por países.....	40
Figura 5 – Temperatura máxima (tmáx) e mínima (tmin) em °C e umidade relativa do ar em %, nos períodos experimentais realizados em 2018 e 2019.....	56
Figura 6 – Evapotranspiração de referência (ETo) e Evapotranspiração da cultura (ETc) determinados ao longo do ciclo das culturas nos períodos experimentais realizados em 2018 e 2019.....	58
Figura 7 – Volume de água aplicado na rúcula no sistema consorciado rúcula – jambu e nos respectivos cultivos solteiros nos períodos experimentais realizados em 2018 e 2019.....	59
Figura 8 – Evolução do conteúdo de água no solo (%) aos 10, 25 e 40 dias após o transplântio das culturas nos tratamentos de irrigação, nos anos de 2018 e 2019.....	63
Figura 9 – Produtividade da rúcula em sistema consorciado com jambu e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação, nos anos de 2018 e 2019.....	69
Figura10 – Produtividade do jambu em sistema consorciado com rúcula e em monocultivo com tratamentos .de irrigação nos anos de 2018 e 2019.....	71
Figura11 Eficiência do uso da água da rúcula em sistema consorciado com jambu e em monocultivo com tratamentos de irrigação, nos anos de 2018 e 2019.....	73
Figura12 Eficiência do uso da água da rúcula em sistema consorciado com jambu e em monocultivo com tratamentos de irrigação nos anos de 2018 e 2019.....	73

Figura13	Temperaturas máxima (tmáx) e mínima (tmin) em °C e umidade relativa do ar em %, no período experimental em 2018 e 2019.....	97
Figura14	Evapotranspiração de referência (ETo) e Evapotranspiração da cultura (ETc) determinados ao longo do ciclo das culturas nos anos de desenvolvimento das pesquisas de campo em 2018 e 2019.....	84
Figura15	Área Foliar Total - AFT (cm <sup>2</sup> ) e Índice de Área Foliar – IAF da rúcula, em sistema consorciado com jambu e em monocultivo submetidos a tratamentos com diferentes lâminas de irrigação nos períodos experimentais de 2018 e 2019.....	96
Figura16	Área Foliar Total - AFT (cm <sup>2</sup> ) e Índice de Área Foliar – IAF do jambu em sistema consorciado com rúcula e em monocultivo submetidos a tratamentos com diferentes lâminas de irrigação, nos períodos experimentais de 2018 e 2019.....	97
Figura17	Efeitos de diferentes regimes hídricos nas características dos estômatos em folhas de rúcula e jambu em sistema solteiro e consorciado.....	99
Figura18	pH 2018 (A) - 2019 (B); Sólidos solúveis (%) - 2018 (C) - 2019 (D); Acidez Titulável (%) - 2018 (E) - 2019 (F); Relação SS/AT - 2018 (G) - 2019 (H) da rúcula em sistema consorciado com o jambu e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação.....	125
Figura19	pH 2018 (A) - 2019 (B); Sólidos solúveis (%) - 2018 (C) - 2019 (D); Acidez Titulável (%) - 2018 (E) - 2019 (F); Relação Sólidos solúveis/Acidez Titulável - 2018 (G) - 2019 (H) do jambu em sistema consorciado com a rúcula e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação.....	126
Figura20	Peroxidase do Guaiacol (G-POD) (A); Peroxidase do Ascorbato (APX) (B); Catalase (CAT) (C); Superóxido Dismutase (SOD) (D) da rúcula em sistema consorciado com o jambu e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação.....	129

Figura21	G -POD (A); APX (B); CAT (C); SOD (D) do Jambu em sistema consorciado com a rúcula e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação.....	130
Figura22	Teor de espilantol do Jambu em sistema consorciado com a rúcula e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação.....	131

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Artigos sobre consórcio com escopo no uso eficiente da água pesquisado na plataforma Science direct.....	36
Tabela 2	– Artigos sobre consórcio com escopo no uso eficiente da água, pesquisado na plataforma Scopus.....	37
Tabela 3	– Artigos sobre consórcio com escopo no uso eficiente da água, pesquisado na plataforma Scopus.....	65
Tabela 4	– Artigos sobre consórcio com escopo no uso eficiente da água, pesquisado na plataforma Scopus.....	66
Tabela 5	– Artigos sobre consórcio com escopo no uso eficiente da água, pesquisado na plataforma Scopus.....	69
Tabela 6	– Rendimento em t ha <sup>-1</sup> , rendimento relativo e índice de colheita de rúcula e jambu, em sistemas de cultivo consorciado e solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.....	92
Tabela 7	– Trocas gasosas da rúcula em consórcio com o jambu e em monocultivo, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.....	93
Tabela 8	– Trocas gasosas do jambu em consórcio com a rúcula e em cultivo solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.....	95
Tabela 9	– Características estomáticas de folhas de rúcula em consórcio com a rúcula e em cultivo solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2019.....	100
Tabela 10	– Características estomáticas de folhas de jambu em consórcio com a rúcula e em sistema solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2019.....	101

Tabela 11 – Pigmentos fotossintéticos da rúcula em consórcio com jambu em cultivo solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos, em 2018 e 2019.....	102
Tabela 12 – Pigmentos fotossintéticos do jambu em consórcio com a rúcula em monocultivo, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.....	103
Tabela 13 – Habilidade competitiva e rendimento relativo das espécies rúcula e jambu combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.....	105

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	21
2.1	<b>Gerais</b> .....	21
2.2	<b>Específicos</b> .....	21
3	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	22
3.1	<b>Rúcula</b> .....	22
3.2	<b>Jambu</b> .....	23
3.3	<b>ConSORCIAÇÃO</b> .....	25
3.3.1	<i>Eficiência Biológica</i> .....	26
3.3.2	<i>Habilidade Competitiva</i> .....	28
3.4	<b>Escassez Hídrica</b> .....	30
3.4.1	<i>Eficiência No Uso Da Água</i> .....	31
3.5	<b>Metabolismo Secundário: A Produção de Óleos Essenciais e Enzimas Antioxidantes</b> .....	31
3.6	<b>Fisiologia de Vegetais em Sistemas de Consórcio Sob Regimes Hídricos</b> .....	33
4	<b>CULTIVO EM CONSÓRCIO COM ESCOPO NO USO EFICIENTE DA ÁGUA: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO NAS PLATAFORMAS SCIENCE DIRECT E SCOPUS ENTRE OS ANOS DE 2000 A 2020</b> .....	36
5	<b>CAPÍTULO I: CULTIVO CONSORCIADO DE RÚCULA E JAMBU POSSIBILITAM AUMENTAR A EFICIÊNCIA NO USO DA TERRA EM CONDIÇÃO SEMIÁRIDA</b> .....	52
6	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	52
7	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	54
7.1	<b>Área de Estudo</b> .....	54
7.2	<b>Projeto Experimental do Campo</b> .....	55
7.3	<b>Determinação da Umidade do Solo e Evapotranspiração da Cultura</b> .....	56
7.4	<b>Volume de Água Aplicado</b> .....	57
7.5	<b>Eficiência Biológica</b> .....	57
7.6	<b>Uso Eficiente da Água</b> .....	59
7.7	<b>Análise Estatística dos Dados</b> .....	60

8	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	60
9	<b>CONCLUSÃO.....</b>	72
10	<b>CAPITULO II: DESEMPENHO FISIOLÓGICA DA CONSORCIAÇÃO RÚCULA-JAMBU COMBINADA COM DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDA.....</b>	78
11	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	78
12	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	80
12.1	<b>Área de Estudo .....</b>	80
12.2	<b>Delineamento Experimental e Condição do Experimento.....</b>	82
12.3	<b>Delineamento da Evapotranspiração da Cultura.....</b>	83
12.4	<b>Rendimento Total e Índice de Colheita.....</b>	84
12.5	<b>Trocas Gasosas.....</b>	84
12.6	<b>Área Foliar.....</b>	84
12.7	<b>Anatomia Estomática.....</b>	85
12.8	<b>Pigmentos Fotossintéticos.....</b>	85
12.9	<b>Dinâmica Entre as Culturas Componentes.....</b>	86
12.10	<b>Análise Estatística dos Dados.....</b>	88
13	<b>RESULTADOS.....</b>	88
13.1	<b>Rendimento Total e Índice de Colheita.....</b>	88
13.2	<b>Trocas Gasosas.....</b>	91
13.3	<b>Características Foliares.....</b>	95
13.4	<b>Anatomia Estomática.....</b>	97
13.5	<b>Pigmentos Fotossintéticos.....</b>	101
13.6	<b>Dinâmica Entre as Culturas Componentes.....</b>	103
14	<b>DISCUSSÃO.....</b>	105
15	<b>CONCLUSÃO.....</b>	110
16	<b>CAPÍTULO III: A CONSORCIAÇÃO RÚCULA:JAMBU COMBINADA COM REGIMES HÍDRICOS AFETA A QUALIDADE PÓS COLHEITA E MODULA O METABOLISMO ENZIMÁTICO E PRODUÇÃO DE ESPILANTOL NO JAMBU.....</b>	116
17	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	116
18	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	119
18.1	<b>Área de Estudo .....</b>	119

18.2	<b>Projeto Experimental de Campo.....</b>	
18.3	<b>Delineamento da Evapotranspiração da Cultura.....</b>	120
18.4	<b>Resposta do Consórcio e dos Regimes Hídricos na Qualidade Pós Colheita da Rúcula e do Jambu.....</b>	121
18.5	<b>Atividade das Enzimas Antioxidantes no Consórcio Rúcula:Jambu em Regimes Hídricos.....</b>	121
18.6	<b>Resposta do Sistema de Cultivo e Regimes Hídricos no Teor do Espilantol em Jambu.....</b>	122
18.7	<b>Análise de Dados Estatísticos.....</b>	123
19	<b>RESULTADOS.....</b>	123
20	<b>DISCUSSÃO.....</b>	130
21	<b>CONCLUSÃO.....</b>	133
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	134

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial está aumentando em cerca de 70 milhões de pessoas por ano. Se esta tendência continuar, haverá 10 bilhões de seres humanos ao final deste século (CAMPOS *et al.*, 2018). Esse número crescente pressiona de forma direta o setor agrícola mundial, já que há a necessidade imediata de se produzir alimentos em quantidade suficiente para toda essa população (ABDULLAHI; PRADHAN, 2018). Para que isso possa ser alcançado, a área atualmente cultivada precisa ser mais produtiva (ELAHI *et al.*, 2015), sendo necessária uma maior eficiência na utilização dos recursos naturais envolvidos nos sistemas produtivos.

Para que tais demandas sejam atendidas tem-se tornado cada vez mais necessária à adoção de sistemas de produção que possibilitem a obtenção de maiores produtividades (NASCIMENTO *et al.*, 2017) utilizando o mínimo de recursos. Nesse sentido, a técnica da consorciação vem sendo utilizada com desempenho satisfatório para a produção de hortaliças. O consórcio é o cultivo simultâneo e na mesma área de duas ou mais espécies, com ciclos, arquiteturas, espaçamentos (consórcio espacial) e período de semeadura (consórcio temporal), iguais ou diferentes (PINTO *et al.*, 2011; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Segundo Montezano (2006) a consorciação é considerada uma técnica tradicional de produção de alimentos e biomassa nas regiões tropicais. Esse sistema de cultivo tem apresentado vantagens produtivas, nutricionais, econômicas e ambientais importantes (MOTA *et al.*, 2010). De forma geral, a finalidade do uso dessa técnica tem sido de melhorar a utilização dos recursos ambientais e da área produzida e reduzir o uso de insumos como fertilizantes e agrotóxicos (MOTA *et al.*, 2010). Quando bem utilizada, essa prática pode auxiliar grandemente no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, bem como promover o equilíbrio ecológico devido a diversidade de indivíduos de diferentes famílias e espécies que são produzidos na mesma área (MOTA *et al.*, 2010).

A consorciação pode ser desenvolvida através da combinação de inúmeras espécies de plantas, sendo uma das mais utilizadas a rúcula (*Eruca sativa* Mill). Essa espécie é pertencente à família Brassicaceae, sendo caracterizada como uma herbácea de ciclo anual. É amplamente cultivada em países mediterrânicos como Itália, Grécia e Turquia (BAŞER, 2016). Nestes países, as folhas frescas e tenras da rúcula são usadas em saladas há muitos anos (BAŞER, 2016). Por possuir sabor picante e odor agradável são muito apreciadas na culinária (MARWAT *et al.*, 2016), sendo muito utilizada em várias receitas com outras hortaliças (OLIVEIRA *et al.*, 2018; TRIPODI *et al.*, 2017). No Brasil a *Eruca sativa* ocupa a terceira

posição entre as hortaliças folhosas cultivadas, com área plantada de, aproximadamente, 40.000 hectares, segundo dados da Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças (ABCSEM, 2015).

De forma geral, pesquisadores têm citado a combinação de algumas espécies de plantas em sistema de cultivo consorciado com a rúcula, todos apresentando elevada eficiência biológica e produtiva, tais como, rúcula com chicória (*Cichorium intybus*) (CECILIO FILHO *et al.*, 2008), rúcula com cenoura (*Daucus carota*) (LIMA *et al.*, 2010), rúcula com alface (*Lactuca sativa*) (OLIVEIRA *et al.*, 2010) rúcula com cenoura e coentro (*Coriandrum sativum*) (OLIVEIRA *et al.*, 2017), rúcula com nirá (*Allium tuberosum*) (GUIMARÃES *et al.*, 2020), rúcula com coentro, nirá e salsa (*Petroselinum crispum*) (VIANA *et al.*, 2021).

Diferentemente da rúcula, já amplamente estudada em cultivos consorciados, o jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K Jansen), muito utilizado na culinária nortista brasileira, ainda não foi pesquisado neste tipo de cultivo. O jambu é uma hortaliça que apresenta características importantes para integrar consorciações, como ciclo curto e porte baixo (BORGES *et al.*, 2013a). Além disso, suas propriedades farmacológicas a tornaram uma espécie amplamente explorada na medicina popular e pela indústria farmacêutica. De acordo com vários pesquisadores essa espécie pode ser utilizada no tratamento de disfunção sexual (SHARMA *et al.*, 2011), sialagoga (DUBEY *et al.*, 2013), diuréticos (LENNERTZ *et al.*, 2010), estomatites, resfriados e dores generalizadas (NASCIMENTO *et al.*, 2013), como larvicida (COSTA *et al.*, 2010) e inseticida (PAULRAJ *et al.*, 2013) e ainda pode ser utilizada como alimento funcional e cosmético (VERYSER *et al.*, 2014).

O jambu proporciona sabor e paladar característicos devido, principalmente, à sensação de formigamento na boca e efeito anestésico momentâneo, o que atrai seus consumidores e apreciadores em várias regiões do Brasil e do mundo (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013; SANTOS; GENTIL, 2015). O composto ativo, espilantol, presente em seu óleo essencial, é o responsável pelas sensações apontadas pelos consumidores da cultura, estando presente em todos os tecidos que a compõem (PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2013).

Apesar de não ser considerada uma hortaliça tradicional no nordeste brasileiro, a cultura do jambu tem potencial para desenvolver-se na região. Isso porque, estudos realizados mostraram boa adaptação produtiva desta espécie (SAMPAIO *et al.*, 2018; 2019) podendo ser uma excelente alternativa para produção por pequenos produtores que destinem suas produções às feiras ou mercados para consumo em saladas, bem como a produção de fitoterápicos através da extração de seu óleo essencial, já amplamente explorado pela indústria farmacêutica (BORGES *et al.*, 2013a).

Sendo assim, embora se saiba que tanto a rúcula, quanto o jambu estejam adaptados para a produção nas condições climáticas do nordeste brasileiro, informações agronômicas quanto a possibilidade de suas consorciações, bem como as suas necessidades hídricas, em cultivo conjunto ou monocultivo, são escassas. Tal condição torna, pesquisas que relacionem o comportamento agronômico dessas culturas, em consorciação e combinada com diferentes disponibilidades hídricas, importantes, já que podem indicar suas reais potencialidades para as regiões com baixa disponibilidade de água.

Fato importante a ser considerado para o jambu, em qualquer tipo de pesquisa que possa submeter as plantas a condições de estresse (o que ocorre de forma recorrente em sistemas consorciados ainda não estabelecidos e em cultivos que avaliem o fornecimento de diferentes regimes hídricos), são seus efeitos na produção do espilantol. Isso porque, estudos realizados com outras culturas tem demonstrado que fatores que causem estresses nas plantas, como por exemplo, a menor disponibilidade de água, pode potencializar a produção de espilantol (EKREN *et al.*, 2012).

Desta forma, esta pesquisa foi proposta com o objetivo de se investigar os efeitos no desempenho agronômico, fisiológico e bioquímico da rúcula e do jambu, cultivados em sistema solteiro e consorciado, sendo ambos submetidos a regimes hídricos em região de clima semiárido.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Gerais**

Analisar os aspectos fitotécnicos, fisiológicos e bioquímicos das culturas de rúcula e jambu cultivadas em sistema consorciado e solteiro submetido a regimes hídricos.

### **2.2 Específicos**

- i) Analisar o desempenho agrônomo e fisiológico das culturas, rúcula e jambu, sob monocultivo e consórcio sob diferentes níveis hídricos;
- ii) Determinar a eficiência de uso da terra e da água, e habilidade competitiva em sistema consorciado sob diferentes níveis hídricos;
- iii) Analisar a atividade antioxidante e qualidade pós colheita das culturas em sistema de monocultivo e consorciado sob regimes hídricos;
- iv) Identificar a condição de cultivo que proporciona a produção de maior teor de espilantol no jambu.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Rúcula

A rúcula (*Eruca sativa* Mill) tem como origem a região do mediterrâneo, sendo muito cultivada no Oriente Médio, Sul da Ásia e em países como Itália, Grécia e Turquia (BASER, 2016). No Brasil, a rúcula ocupa a terceira posição entre as hortaliças folhosas cultivadas, com área plantada de, aproximadamente, 40.000 hectares segundo dados da Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM, 2015).

É uma hortaliça relevante na alimentação humana e tem sido plantada em diversas regiões (PORTO *et al.*, 2013). Desde o final da década de 90, essa hortaliça, vem conquistando o mercado brasileiro, sendo observado aumento na quantidade comercializada (ALVES; SÁ, 2010). Suas folhas possuem sabor picante e odor agradável, sendo tenras e muito apreciadas na culinária (MARWAT *et al.*, 2016). É muito utilizada em saladas junto com outras hortaliças (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Várias receitas fornecem a preparação de purê, salgueiros e pesto de suas folhas (TRIPODI *et al.*, 2017).

A rúcula pertence à família Brassicaceae, que possui cerca de 350 gêneros e 3200 espécies. De forma geral, é reconhecida, principalmente, por suas propriedades nutracêuticas (VILLATORO-PULIDO *et al.*, 2012). É considerada uma hortaliça nutritiva, por conter minerais como potássio, enxofre e ferro, vitaminas A e C, bem como uma ampla gama de fitoquímicos, incluindo carotenoides, fibras, polifenóis, flavonoídes e glucosilados (glucoerucina) sendo, por esse motivo, classificada como um alimento funcional (DURAZZO *et al.*, 2013; XU *et al.*, 2014). Do conjunto de hortaliças conhecidas e consumidas pelas pessoas, a rúcula é considerada a que possui maior teor de ômega 3, o que lhe confere propriedades terapêuticas como, por exemplo, ser digestiva, anti-inflamatória, diurética e laxativa (NUNES *et al.*, 2013).

Quando comparada a outros vegetais tradicionalmente consumidos na dieta humana, a rúcula possui uma quantidade de minerais proporcionalmente maior. Em cada 100 g de sua massa fresca, pode-se encontrar 91,7 g de água, 2,58 g de proteína, 1,6 g de fibra, 160 mg de cálcio, 1,46 mg de ferro, 47 mg de magnésio, 52 mg de fósforo, 369 mg de potássio, 27 mg de sódio, 0,47 mg de zinco, 15 mg de vitamina C, 0,044 mg de tiamina, 0,086 mg de riboflavina, 0,305 mg de niacina e 0,073 mg de vitamina B6 (USDA, 2018).

As principais cultivares utilizadas no Brasil são ‘folha larga’ e ‘cultivada’ (FILGUEIRA, 2008). A rúcula é caracterizada como uma espécie folhosa, herbácea e que apresenta ciclo anual (MARWAT *et al.*, 2016). Suas folhas são verde-escuras e com menos de 20 cm de comprimento. Elas variam em formato: redondo, lobulado ou serrilhado. Suas flores

são branca ou amarela clara com nervuras roxas contendo quatro pétalas de 15 a 20 mm de comprimento. O número de flores, em uma planta, é relativamente baixo e são suportadas em pequenos ráceros terminais (HALL *et al.*, 2012). A planta pode ser colhida totalmente vinte dias após o transplântio ou cortada para rebrota (JAKSE *et al.*, 2013).

A rúcula é mencionada como uma espécie com bastante potencial para cultivos consortes por apresentar ciclo curto, arquitetura ereta e rápido crescimento vegetativo, o que permite a sua adaptação a esse sistema produtivo (OLIVEIRA *et al.*, 2017). No entanto, apesar das vantagens observadas, possui sistema radicular muito superficial, o que a torna mais vulnerável a ocorrência de déficit hídrico. Para contornar tal situação, os produtores tem se utilizado da prática de irrigação para que as plantas possam alcançar boa qualidade e produtividade. Tal condição torna a determinação das necessidades hídricas dessa espécie um importante procedimento técnico já que a escassez pode ocasionar sérios problemas para a atividade agrícola interferindo na produção (CARVALHO *et al.*, 2012).

### 3.2 Jambu

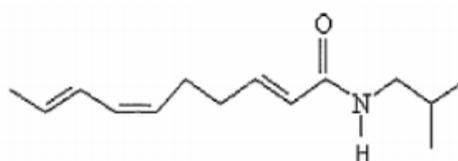
O jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K Jansen) é encontrado em muitas partes do mundo devido às suas diferentes formas de exploração agrícola (PAULRAJ *et al.*, 2013). Além de ser distribuída em regiões tropicais da América Central (México), Ásia (Índia, China e Taiwan) e África, essa cultura é considerada nativa do norte do Brasil (DUBEY *et al.*, 2013). Também é conhecida como “agrião brasileiro” (URANKAR *et al.*, 2013), agrião bravo ou agrião do Pará (NASCIMENTO *et al.*, 2013).

Especial atenção tem sido dada às propriedades biológicas da espécie, principalmente, àquelas relacionadas à presença de moléculas bioativas. Pesquisadores tem indicado que a planta de jambu possui em torno de 0,7% de óleo essencial na sua composição química (LORENZI; MATOS, 2008). Segundo Borges *et al.* (2014a), no óleo são encontradas 66 diferentes substâncias, com destaque sendo feito para o trans-cariofileno, L-dobeceno, germacreno D, espatulenol e o espilantol.

Na medicina popular essa hortaliça tem sido indicada para tratar estomatites, resfriados e dores generalizadas (NASCIMENTO *et al.*, 2013). Outras propriedades farmacológicas do jambu já foram descritas na literatura, incluindo a melhoria na disfunção sexual (SHARMA *et al.*, 2011), sialogoga (tratamento de aftas, gengivites e herpes) (DUBEY *et al.*, 2013), como diurético (LENNERTZ *et al.*, 2010), antimalárico (BANDELL *et al.*, 2004), acaricida (BRYANT, 1999), anestésico (ALBIN; SIMONS, 2010), antioxidante (TJØLSEN *et al.*, 1992), vasorelaxante (LOPES *et al.*, 2012), imunomodulador (SAKURADA *et al.*; 2003),

larvicida (COSTA *et al.*, 2010; PECZE *et al.*, 2009) e inseticida (PAULRAJ *et al.*, 2013). Pode ainda ser utilizado como alimento funcional e cosmético (VERYSER *et al.*, 2014). Tais propriedades do jambu vem atraindo a atenção de empresas cosmeceúicas e farmacêuticas de todo o mundo (BORGES *et al.*, 2012; BORGES *et al.*, 2013a).

O consumo da parte aérea do jambu promove uma espécie de formigamento, entorpecimento e sensações de anestesia local na boca (DUBEY *et al.*, 2013). Estas sensações quimioestéticas na mucosa bucal estão fortemente relacionadas à presença de alquilamidas, neste caso específico, o espilantol (FIGURA 1).



**Figura 1-** Estrutura química do espilantol (Ramsewak *et al.*, 1999).

O espilantol é o principal princípio ativo do jambu e, apesar de ocorrer em toda a planta, é nas inflorescências onde ocorre em maior concentração (GREGER, 2016). Essa classe de metabólitos secundários é constituída basicamente por cadeias alifáticas saturadas e insaturadas ligadas a um grupo de amida, cujas estruturas gerais podem variar o número de carbonos, a posição das ligações insaturadas e os grupos radicais, isobutil, benzil ou metil (GREGER, 2016).

A cada 100 g de folhas frescas de jambu são encontrados: 1,9 g de proteínas; 3 g de lipídios; 7,2 g de carboidratos; 1,3 g de fibras; 1,6 g de cinzas; 162,0 mg de cálcio; 41 mg de fósforo; 4,0 mg de ferro; 1,0 mg de niacina; 0,03 mg de vitamina B1; 0,21 mg de vitamina B2; 20,0 mg de vitamina C e 89,0 g de água (VILLACHICA *et al.*, 1996).

O jambu é pertencente a família Asteraceae. Suas folhas frescas são a principal parte da planta que é apreciada para o consumo. De forma geral é utilizado como condimento em pratos típicos da culinária Paraense, como o tacacá e o pato-no-tucupi (NASCIMENTO *et al.*, 2013) ou em pizzas e arroz (COSTA *et al.*, 2013). Sua maior demanda são nos períodos festivos, tais como o Círio de Nazaré e nas festas de final de ano (BORGES *et al.*, 2013a).

É uma planta herbácea, anual, que apresenta de 20 a 40 cm de altura e caule cilíndrico. Seu hábito de crescimento é semi rasteiro. Sua raiz principal é pivotante, com

abundância nas ramificações laterais. As folhas são compostas, opostas, membranáceas, ovaladas a deltas, agudas, com margens dentadas e pecioladas. Seus pecíolos possuem comprimento de 20-60 mm (HIND; BIGGS, 2003). Suas flores são dispostas em capítulos (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013), as inflorescências possuem flores amarelas ou roxas, são pediculadas, podendo apresentar manchas vermelhas-arroxeadas no topo (MATYUSHIN; EVDOKIMOVA, 2017) e os frutos são do tipo aquênios (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). No geral, preferem solos bem drenados e ricos em húmus com umidade difusa e exposição ao sol total ou parcial (MATYUSHIN; EVDOKIMOVA, 2017).

Pelas características morfológicas, agronômicas e também por sua importância econômica, o jambu pode ser considerado uma hortaliça promissora para o sistema de cultivo em consórcio. Estudos realizados em Fortaleza-CE, mostraram boa adaptação climática, para produção, desta espécie (SAMPAIO *et al.*, 2018; 2019), podendo ser considerada, uma excelente alternativa para pequenos produtores de hortaliças da região (BORGES *et al.*, 2013a).

### 3.3 Consorciação

Caracterizada como uma técnica tradicional de produção de alimentos e biomassa nas regiões tropicais, a consorciação é uma prática cultural utilizada, principalmente, por pequenos produtores rurais (MONTEZANO, 2006). Quando realizada em sistemas agroecológicos, a consorciação tem possibilitado a obtenção de vantagens produtivas, nutricionais, econômicas e ambientais (MOTA *et al.*, 2010). De forma geral, o objetivo dessa prática tem sido de maximizar a utilização de recursos ambientais e de área, melhorar o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, diminuir o uso de insumos como fertilizantes e agrotóxicos, bem como promover o equilíbrio ecológico (KOEFEENDER *et al.*, 2016; MOTA *et al.*, 2010; VASCONCELOS *et al.*, 2012).

Sistemas consorciados estão entre as práticas agrícolas que são utilizadas com sucesso pelos produtores de hortaliças e apresentam ganhos de produtividade e valor nutricional, econômico e ambiental (ALMEIDA *et al.*, 2015; MACHADO DIAS 2011). Segundo Porto *et al.* (2013) a eficiência do consórcio está relacionada diretamente ao manejo das culturas envolvidas, sendo que o planejamento adequado dos fatores de produção, como a densidade populacional e de plantio, o arranjo espacial das plantações, entre outros, pode contribuir para a diminuição da competição por recursos e aumentar a eficiência do sistema.

Esses fatores, quando adequadamente manejados, trazem benefícios ecológicos e econômicos para a atividade em decorrência da natureza complementar das espécies envolvidas, aumentando a produção quando comparado ao cultivo solteiro, possivelmente em

decorrência do enriquecimento físico, químico e biológico promovido no solo (BATISTA *et al.*, 2016).

A eficiência do consórcio é analisada por meio do Índice de Equivalência de Área, (IEA), ou seja, valor de área necessária para que a produção das culturas no monocultivo se iguale à produção no cultivo consorciado (MAIA *et al.*, 2010). Outros índices também têm sido utilizados para quantificar a vantagem do sistema em consórcio, com destaque podendo ser feito ao índice de uso eficiente da terra, eficiência biológica, índice de produtividade do sistema, razão de compensação, índice de razão competitiva e índice de superação (BEZERRA NETO *et al.*, 2007).

São vários os aspectos que podem afetar a interação entre as culturas em sistemas de consórcios, por este motivo é fundamental as avaliações a fim de comparar sua eficácia em relação ao sistema solteiro (SOUZA; MACEDO, 2007). De forma geral, o uso de recursos ambientais de forma eficiente é considerado a base biológica para obter vantagem de rendimento neste sistema (WILLEY, 1979). No entanto, as interações entre as culturas também podem resultar em desvantagens produtivas (FRANCIS, 1989).

O sucesso do consórcio de hortaliças está condicionado, geralmente, à complementaridade das culturas utilizadas. O período de demanda pelos recursos ambientais utilizados pelas culturas é de fundamental importância nesse processo. Sendo assim, quando esse período de demanda não coincide, a competição é reduzida ou não há competição, sendo então chamada de complementaridade temporal. No entanto, quando as diferenças de arquiteturas das plantas favorecem à melhor utilização de água, nutrientes e luz, a complementaridade é caracterizada como espacial (WILLEY, 1979).

Apesar do exposto, é natural que competições intra e interespecíficas por água, luz e nutrientes, possam ocorrer, sendo que em relação a água, certamente tais competições ocorrem quando se utiliza manejo hídrico adequado. Nesse sentido, as plantas em competição podem apresentar um desequilíbrio devido a possíveis estresses fisiológicos que venham a sofrer por excesso ou falta de um ou mais fatores abióticos.

### **3.3.1 Eficiência biológica**

A eficiência biológica é caracterizada por determinar a vantagem do sistema consorciado sobre o solteiro em termos de rendimento das culturas e melhor uso da área. Essa variável é mensurada pelos índices do uso eficiente da terra (UET), contribuição relativa da cultura principal ao UET e o índice de produtividade do sistema.

O Uso Eficiente da Terra (UET) pode revelar vantagens no aproveitamento da terra, ou seja, maior ganho de área em cultivos de consórcios em relação aos cultivos solteiros. O cálculo do UET parcial considera a produção por espécie em cada tratamento consorciado sobre o solteiro. A UET total é realizada através da soma das UETs parciais de ambas as culturas conforme a fórmula proposta por Willey (1979):

$$\text{UET parcial Rúcula} = \frac{Y_{rj}}{Y_{rr}}$$

$$\text{UET parcial Jambu} = \frac{Y_{jr}}{Y_{jj}}$$

$$\text{UET total} = \frac{Y_{rj}}{Y_{rr}} + \frac{Y_{jr}}{Y_{jj}}$$

$Y_{rj}$ : é a produção da rúcula em consórcio com o jambu ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );  $Y_{jr}$ : é a produção do jambu em consórcio com a rúcula ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );  $Y_{rr}$ : é a produção da rúcula em monocultivo ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );  $Y_{jj}$ : é a produção do jambu em monocultivo ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Quando a  $\text{UET} > 1$  há indicação de que ocorre vantagem produtiva na consorciação e alta eficiência no uso da terra. Já  $\text{UET} < 1$  não há vantagem produtiva (LI *et al.*, 1999; ZENG *et al.*, 2019).

Quanto a Contribuição Relativa da Cultura principal (CRC) ao Índice do Uso Eficiente da Terra (UET), significa o quanto a cultura principal contribui para uma melhor utilização do espaço destinado para o cultivo, e o quanto a cultura secundária pode complementar a produtividade do sistema, a CRC é calculada de acordo com Souza e Macedo (2007):

$$\text{CRC} = \frac{\text{PRI} \times 100}{\text{UET}}$$

PRI: é a produtividade relativa individual do sistema ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); UET: índice de uso eficiente da terra.

Já o Índice de Produtividade do Sistema (IPS) é utilizado para padronizar o rendimento da cultura secundária em relação à cultura principal, sendo avaliado conforme Odo (1991):

$$IPS = \frac{Y_{jj}}{Y_{rr}} \times (Y_{rj} + Y_{jr})$$

$Y_{jj}$ : é o rendimento do jambu em monocultivo ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );  $Y_{rr}$ : rendimento da rúcula em monocultivo ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );  $Y_{rj}$ : rendimento da rúcula em consórcio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) e  $Y_{jr}$ : rendimento do jambu em consórcio ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

### 3.3.2 *Habilidade competitiva*

A habilidade competitiva trata-se da forma como as culturas escolhidas para compor o consórcio se comportam. No entanto, a interação entre as espécies é um processo complexo e a forma como cada cultura utiliza os recursos ambientais pode alterar a dinâmica competitiva entre as componentes, podendo haver competição tanto inter como intraespecífica. Para avaliar a habilidade competitiva entre as espécies é analisado o Índice de Superação, Razão da Compensação e o Índice de Razão Competitiva.

O Índice de Superação (IS) é calculado em relação aos rendimentos das culturas (WILLEY; RAO, 1980), podendo também ser chamado de medidas de agressividade. As medidas de agressividade, na competição interespecífica do cultivo em consórcio, são dadas pela relação da produtividade das culturas componentes. A agressividade é uma ferramenta importante para determinar a habilidade de uma cultura sobre a outra. O cálculo foi sugerido por Mcgilchrist e Trenbath (1971):

$$IS_{rj} = \frac{Y_{rj}}{(Y_{rr} \cdot Z_{rj})} - \frac{Y_{jr}}{(Y_{jj} \cdot Z_{jr})}$$

$$IS_{jr} = \frac{Y_{jr}}{Y_{jj} \cdot Z_{jr}} - \frac{Y_{rj}}{Y_{rr} \cdot Z_{rj}}$$

$IS_{rj}$ : Índice de superação da rúcula em consórcio com o jambu;  $IS_{jr}$ : Índice de superação do jambu em consórcio com a rúcula;  $Y_{rj}$ : rendimento da rúcula em consórcio com o jambu ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );  $Y_{jr}$ : rendimento do jambu em consórcio com a rúcula ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );  $Y_{rr}$ : rendimento da rúcula em monocultivo ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );  $Y_{jj}$ : rendimento do jambu em monocultivo ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );  $Z_{rj}$ : proporção de plantio da rúcula em consórcio com o jambu;  $Z_{jr}$ : proporção de plantio do jambu em consórcio com a rúcula.

Esse índice indica o quanto uma cultura, em sistema consorciado, foi superior em produtividade à outra. Para  $IS = 0$ , as culturas são igualmente competitivas; para  $IS_{rj} > 0$ , há habilidade competitiva da rúcula sobre o jambu no sistema consorciado, ou seja, a rúcula é

dominante e jambu dominado. Para,  $IS_{jr} > 0$ , há habilidade competitiva do jambu no sistema consorciado, ou seja, jambu é dominante e a rúcula é dominada (CECÍLIO FILHO *et al.*, 2017; DUTRA *et al.*, 2015; PINTO *et al.*, 2011; PINTO; PINTO, 2012).

A Razão da Compensação (RCo) é um índice que mostra o quanto a produção da cultura secundária pode compensar e contrabalancear as perdas obtidas pela cultura principal ao colocar uma cultura secundária na mesma área, estabelecendo uma relação de compensação ou de perda. A RCo é calculada de acordo com Ntare e Williams (1992):

$$RC_{orj} = \frac{Y_{rj}}{Y_{jj} - Y_{jr}}$$

$$RC_{ojr} = \frac{Y_{jr}}{Y_{rr} - Y_{rj}}$$

Em que, RCo: Razão de Compensação;  $Y_{rj}$ : rendimento da rúcula em sistema de consórcio ( $\text{kg.m}^{-2}$ );  $Y_{jr}$ : rendimento do jambu em sistema de consórcio ( $\text{kg.m}^{-2}$ );  $Y_{rr}$ : rendimento do monocultivo de rúcula ( $\text{kg.m}^{-2}$ );  $Y_{jj}$ : rendimento do monocultivo de jambu ( $\text{kg.m}^{-2}$ ). O rendimento das culturas é estimado com base nas massas frescas das folhas de padrão comercial de rúcula e parte aérea do jambu.

A RC indica que o efeito competitivo de uma cultura sobre a outra pode ser balanceado pelo ganho substancial adquirido no consórcio. Quando  $RC_{ojr} > 1$ , indica que o efeito competitivo da rúcula sobre o jambu foi balanceado pelo ganho substancial da rúcula. Já para  $RC_{orj} = 1$  sugere que a perda do rendimento do jambu em sistema consorciado com a rúcula é igual ao rendimento da rúcula em sistema consorciado com o jambu. Já quando  $RC_{orj} < 1$  sugere que a produção do jambu em sistema consorciado com a rúcula foi superior ao do seu monocultivo, não havendo necessidade de compensação (PINTO; PINTO; PITOMBEIRA, 2012).

O Índice de Razão Competitiva (IRC) – é obtido a partir das taxas de competição da rúcula e do jambu, sendo calculado de acordo com Eskandari; Ghanbari (2010).

$$IRC_r = \left( \frac{\frac{Y_{rj}}{Y_{rr}}}{\frac{Y_{jr}}{Y_{jj}}} \right) \cdot \frac{Z_{jr}}{Z_{rj}}$$

$$IRC_j = \left( \frac{Y_{jr}}{\bar{Y}_{jj}} \right) \cdot \frac{Z_{rj}}{Z_{jr}}$$

IRC<sub>r</sub>: é o índice de razão competitiva da rúcula; IRC<sub>j</sub>: Índice de razão competitiva do jambu; Y<sub>rj</sub>: produtividade da rúcula em consórcio (kg.ha<sup>-1</sup>); Y<sub>jr</sub>: produtividade do jambu em consórcio (kg.ha<sup>-1</sup>); Y<sub>r</sub>: produtividade da rúcula em monocultivo (kg.ha<sup>-1</sup>); Y<sub>j</sub>: produtividade comercial do jambu em monocultivo (kg.ha<sup>-1</sup>); Z<sub>rj</sub>: proporção de plantio de rúcula em sistema de consórcio; Z<sub>jr</sub>: proporção de plantio do jambu em sistema de consórcio.

Esse índice indica o grau exato da competição, indicando o número de vezes em que a espécie dominante é mais competitiva que a dominada.

### 3.4 Escassez hídrica

A intensificação mundial da agricultura, no último século, levou a um aumento significativo na produção de alimentos, o que foi possibilitado, sobretudo, pelo aumento no uso de fertilizantes e de água através da prática de irrigação (WILCOCK *et al.*, 2011). Além do aumento da produtividade, a irrigação proporciona maior confiabilidade de produção com menos variabilidade ano a ano (VOGELER *et al.*, 2016) o que tem permitido a intensificação e expansão dos sistemas agrícolas.

Apesar disso, a crise global relacionada a escassez hídrica é um desafio que vem sendo enfrentado nos últimos anos (ZHANG *et al.*, 2017). Tal condição decorre da poluição acentuada das fontes hídricas, aumento da demanda de água e mudanças climáticas (ZHANG *et al.*, 2017).

A seca em regiões com reservatórios de água doce limitados, bem como o clima semi-árido em algumas regiões do planeta, impossibilitam o desenvolvimento hortícola. Caso, por exemplo, do que acontece na região nordeste do Brasil, onde o aumento da demanda por água, devido, sobretudo ao crescimento da população e às atividades agrícolas, somado à degradação ambiental e irregularidade da pluviosidade, vem influenciando mudanças na agricultura irrigada que visam, principalmente, a redução no consumo de água (SILVA *et al.*, 2012; LIU; YANG, 2016; VANHAM *et al.*, 2018).

Dentro deste contexto, a programação da irrigação é muito importante no que se refere à economia de água no solo. Determinar as necessidades de água das culturas é uma das premissas para se realizar um manejo adequado da irrigação (ZHANG *et al.*, 2011). Portanto, a fim de se reduzir os problemas desencadeados por demandas excessivas de recursos hídricos

para a agricultura, estudos que avaliem o uso correto da água são necessários já que possibilitam melhorar a eficiência de seu uso (ZHANG *et al.*, 2019).

### **3.4.1 Eficiência no Uso da Água**

Uma das técnicas que tem sido utilizadas para alcançar tal objetivo, é a chamada irrigação por déficit. Esta técnica consiste na aplicação de lâminas inferiores às necessidades hídricas das culturas, ou seja, produzir sob condição de déficit hídrico (ZHANG *et al.*, 2019). De acordo com Taiz e Zeiger (2013) as plantas conseguem alterar diretamente sua fisiologia ou morfologia respondendo às mudanças ambientais para que possam sobreviver em ambientes mais restritivos, neste caso, com recursos hídricos mais escassos.

Com base no exposto, a combinação da chamada irrigação por déficit com a consorciação de plantas pode ser benéfica para o uso eficiente da água, isso porque, as altas taxas de evaporação da água causadas pela incidência direta de raios solares nas entrelinhas e entreplantas de monocultivos seria minimizado pela maior cobertura do solo promovida no ambiente consorciado. Assim, além do estímulo fisiológico para adaptação das plantas à ambientes mais restritivos a água, caso do semiárido, bem como a maior cobertura vegetal do solo, promovido pela consorciação, poderá contribuir para a redução nos níveis de evapotranspiração das culturas e, conseqüentemente, reduzir a lâmina de água necessária para reposição através da irrigação (LOPES; LIMA, 2015).

Diante desse contexto, alguns estudos indicam a variabilidade da eficiência do uso da água (EUA) em agroecossistemas de multiespécies (GAO *et al.*, 2009; MAO *et al.*, 2012; REN *et al.*, 2016; KOOCHKEKE *et al.*, 2019). No entanto, esses estudos utilizaram irrigação plena, sendo que estudos que envolvem consórcio combinado com irrigação por déficit em regiões semiáridas são escassos. Desta forma, não se sabe se o cultivo simultâneo dessas culturas na mesma área é eficiente, tão pouco se elas competem pela água no solo ou fornecem algum efeito compensatório para as culturas consortes.

### **3.5 Metabolismo secundário: a produção de óleos essenciais e enzimas antioxidantes**

Além de importantes metabólitos primários, como lipídios, carboidratos e aminoácidos, as plantas superiores também sintetizam uma ampla gama de metabólitos secundários, como alcalóides, esteróides, terpenóides, flavonóides, quinonas, ligninas e antocianinas, que são utilizados como fármacos, agrotóxicos, fragrâncias, pigmentos, biopesticidas e aditivos alimentares (RAMAKRISHNA; RAVISHANKAR, 2011).

Os metabólitos secundários não desempenham função direta na manutenção dos processos fundamentais da vida das plantas, mas têm papel reconhecido na interação da planta com o ambiente que habita (RAMAKRISHNA; RAVISHANKAR, 2011). Sua acumulação na planta, frequentemente, ocorre quando estas são submetidas a vários estresses (estresse hídrico, salino ou por altas/baixas temperaturas), tensões, eliciadores ou moléculas de sinal, ou mesmo por vários fatores químicos, físicos ou microbianos que atuam como abióticos ou bioeliciadores, o que leva ao aumento na síntese dos metabólitos secundários (GHORBANPOUR *et al.*, 2014). A produção destes compostos depende sobretudo do estágio fisiológico e do desenvolvimento da planta, sendo, no geral, muito baixo, menos de 1% do peso seco do vegetal (OKSMAN-CALDENTEY; INZE, 2004).

De forma geral, os metabólitos secundários podem ser divididos em três grupos distintos: terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados (TAIZ *et al.*, 2017).

Os terpenos constituem a maior classe de produtos secundários, podendo ser substâncias inibidoras para muitos insetos e mamíferos herbívoros. Dessa forma exercem importantes funções de defesa no reino vegetal. Um dos principais exemplos de terpenos produzidos pelas plantas são os chamados óleos essenciais (OEs). Os OEs são misturas de mono e sesquiterpenos, presentes em várias espécie de plantas, e tem como característica proporcionar a presença de aroma nas folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os OEs são produzidos em estruturas secretoras (glândulas endógenas). Sua liberação ocorre em células que eventualmente se rompem e acabam por secretar estas substâncias. As glândulas endógenas estão em todo o parênquima foliar da maior parte das espécies vegetais e, em algumas delas, quando a folha é observada contra a luz podem ser visualizadas como pontos translúcidos (DORAN, 1991).

Esses óleos são caracterizados como líquidos hidrofóbicos que contém compostos aromáticos voláteis que geralmente podem ser extraídos de plantas por destilação. Os OEs são considerados de grande importância devido às suas propriedades biológicas, como capacidade antioxidante, anticâncer ou antimicrobiana (ABD EL-GAWAD *et al.*, 2016).

Segundo pesquisadores, das aproximadamente 50.000 espécies vegetais que existem no Brasil, acredita-se que ao menos metade delas possa conter alguma propriedade terapêutica. Uma destas espécies é o jambu que, como citada anteriormente, possui diversas características fitoterápicas devido, principalmente, a presença do princípio ativo, em seu OE, chamado de espilantol (PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2013).

Conforme Lorenzi e Matos (2002) a planta de jambu possui em torno de 0,7% de OE na sua composição química. Com um total de 66 substâncias (BORGES *et al.*, 2014a), dentre essas tem-se o trans-cariofileno, L-dodeceno, germacreno D, espatulenol e o espilantol.

Apesar do exposto, nada se sabe quanto a produção de espilantol no jambu sob condições de cultivo consorciado combinado com condições de restrição hídrica. O que se sabe até o presente momento, mas para outras espécies de plantas, é que a competição entre elas, pode influenciar no teor do OE produzido (MARTINS, 2002).

Além do metabolismo secundário apresentar como respostas a produção de diferentes concentrações de OEs, a depender das condições de cultivo, as chamadas enzimas antioxidantes também desempenham papel importante, sendo suas respostas aos estresses bióticos e abióticos fortemente expressos pelas plantas (MALOLEPSZA; RÓZYŃSKA, 2005).

O estresse oxidativo, por exemplo, induzido pela superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), que incluem: radicais superóxido ( $O_2^-$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), oxigênio singlete ( $^1O_2$ ) e hidroxila ( $^{\circ}OH$ ), sendo todos altamente reativos e deletérios, podendo, inclusive causar desequilíbrios nos vegetais (GILL; TUTEJA, 2010) quando em altas concentrações, já que alteram o metabolismo das células por oxidar biomoléculas como os ácidos nucléicos e proteínas, causando também a inibição de enzimas e peroxidação de lipídeos (GILL; TUTEJA, 2010).

O processo de desintoxicação desses EROs, nas plantas, é fundamental para a proteção das células vegetais e suas organelas (APEL; HIRT, 2004). Nesse processo as plantas aumentam a produção de antioxidantes enzimáticos, como a catalase (CAT); dismutase de superóxido (SOD), peroxidase de ascorbato (APX) e guaiacol (GPX) e não enzimáticos; carotenóides, ascorbato e glutatona, que são os principais desse grupo (FOYER; NOCTOR, 2003).

São muitos os estudos abordando o sistema antioxidante de plantas em exposição a condições ambientais adversas (CAVERZAN *et al.*, 2012), no entanto, nada se sabe do mecanismo de produção de antioxidantes enzimáticos em sistemas de cultivo consorte, utilizando como cultura principal a rúcula e uma planta medicinal como companheira, no caso o jambu, sob diferentes restrição hídricas.

### **3.6 Fisiologia de vegetais em sistemas de consórcio sob regimes hídricos**

As informações fisiológicas das plantas em cultivos consorciados são fundamentais para se entender a dinâmica das espécies envolvidas em ecossistemas com possíveis competições entre espécies componentes, principalmente quando seu desenvolvimento se dará em condições de estresse hídrico, o que pode causar prováveis alterações fisiológicas nas plantas.

Em condições de estresse as alterações fisiológicas podem provocar diminuição da fotossíntese, redução da condutância estomática e na absorção de gás carbônico, sendo que tais modificações são utilizadas como defesa pela planta às condições adversas do habitat (TAIZ *et al.*, 2017). A morfologia da planta também pode ser alterada, principalmente a área foliar (CORREIA; NOGUEIRA, 2004), o número de estômatos (FAN *et al.*, 2013), a massa seca e fresca, o número de folhas e o crescimento da planta (CORREIA; NOGUEIRA, 2004). No entanto, a intensidade das alterações irá depender da magnitude desse estresse.

Uma das formas de avaliar as respostas fisiológicas é através das trocas gasosas. Com este tipo de análise é possível medir a taxa de transpiração, a taxa fotossintética líquida e mensurar a concentração interna de gás carbônico, a condutância estomática, a eficiência instantânea de carboxilação, a razão entre as concentrações de gás carbônico interno e do ambiente, a temperatura da folha e a eficiência instantânea do uso da água (PAIVA *et al.*, 2005).

À concentração interna de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática depende da condução estomática. Quanto maior for a abertura estomática maior tende a ser a entrada de CO<sub>2</sub>. No entanto quanto maior a taxa de fotossíntese, espera-se que menor seja a concentração interna de gás carbônico, já que o CO<sub>2</sub> fixado será rapidamente convertido em fotoassimilados (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

A condutância estomática varia com a abertura e fechamento do estômato, sendo que a quantidade de água disponível no solo, para a planta, reflete de maneira positiva ou negativa para esse mecanismo. A planta sob estresse tende a fechar os estômatos para garantir a manutenção da água dentro da câmara subestomática, no entanto, evita a entrada de CO<sub>2</sub>. Assim, o fechamento estomático pode ser visto como uma resposta positiva da planta para manutenção de sua turgescência (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Outra análise avaliada nas trocas gasosas, a taxa de transpiração, está relacionada ao mecanismo da perda de água da planta para atmosfera. Essa água perdida através da transpiração é um mecanismo necessário e inevitável, isso porque, para que ocorra assimilação do gás carbônico atmosférico para realização da fotossíntese, a planta necessita abrir seus estômatos o que acaba gerando perda de água por transpiração. Dá mesma forma ocorre para a retirada de água do solo (TAIZ *et al.*, 2017).

Quanto a realização da fotossíntese, as plantas captam luz e utilizam a energia luminosa para oxidar o H<sub>2</sub>O, liberando O<sub>2</sub> para reduzir a CO<sub>2</sub>, produzindo compostos orgânicos (PIMENTEL C., 1998; TAIZ *et al.*, 2017). A energia armazenada nos carboidratos é utilizada para realizar processos vitais nas plantas superiores (TAIZ *et al.*, 2017).

A eficiência instantânea de carboxilação é um fator fisiológico que permite analisar se a concentração interna de CO<sub>2</sub>, na câmara subestomática, está sendo eficientemente convertido em fotossíntese, já que em um cenário de estresse a planta pode não fixar gás carbônico na etapa carboxilativa nas células do mesófilo, ou seja, a maior concentração de CO<sub>2</sub> pode não resultar em maior fotossíntese (LARCHER, 2004). Por esse motivo, é importante avaliar a razão entre as concentrações de gás carbônico interno e do ambiente.

A razão entre as concentrações de CO<sub>2</sub> interno e do ambiente dependem da condutância estomática e da fotossíntese. É importante entender essas relações, para compreender o que está ocorrendo fisiologicamente dentro da planta, uma vez que, se o processo fotossintético for limitado, essa análise poderá revelar se a limitação é difusional ou se é a nível bioquímico, devido um possível dano no maquinário fotossintético (GUERRA *et al.*, 2017).

Já a temperatura da folha é importante para estabelecer uma relação com a taxa fotossintética e a condutância estomática. Visto que com aumento da temperatura da folha a planta tende a reduzir essa condutância e, conseqüentemente, a taxa fotossintética também cai (KUMAR; PORTIS JÚNIOR, 2009).

Quanto a eficiência momentânea do uso da água, sua avaliação se dá pela relação entre a fotossíntese líquida e a taxa de transpiração, ou seja, é a unidade de água que a planta perde sobre a quantidade de CO<sub>2</sub> fixado, o que pode variar entre e dentro dos vegetais (MANALAVAN *et al.*, 2009).

Todos os aspectos fisiológicos abordados acima, estão diretamente relacionados aos chamados fatores abióticos (temperatura, radiação, água e nutrientes), sendo eles os que mais comumente causam estresses em plantas (BIANCHI *et al.*, 2016). Apesar disso, a eficiência de conversão de recursos em biomassa, também é diretamente dependente da quantidade desses recursos (LAMBERS *et al.*, 2008).

Em agroecossistemas de multiespécies a quantidade total de luz interceptada pelo dossel e a taxa de assimilação líquida por unidade de área foliar interfere diretamente na biomassa produzida pelos vegetais (LAMBERS *et al.*, 2008). Devido a plasticidade fenotípica desses a incidência luminosa pode afetar a área foliar alterando a morfologia da folha o que implicará na alteração de sua área específica e em sua razão, conseqüentemente, isso também

interfere no investimento relacionado a produção de clorofila para o maquinário fotossintético em resposta a quantidade de luz absorvida. Além disso, o desenvolvimento dos estômatos também parece estar relacionado com a intensidade da luz (LEE *et al.*, 2007).

#### 4. Cultivo em consórcio com escopo no uso eficiente da água: Um estudo bibliométrico nas plataformas Science direct e Scopus entre os anos de 2000 a 2020.

A discussão sobre o estudo do sistema de cultivo em consórcio cresce a passos largos. Em um período de 20 anos, muitos estudos foram publicados pelo mundo para mostrar as vantagens desse sistema de produção em melhorar a eficiência da utilização de recursos ambientais. Apesar disso, ainda há várias interrogações a serem respondidas sobre o assunto, entre elas a resposta do cultivo consorciado de rúcula e jambu submetidas a níveis hídricos em regiões de escassez hídrica.

A busca pelo termo “consórcio de plantas e uso eficiente da água” foi realizada em resumos, palavras-chaves e títulos, de artigos contidos nas bases Science direct (Tabela 1) e Scopus (Tabela 2). Na primeira foram encontrados 13 artigos e na segunda 11 com a expressão buscada. No entanto, não foram encontrados trabalhos sobre o cultivo consorciado de rúcula e jambu sob regimes hídricos.

**Tabela 1** - Artigos sobre consórcio com escopo no uso eficiente da água pesquisado na plataforma Science direct.

Título do artigo	Culturas	Autores	Periódico/Ano	País
Dynamic process-based modelling of crop growth and competitive <b>water</b> extraction in relay strip intercropping: Model development and application to wheat-maize <b>intercropping</b>	Trigo-milho	Meixiu, T; Fang, G; Stomph, J. T; Jinga, W; Wend, Y; Lizhena, Z; Qiang, C; Werf, W, W. V. D.	Field Crops Research, 2020.	China
Interspecific root interactions and <b>water-use efficiency</b> of <b>intercropped</b> proso millet and mung bean	Milheto -feijão	Gong , X; Dang, K; Lv, S; Zhao, G; Tian, L; Luo, Y; Feng, B.	European Journal of Agronomy, 2020.	China
A lack of complementarity for <b>water</b> acquisition limits yield advantage of oats/vetch <b>intercropping</b> in a semi-arid condition	Aveia / ervilhaca	Zhang, Y; Duan, Y; Nie, J; Yang, J; Ren, J; Werf, W. V. D; Eversd, J. B; Zhang, J; Su, Z; Zhang, L.	Agricultural Water Management, 2019.	China
<b>Saffron-pumpkin/ Watermelon</b> : A clean and sustainable strategy for increasing economic land equivalent ratio under <b>limited irrigation</b>	Açafrão-abóbora / melancia	Koocheke, A.;Moghaddam, P. R.; Seyyedi, S.M.	Journal of Cleaner Production, 2019.	Irã

Component crop physiology and <b>water use efficiency</b> in response to <b>intercropping</b>	Melancia/amendoim/quiabo/feijão/pimenta	Franco, J. G.; King, S. R.; Volder, A.	European Journal of agronomy, 2018.	Estados Unidos
Optimizing yield and economic returns of rain-fed potato ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) through <b>water conservation</b> under potato-legume <b>intercropping</b> systems	Batata de sequeiro-batata-leguminosa	Gitaria, H. I; Gachenea, C. K.K; Karanjaa, N. N; Kamaua,S; Nyawadea, S; Sharmab,K; Schulte-Geldermann, E.	Agricultural Water Management, 2018.	Quênia
Growth, <b>water use and efficiency</b> of forage cactus sorghum <b>intercropping</b> under different water depths	Palma/Sorgo	Lima, L. R; Silva, T. G. F. Jardim, A. M. R. F; Souza, C. A. A; Queiroz, M. G; Tabosa, J. N.	Revista brasileira de engenharia Agrícola e ambiental, 2018.	Brasil
Planting density and sowing proportions of maize-soybean <b>intercrops</b> affected competitive interactions and <b>water-use efficiencies</b> on the Loess Plateau, China.	Milho- soja	Ren, Yuanyuan.; Liu, J.; Wang, Z.; Zhang, S.	European Journal of agronomy, 2016.	China
Belowground Interspecies Interaction Enhances Productivity and <b>Water Use Efficiency</b> in Maize-Pea <b>Intercropping</b> Systems	Milho-Ervilha	Guodong Chen, Qiang Chai,* Gaobao Huang, Aizhong Yu, Fuxue Feng, Yanping Mu, Xuefu Kong, Peng Huang	Crop Science, 2015.	China
Improving <b>water</b> and land <b>use efficiency</b> of fallow-wheat system in shallow Lithic Calciorthid soils of arid region: Introduction of bed planting and rainy season sorghum-legume <b>intercropping</b>	Trigo/sorgo	Tanwara, S.P.S; Raoa, S.S; Regara, P.L; Datta, S; Kumarb, P; Jodhaa, B.S; Santrab, P; Kumarb, R.; Ram, R.	Soil & Tillage Research, 2014.	Índia
Photosynthesis, <b>water-use efficiency</b> and $\delta^{13}C$ of five cowpea genotypes grown in <b>mixed culture</b> and at different densities with sorghum	Feijão-caupi/sorgo	Makoi; J. H. J. R.; Chimphango, S. B. M. Dakora, F. D.	Photosynthetica, 2010.	África
Switchgrass and milkvetch <b>intercropping</b> under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and <b>water use efficiency</b>	Milheto/ Feijão/ Batata	Xu, B.C.; Li, F. M.; Shan, L.	European Journal of agronomy, 2008.	China
Radiation- and <b>water-use</b> associated with growth and yields of wheat and chickpea in <b>sole and mixed crops</b>	Trigo/grão de bico	Jahansooz, M. R.; Yunusa, I.A.M.; Coventry, A. R.; Palmer, A. R.; Eamus, D.	European Journal of Agronomy, 2007,	Austrália

Water deficit and plant competition effects on growth and <b>water-use efficiency</b> of white clover ( <i>Trifolium repens</i> , L.) and ryegrass ( <i>Lolium perenne</i> , L.)	Trevo branco/ Azevém	D. W. Lucero, P. Grieu1 e A.Gucker	Plant and Soil, 2000.	França
--	----------------------	------------------------------------	-----------------------	--------

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

**Tabela 2** – Artigos sobre consórcio com escopo no uso eficiente da água, pesquisado na plataforma Scopus.

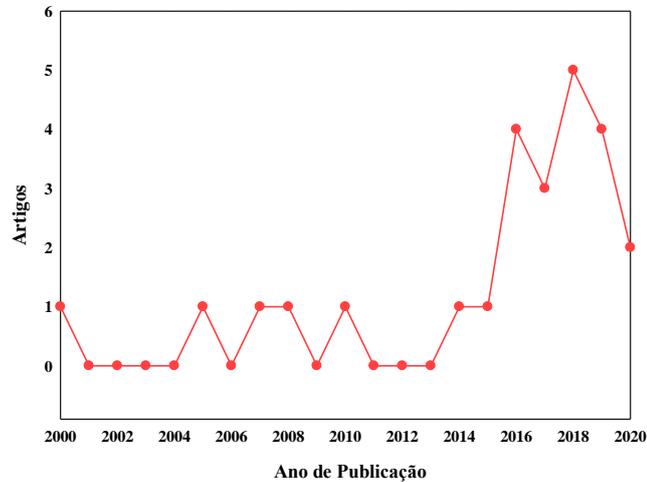
<b>Título do artigo</b>		<b>Autores</b>	<b>Periódico/Ano</b>	<b>Lugar</b>
Soil <b>water dynamics</b> and yield in <b>maize</b> and <b>Brachiaria ruziziensis</b> intercropping.	Milho/ Brachiaria	Silva, G. S. F.; Andrade Júnior, A.S. de ; Cardoso, M. J. ; Araújo Neto, R.B de .	Pesquisa Agropecuaria Tropical, 2020.	Brasil
Effects of irrigation time and ratio on yield and <b>water use efficiency</b> of maize under monoculture and <b>intercropping</b>	Milho/Soja	Peng, X., Pu, T., Yang, F., Yang, W., Wang, X.	Scientia Agricultura Sinica, 2019.	China
<b>Intercropping</b> potato ( <i>Solanum tuberosum</i> L.)with hairy vetch ( <i>Vicia vilosa</i> ) increases <b>water use efficiency</b> in dry conditions	Batata/ervilha	Ren, J.; Zhang, L.; Duan, Y.; Zhang, J.; Evers, J. B.; Zhang, Y.; Su, Z.; Werf, W. V. D. W	Field Crops Research, 2019.	China
Effects of alfalfa <b>intercropping</b> on crop yield, <b>water use efficiency</b> , and overall economic benefit in the Corn Belt of Northeast China	Alfafa/milho	Tao Sun, Zizhong Li, Qi Wu, Tingting Sheng, Mengya Du.	Field Crops Research, 2018.	China
A study of crop <b>water</b> needs and land suitability in the monoculture system and plant <b>intercropping</b> in Arjasari	Batata/soja/milho	Suryadi, E., Kendarto, D.R., Sistanto, B.A., Ruswandi, D., Dwiratna, S.	International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 2018.	Indonésia

Improving <b>water</b> productivity in moisture-limited <b>rice</b> -based cropping systems through incorporation of <b>maize</b> and mungbean: A modelling approach	Arroz/ Milho/ Feijão-mungo	Amarasingha, R.P.R.K., Suriyagoda, L.D.B., Marambe, B., (...), Nidumolu, U., Howden, M.	Agricultural Water Management, 2017.	Sri Lanka
<b>Water</b> use efficiency and water distribution response to different planting patterns in <b>maize-soybean</b> relay strip intercropping systems	Milho/Soja	Rahman, T., Ye, L., Liu, X., (...), Yang, F., Yang, W.	Experimental Agriculture, 2017.	China
Influence of spatial arrangement in maize-soybean <b>intercropping</b> on root growth and <b>water</b> use efficiency	Milho/Soja	Ren, Y.Y., Wang, X.L., Zhang, S.Q., Palta, J.A., Chen, Y.L.	Plant and Soil, 2017.	Austrália
<b>Water</b> use and productivity of a sorghum-cowpea-bottle gourd <b>intercrop</b> system	Sorgo/Feijão caupi	Chimonyo, V.G.P., Modi, A.T., Mabhaudhi, T.	Agricultural Water Management, 2016.	África do Sul
Effects of potato-faba bean <b>intercropping</b> on crop productivity and soil <b>water</b> under a plastic mulch and ridge-furrow planting system in a semi arid area	Batata/ Feijão faba	Hou, H.-Z., Zhang, X.-C., Tang, Y.-F., (...), Fang, Y.-J., Ma, Y.F.	Acta Prataculturae Sinica, 2016.	China
Effects of drip irrigation quota on yield and <b>water</b> productivity in watermelon-cotton <b>intercropping</b> system	Melancia/algodão	Qiang, X., Sun, J., Liu, H., Ning, H., Wu, X.	Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016.	China

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

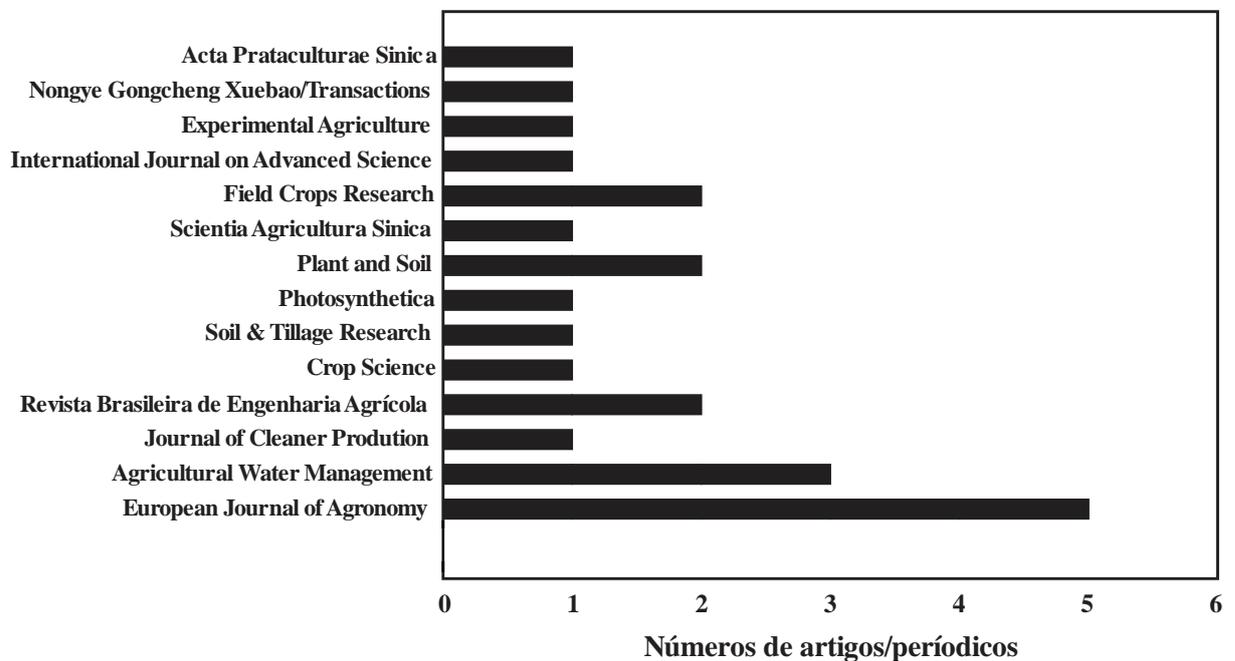
É possível observar que a produção científica sobre o assunto aumentou após 2016, com maior número de publicações em 2018, já em 2019 e 2020 foi verificada queda (Figura 2). No entanto, os trabalhos desenvolvidos abordam, em sua maioria, o uso eficiente da água

momentâneo, sendo que os demais utilizam irrigação total como forma de suprimento de água às plantas. Não foi identificado trabalho que abordasse sobre a consorciação combinada com regimes hídricos.



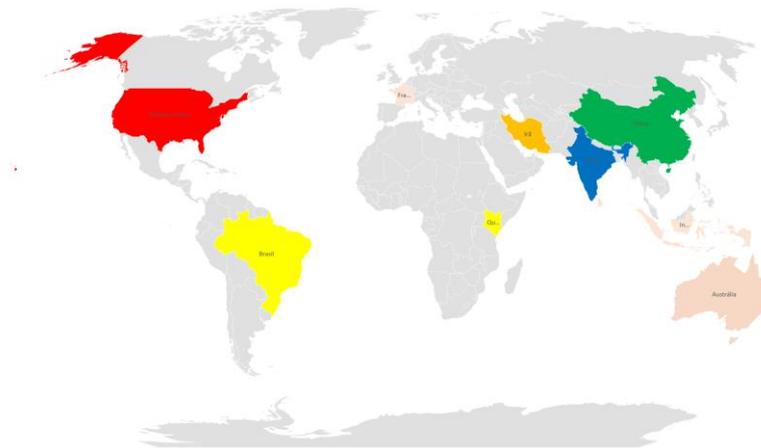
**Figura 2** - Publicação de artigos 2000 – 2020.

Os artigos foram publicados em vários periódicos sendo a maioria deles na *European Journal of Agronomy* com 5 artigos publicados, seguido da *Agricultural Water Management* com 3 artigos (Figura 3).



**Figura 3** - Publicação por periódicos.

Vários pesquisadores, em diversos países, tem tido o interesse em pesquisar sobre a consorciação e o uso eficiente da água, como a China, África, Austrália, Irã, Estados Unidos, Quênia, Brasil, Índia, França, Indonésia e Sri Lanka (Figura 4).



**Figura 4** - Publicação por países.

Dentre os países citados a maioria são da China, sendo os estudos desenvolvidos em locais com precipitação baixa e irregular, e com solos de baixa fertilidade (TANG *et al.*, 2018). Os autores indicam o cultivo consorciado como de bom potencial para promover a conservação de água no solo e utilização dos recursos com maior eficiência (GITARI *et al.*, 2018). Além disso, como um sistema produtivo que contribui para o aumento da biodiversidade e da sustentabilidade (HIMMELSTEIN *et al.*, 2017).

## REFERÊNCIAS

- ABCSEM. **O Mercado de Folhosas: Números e Tendências**. 2015. Disponível em:<[http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O\\_mercado\\_de\\_folhosas\\_\\_Numeros\\_e\\_Tendencias\\_-\\_Steven.pdf](http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf)>. Acesso em: 12 abril. 2021.
- ABD EL-GAWAD, A. M. Chemical constituents, antioxidant and potential allelopathic effect of the essential oil from the aerial parts of *Cullen plicata*. **Industrial Crops and Products**. v. 80, p.36-41, 2016.
- ABDULLAHI, S.; PRADHAN, B. Land-use change modeling and the effect of compact city paradigms: integration of GIS based cellular automata and evidence weight techniques. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, p. 251, 2018.
- ALBIN, K. C.; SIMONS. C.T. Psychophysical Evaluation of a Sanshool Derivative (Alkylamide) and the Elucidation of Mechanisms Subserving Tingle. **PLoS One**, v. 5 2010.
- ALBUQUERQUE, J. A. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A.; UCHÔA, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 532-538, 2012.
- ALMEIDA, A. E. S.; BEZERRA NETO, F.; COSTA, L. R.; SILVA, M. L.; LIMA, J. S. S.; BARROS JÚNIOR, A. P. Eficiência agronômica do consórcio alface-rúcula fertilizado com flor-de-seda. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 79-85, 2015.
- ALVES, C. Z.; SÁ, M. E.; Avaliação do vigor de sementes de rúcula pelo teste de lixiviação de potássio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p.108-116, 2010.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v.55, p.373-399, 2004.
- BANDELL, M.; STORY, G. M.; HWANG, S. W.; VISWANATH, V.; EID, S. R.; PETRUS, M. J.; EARLEY, T. J.; Patapoutian, A. Noxious cold ion channel TRPA1 is activated by pungent compounds and bradykinin, **Neuron**, v. 41, p. 849-857 , 2004.
- BAŞER K. H. C. Roka (*Eruca sativa* Mill.), **BağBahçe**, v. 68, p: 26-27, 2016.
- BATISTA, M. A. V.; BEZERRA NETO, F.; SILVA, M. L.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; CUNHA, J. L. X. L. Atributos de solo-planta e de produção de beterraba influenciados pela adubação com espécies da Caatinga. **Horticultura Brasileira**, v.34, n. 1, p. 12-19, 2016.
- BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; OLIVEIRA, A. M. Produtividade biológica em sistemas consorciados de cenoura e alface avaliada através de indicadores agroeconômicos e métodos multicritério. **Horticultura Brasileira** (Impresso), v. 25, p. 193-198, 2007.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G.H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

BORGES, L. S.; GUERRERO, A. G.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013a.

BORGES, L. S. VIEIRA, M. A. R.; MARQUES, M. O. M.; VIANELLO, F.; LIMA, G. P. P. Influence of organic and mineral soil fertilization and essential oil of *Spilanthes oleracea*. **American Journal of Plant Physiology**, v.7, n. 3, p. 135-142, 2012.

BORGES, L. S.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Índices morfo-fisiológicos e produtividade de cultivares de jambu influenciadas pela adubação orgânica e mineral. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1768-1778, 2014a.

BRYANT, B. P.; MEZINE, I. Alkylamides that produce tingling paresthesia activate tactile and thermal trigeminal neurons, **Brain research**, v. 842, p.452-460, 1999.

CAMPOS, E. V. R.; PROENÇA, P. L. F.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: future perspectives. **Ecological Indicators**, v. 87, p:1-13, 2018.

CARVALHO, K. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVEIRA, M. H. D.; CABRAL, C. E. A.; LEITE, N. Rúcula submetida à adubação nitrogenada via fertirrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15; p. 1545-1553, 2012.

CAVERZAN, A.; PASSAIA, GISELE.; ROSA, S.; B.; RIBEIRO, C. W.; LAZZAROTTO, F.; PINHEIRO, M. M. Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, p.1011-1019, 2012.

CECILIO FILHO, A. B.; COSTA, C. C.; REZENDE, B. L. A.; LEEUWEN, R. Viabilidade produtiva e econômica do consórcio entre chicória e rúcula em função da época de plantio. **Horticultura Brasileira**, v.26, p. 316-320, 2008.

CECÍLIO FILHO, A. B.; BIANCO, M. S.; TARDIVO, C.T.; PUGINA, G. C. M. Agronomic viability of New Zealand spinach and kale intercropping. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.89, n.4 2017.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea*, L.) submetido a déficit hídrico. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 7, 2004.

COSTA, D.S.M.; MEOTTI, F. C.; ANDRADE, E. L.; LEAL, P. C.; MOTTA, E. M.; CALIXTO, J. B. The involvement of the transient receptor potential A1 (TRPA1) in the maintenance of mechanical and cold hyperalgesia in persistent inflammation, **Pain**, v.148, p. 431-437, 2010.

COSTA, S. S.; ARUMUGAM, D.; GARIPPEY, Y.; ROCHA, S. C. S.; RAGHAVEN, V. Spilanthal extraction using microwave: calibration curve for gas chromatography. **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 1783-1788, 2013.

DORAN, J. C. Commercial sources, uses, formation, and biology. In: BOLAND, D. J.; BROPHY, J. J.; HOUSE, A. P. N. **Eucalyptus leaf oils, use, chemistry, distillation and marketing**. Melbourne: Inkata, 1991. p.11-28.

DUBEY, S.; MAIDADE, S.; SINGH, M.; SARAF, S. A.; SAHA, S. Phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Spilanthes Acmella*: a review. **Advances in Pharmacological Sciences**, v.2013, p:1-9, 2013.

DURAZZO, A.; AZZINI, E.; LAZZÈ, M. C.; RAGUZZINI, A.; PIZZALA, R.; MAIANI, G. Italian wild rocket [*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.]: influence of agricultural practices on antioxidant molecules and on cytotoxicity and antiproliferative effects. **Agriculture**, v.3, p. 285-298, 2013.

DUTRA, F. A.; MELO, A. S. DE.; DUTRA, W. F.; GONÇALVES, F. Agronomic performance and profitability of castor bean (*Ricinus communis* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping in the Brazilian semiarid region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 120-126, 2015.

EKREN, S.; SÖNMEZ, C.; ÖZÇAKAL, E.; KURTTAŞ, Y. S. K.; GÜRGÜLÜ, E. B. H. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). **Agricultural Water Management**, v.109, p.155-161, 2012.

ELAHI, E. L.; ZHANG, M.; ABID; ALTANGEREL, O.; KHUDA, B.; UYANGA, B.; AHMED, U.; HAN, X. Impact of the use of fertilizer balance on wheat efficiency in Pakistan's wheat cultivation system. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v.3, p. 1470 -1474, 2015.

ESKANDARI H; GHANBARI A. Environmental resource consumption in wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) intercropping: comparison of nutrient uptake and light interception. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 2; p:100-103, 2010.

FAN, X. X.; XU, Z. G.; LIU, X.Y.; TANGA, C. M.; WANG, L. W.; HAN, X. L. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, v.153, p.50–55, 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2008.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, v.119, p.355-364, 2003.

FRANCIS, C. A. Biological efficiencies in multiple-cropping systems. **Advances in Agronomy**, v. 42, p. 1-43, 1989.

GAO, Y.; DUAN, A.; SUN, J.; LI, F.; LIU, Z.; LIU, H.; LIU, Z. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping, **Field Crops Research**, v.111 65-73, 2009.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 48, n.12, p. 909–930, 2010.

GITARIA, H. I.; GACHENEA, C. K.K.; KARANJAA, N. N.; KAMAUA, S.; NYAWADEA, S.; SHARMAB, K.; SCHULTE-GELDERMANN, E. Optimizing yield and economic returns

of rain-fed potato (*Solanum tuberosum* L.) through water conservation under potato-legume intercropping systems. **Agricultural Water Management**, v. 208, n. 30, p.59-66, 2018.

GUIMARÃES, M. A.; LIMA NETO, B. P.; LEMOS NETO, H. S.; HENDGES, A. R. A. A.; VIANA, C. S.; RABELO, J. S. Agronomic performance of arugula/nira intercropping in different cultivation arrangements. **Horticultura Brasileira**, v. 38, p. 329-333, 2020.

GREGER, H. Alkamides: a critical reconsideration of a multifunctional class of unsaturated fatty acid amides, **Phytochemistry reviews**. v.15, p. 729-770, 2016.

GUERRA, A. M. N. de M.; COSTA, A.C. M.; TAVARES, P. R. de F. Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sombreamento. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 125-132, 2017.

GUIMARAES, M. A. ; LIMA NETO, B. P. ; LEMOS NETO, H. S. ; HENDGES, A. R. A. A.; VIANA, C. S. ; Rabelo, J. S. Agronomic performance of arugula/nira intercropping in different cultivation arrangements. **Horticultura Brasileira**, v. 38, p. 329-333, 2020.

GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia (*Acmella oleracea*): Características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. EDUFRA, 1ª ed., 2013, 135 p.

HALL, M. K. D.; JOBLING, J. J.; ROGERS, G. S. Some perspectives on rocket as a vegetable crop: a review. **Vegetable Crops Research Bulletin**, v. 76, p. 21-41, 2012.

HATAMI, M.; GHORBANPOUR, M. Defense enzyme activities and biochemical variations of *Pelargonium zonale* in response to nanosilver application and dark storage, **Turkish Journal of Biology**, v.38, n.1, 130-139, 2014.

HIMMELSTEIN, J.; ARES, A.; GALLAGHER, D.; MYERS, J. A meta-analysis of intercropping in Africa: impacts on crop yield, farmer income, and integrated pest management effects. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v.15, p.1-10, 2017.

HIND, N.; BIGGS, N. Plate 460. *Acmella oleracea* compositae. **Curtis's Botanical Magazine**, v. 20, n. 1, p. 31-39, 2003.

HOU, H. Z.; ZHANG, X. C.; TANG, Y. F.; FANG, Y. J.; MA, Y. F. Effects of potato-faba bean intercropping on crop productivity and soil water under a plastic mulch and ridge-furrow planting system in a semi arid área, **Acta Prataculturae Sinica**, v.25, n. 6, p.71-80, 2016.

JAKSE, M.; HACIN, J.; KACJAN, N. Production of rocket (*Eruca sativa* Mill.) on plug trays and on a floating system in relation to reduced nitrate content. **Acta Agriculture Slovenica**, v.101, p:59-68, 2013.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F.S.; PONS, T.L. **Plant Physiological Ecology**. Springer, New York, New York, USA, Ed. 2. 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. In: A Planta Sob Estresses. São Carlos: Rima, p. 341-448, 2004.

LENNERTZ, R. C.; TSUNOZAKI, M.; BAUTISTA, D. M.; STUCKY, C. L. Physiological Basis of Tingling Paresthesia Evoked by Hydroxy-Sanshool. **Journal of Neuroscience**, v.30, p. 4353-4361, 2010.

LEE, S.H.; TEWARI, R.K.; HAHN, E.J.; PAEK, K.Y.; Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of *Withania Somnifera* (L.) Dunal plantlets. **Journal Plant Cell Tiss**, v. 90, p.141–151, 2007.

LILI MAO, L.; ZHANG, L.; LI, W.; WERFD, W. V. D.; SUNC, J.; SPIERTZD, H.; LI, L. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop, **Field Crops Research**, v. 138, p. 11-20, 2012.

LIMA, J. S. S.; BEZERRA NETO, F. ; NEGREIROS, M. Z.; RIBEIRO, M. C. C.; BARROS JÚNIOR, A. P. Productive performance of carrot and rocket cultivars in strip-intercropping system and sole crops. **Agrociência** (Montecillo), v. 44, p. 561, 2010.

LIU, J.; LIU, Q.; YANG, H. Avaliando a escassez de água considerando simultaneamente os requisitos de fluxo ambiental, a quantidade de água e a qualidade da água **Indicadores Ecológicos**, v.60, p. 434 – 441, 2016.

LOPES, L. S.; MARQUES, R. B.; FERNANDES, H. B.; PEREIRA, S. S.; AYRES, M. C.; CHAVES, M. H. ALMEIDA, F.R. Mechanisms of the antinociceptive action of (–) Epicatechin obtained from the hydroalcoholic fraction of *Combretum leprosum* Mart & Eic in rodents **Journal Biomedical Science**, v. 19, p. 68, 2012.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**, Viçosa, MG : Ed UFV, 2015. 492p.

LORENZI, H; MATOS, F.J.A. **Plantas Mediciniais no Brasil: nativas e exóticas**. 2.ed. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2008. 544p.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002. 396 p.

KOEFENDER, J.; SCHOFFEL, A.; MANFIO, C. E.; GOLLE, D. P.; SILVA, A. N.; HORN, R. C. Consorciação entre alface e cebola em diferentes espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 580-583, 2016.

KOOCHEKI, A.; MOGHADDAM, P. R.; SEYYEDI, S. M. Saffron-pumpkin/watermelon: A clean and sustainable strategy for increasing economic land equivalent ratio under limited irrigation, **Journal of Cleaner Production**, v.208, p.1327-1338, 2019.

KUMAR, A. L. I. C.; PORTIS JÚNIOR, A. R. Arabidopsis thaliana expressing a thermostable chimeric Rubisco activase exhibits enhanced growth and higher rates of photosynthesis at moderately high temperatures. **Photosynthesis Research**, v.100, p.143-153, 2009.

MACHADO DIAS, J. R. M. Cultivo consorciado de olerícolas em sistema agroecológico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 54, n. 1, p. 12-19, 2011.

MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; PAULINO, M. A. O.; BARBOSA, F. S.;

MARTINS, E. R.; COSTA, C.A. Uma leitura sobre a perspectiva do cultivo consorciado. **Unimontes Científica**, Montes Claros, v. 12, p. 9-14, 2010.

MALOLESZA, U.; ROZALSKA, S. Nitric oxide and hydrogen peroxide in tomato resistance: Nitric oxide modulates hydrogen peroxide level in o-hydroxyethylrutin-induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 43, n. 6, p. 623–635, 2005.

MANAVALAN, L.P.; GUTTIKONDA, S.K.; TRAN, L.S.P.; NGUYEN, H.T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant e Cell Physiology**, v. 50, p. 1260-1276, 2009.

MARTINS, M. B. G. Estudos de Microscopia óptica e de microscopia eletrônica de varredura em folhas de *Mentha spicata* e de *Mentha spicata* X *suaveolens* (Lamiaceae). **Bragantia**, v.61, p.205-218, 2002.

MARWAT, S. K.; REHMAN, F.; KHAN, A. A. Phytochemistry and pharmacological values of rocket *Eruca sativa* Miller. **International Journal of Horticulture**, p. 1-7. 2016.

MATYUSHIN, A. A.; EVDOKIMOVA, O. V. *Acmella oleracea*: A Comprehensive Study of Anatomical and Diagnostic Characteristics. **Journal of Pharmaceutical Sciences and Research; Cuddalore**, v. 9, ed.8, p. 1358-1362, 2017.

MCGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, v.27, p.659-671, 1971.

MONTEZANO, E. M; PEIL, R. M. N. Sistema de consórcio na produção de hortaliças. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, p. 129-132, 2006.

MOTA, J. H.; VIEIRA, M. C.; CARDOSO, C. A. L. Alface e jateikaá em cultivo solteiro e consorciado: Produção e atividade antioxidante. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 34, n. 3, p. 551-557, 2010.

NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, S. L. M.; BAGGIO, C. H.; WERNER, M. F. P. FERREIRA, D. M.; SILVA L. M. G. L.; GORIN, P. A. J. ; IACOMINI, M.; CIPRIANI, R. T. Efeito gastroprotetor e estrutura de um ramnogalacturonan de *Acmella*. **Fitoquímica**, v. 85, p.137-142, 2013.

NASCIMENTO, M. V.; SILVA JUNIOR, R. L.; FERNANDES, L. R.; XAVIER, R. C.; BENETT, K. S. S.; SELEGUINI, A.; BENETT, C. G. S. Manejo da adubação nitrogenada nas culturas de alface, repolho e salsa. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 65-71, 2017.

NTARE, B. R.; WILLIAMS, J. H. Response of cowpea cultivars to planting pattern and date of sowing in Intercrops with pearl millet in Niger. **Experimental Agriculture**, v. 28, n.1, p.41-48, 1992.

NUNES, C. J. S.; SOUZA, M. L.; FERREIRA, R. L. F. Qualidade e pós-colheita da rúcula orgânica armazenada sob refrigeração. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, p. 2231-2240, 2013.

ODO, P. E. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the sudan savanna of Nigeria: Land Equivalent Ratio, Grain Yield and system productivity index. **Experimental Agriculture**, v.27, n.4, p.435-441, 1991.

OKSMAN-CALDENTEY, K. M.; INZE, D. Plant cell factories in the post-genomic era: newways to produce designer secondary metabolites. **Trends in Plant Science**, v. 99, 2004.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, E. Q.; SOUZA, R. J.; CRUZ, M. C. M.; MARQUES, V. B.; FRANÇA, A. C. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 36-40, 2010.

OLIVEIRA, L. J.; BEZERRA NETO, F.; LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, E. Q.; MOREIRA, J. N.; SILVA, I. N. Viability of polycultures of arugula-carrot-coriander fertilized with hairy woodrose under different population densities. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 611-617, 2017.

OLIVEIRA, S. G; ALVES, L. F; TEIXEIRA, D. A; SILVA, H. E. R; BONFIM, F. P. G. Efeito alelopático do capim cidreira sobre a germinação e desenvolvimento de mudas de rúcula. **Revista Mirante**, v. 11, p. 1-17, 2018.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PAULRAJ, J.; GOVINDARAJAN, R.; PALPU, P. The genus *Spilanthes* ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacological properties: a review. **Advances in Pharmacological Sciences**, v.2013, p:1-22, 2013.

PECZE, L.; PELSOCI, P.; KECSKÉS, M.; WINTER, Z.; PAPP, A.; KASZÁS, K.; LETOHA, T.; VIZLER, C.; OLÁH, Z. Resiniferatoxin mediated ablation of TRPV1+ neurons removes TRPA1 as well. **Canadian Journal of Neurological Sciences**, v.36, p. 234-241, 2009.

PENG, X.; PU, T.; YANG, F.; YANG, W.; WANG, X. Effects of irrigation time and ratio on yield and water use efficiency of maize under monoculture and intercropping, **Scientia Agricultura Sinica**, 2019.

PINTO, C. M.; PINTO, O. R. O. Avaliação da eficiência biológica e habilidade competitiva nos sistemas de consorciação de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p.105-122, 2012.

PINTO, C. M.; PINTO, O. R. O.; PITOMBEIRA, J. B. Mamona e girassol no sistema de consorciação em arranjo de fileiras: eficiência biológica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.2, n.1, p.41-52, 2012.

PINTO, C. M.; SIZENANDO FILHO, F. A.; CYSNE, J. R. B.; PITOMBEIRA, J. B. Produtividade e índices de competição da mamona consorciada com gergelim, algodão, milho e feijão caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.2, p.75-85, 2011.

- PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**, Seropédica: Edur, 1998. v.9,150p.
- PORTO, R. A.; SILVA, E. M. B.; SOUZA, D. S. M.; CORDOVA, N. R. M.; POLYZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. Adubação potássica em plantas de rúcula: produção e eficiência no uso da água. **Revista Agro@mbiente**, v. 7, n. 1, p. 28-35, 2013.
- PRACHAYASITTUKAL, V.; PRACHAYASITTUKAL, S.; RUCHIWARAT, S.; PRACHAYASITTUKAL, V. High therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: a review. **Excli Journal**, v. 12, p. 291–312, 2013.
- RAMAKRISHNA, A.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling and Behavior**, v. 6, n.11, p.1720–1731, 2011.
- RAMSEWAK, R. S.; ERICKSON, A. J.; NAIR, M. G. Bioactive N-isobutylamides from the flower buds of *Spilanthes acmella*. **Phytochemistry**, v. 51, p.729-732, 1999.
- REN, Y.; LIU, J.; WANG, Z.; ZHANG, S. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China Yuanyuan, **European Journal of agronomy**, v.72, p.70-79, 2016.
- SAKURADA, T.; MATSUMURA, T.; MORIYAMA, T. C.; SAKURADA, C.; UENO, S.; SAKURADA, S. Differential effects of intraplantar capsaizepine and ruthenium red on capsaicin-induced desensitization in mice. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v.75, p.115-121, 2003.
- SANTOS, E. R.; GENTIL, D. F. O. Propagação de jambu por estaquia. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p.26-32, 2015.
- SAMPAIO, I. M. G. GUIMARÃES, M. A; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu? **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences / Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-8, 2018.
- SAMPAIO, I. M. G. ; GUIMARÃES, M. A. ; LEMOS NETO, H. S. ; MAIA, C. L. ; VIANA, C. dos S. ; GUSMAO, S. A. L. . Recipientes e densidades de semeadura combinados com o tempo na produção de mudas de jambu. **Amazonian journal of agricultural and environmental sciences / revista de ciências agrárias**, v. 62, p. 1-10, 2019.
- SILVA, L. P; SILVA, M. M. CORREA, M. M; SOUZA, F. C. D; SILVA, Ê. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.16, n.5, p.480-486, 2012.
- SHARMA, V.; BOONEN, J.; CHAUHAN, N. S.; THAKUR, M.; SPIEGELEER, B.; DIXIT, V. K. *Spilanthes acmella* ethanolic flower extract: LC-MS alkylamide profiling and its effects on sexual behavior in male rats. **Phytomedicine**, v.18, n.13, p.1161-1169, 2011.

SOUZA, J. P.; MACEDO, M. A. S. **Análise de viabilidade agroeconômica de sistemas orgânicos de produção consorciada**. ABCustos Associação Brasileira de Custos, São Leopoldo, v.2, p.57-78, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, M. I.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. [S. l.]: Artmed editora, 2017.

TANG, J. Z.; WANG, J.; WANG, E. L.; YU, Q.; YIN, H.; HE, D.; PAN, X. B. Identifying key meteorological factors to yield variation of potato and the optimal planting date in the agro-pastoral ecotone in North China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256-257, p.283-291, 2018.

TJØLSEN, A.; BERGE, O. G.; HUNSKAAR, S.; ROSLAND, J. H.; HOLE K. The formalin test: an evaluation of the method, **Pain**, v. 51, p. 5-17, 1992.

TRIPODI, P.; FRANCESE, G.; MENNELLA, G. Rocket salad: crop description, bioactive compounds and breeding perspectives. **Horticultural Science**, v.31, n.2, p:107-113, 2017.

United State Department of Agriculture (USDA). **National Nutrient Database for Standard Reference Release Legacy**. April, 2018 Basic Report. Disponível em: <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/302457?manu=&fgcd=&ds=SR&q=Arugula,%20raw>>, acesso em: 12 agosto 2021.

URANKAR, M.; DESAI, A.; BHAT, R. Review on medicinal herb genus spilanthes and its applications in oral hygiene. **Universal Journal of Pharmacy**, v.2, n.6, p. 25-33, 2013,

VANHAM, D; HOEKSTRA, AY; WADA, Y; BOURAOUI, F; ROO, DE A; MEKONNEN DE , M. M. Métricas físicas de escassez de água para monitorar o progresso em direção à meta dos ODS 6.4: Uma avaliação do indicador 6.4.2 “Nível de estresse hídrico”, **A ciência do ambiente total**, p. 218 – 232, 2018.

VASCONCELOS, M. C. C. A.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 01-06, 2012.

VERYSER, L., WYNENDAELE, E., TAEVERNIER, L., VERBEKE,F., JOSHIB, T., TATKEB, P.; SPIEGELEER, B. N-alkylamides: From plant to brain. **Functional Foods in Health & Disease**, v.4, n.6, p: 264-275, 2014.

VIANA, C. S.; GUIMARAES, M. A. ; LEMOS NETO, H. S.; LIMA NETO, B. P. ; SAMPAIO, I. M.G.; HENDGES, ANA, R. A. A.; RABELO, J. S. Intercropping arugula with aromatic condiment species affords better yields, biological efficiency and financial return. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1-14, 2021.

VILLACHICA, H.; CARVALHO, J.; MULLER, H.; DIAZ, C. **Frutales y hortalizas promissórios de la Amazônia**. Lima: TCA; Secretaria Protempore, p. 322-327, 1996.

VILLATORO-PULIDO M, FONT R, SAHA S, OBREGON-CANO S, ANTER J, MUNOZ-SERRANO A, HARO-BAILÓN, A.; ALONSO-MORAGAE, A.; DEL RÍO-CELESTINO, M. In vivo biological activity of rocket extracts (*Eruca vesicaria* subsp. *Sativa* (Miller) Thell) and sulforaphane. **Food and Chemical Toxicology**, v.50, n. 5, p.1384-1392, 2012.

VOGELER, I.; MACKAY, A.; VIBART, R., RENDEL, J.; BEAUTRAIS, J.; DENNIS, S. Effect of inter-annual variability in pasture growth and irrigation response on farm productivity and profitability based on biophysical and farm systems modelling. **Science of The Total Environment**, v.565, p. 564–575, 2016.

WILCOCK, R. J.; NASH, D.; SCHMIDT, J.; LARNED, S.T.; RIVERS, M. R.; FEEHAN, P. Inputs of nutrients and fecal Bacteria to freshwaters from irrigated agriculture: case studies in Australia and New Zealand. **Environ Manage**, v.48, p.198-211, 2011.

WILLEY, R. W. Intercropping: its importance and reserach needs. Part 1: Competition and yield advantagens. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n.1, p.1-10, 1979.

WILLEY, R. W.; RAO, M. R. A. Competitive ratio for quantifying completion between intercrops. **Experimental Agriculture**, v. 16, n.2, p.117-125, 1980.

XU, B. C.; LI, F. M.; SHAN, L. Switchgrass and milkvetch intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency, **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 485-492, 2008.

XU, Z. H.; VU, N. T.; KIM, S. H.; KIM, L. S. Breeding of Salad Rocket (*Eruca sativa* Miller.) Varieties for Healthy Functional Proposes. **Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences**, v. 26, n.1, p. 24-30, 2014.

ZHANG, F.; GUO, S.; ZHANG, C.; GUO, P. An interval multiobjective approach considering irrigation canal system conditions for managing irrigation water. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 293-302, 2019.

ZHANG C.; LI, M.; GUO, P. An interval multistage joint-probabilistic chanceconstrained programming model with left-hand-side randomness for crop area planning under uncertainty. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, n. 20, p.1276-1289, 2017.

ZHANG, H-X., D-C. CHI, Q. WANG, J. FANG AND X-Y. FANG. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under sub surface dripirrigation in solar greenhouse. **Agronomic Science**, v. 10, p. 921-930, 2011.

## 5 CAPÍTULO I: Consórcio rúcula:jambu combinado com irrigação de estresse possibilita maior eficiência no uso da terra em condição semiárida

### Resumo

O contínuo aumento populacional tem pressionado a agricultura a produzir cada vez mais alimentos. Uma forma de se atender a essa demanda é a utilização de técnicas de cultivo mais eficientes. Uma dessas técnicas é a consorciação, que vem sendo utilizada com desempenho satisfatório na olericultura. O uso dessa forma de cultivo tem possibilitado incremento de produção por área cultivada, bem como a utilização dos recursos naturais mais eficientes. Com base no exposto, objetivou-se com este estudo avaliar as características produtivas e a eficiência no uso da terra e da água no cultivo consorciado de rúcula (*Eruca sativa* Mill) com jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen), sob regimes hídricos em região semiárida do Ceará. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu no município de Pentecoste, estado do Ceará. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo de parcelas subdivididas. Foram conduzidos vinte tratamentos (2 + 1 + 1) x 5 e quatro repetições. As parcelas foram constituídas de tratamentos de irrigação, ID50: Irrigação de déficit com 50% da Evapotranspiração da cultura (ETc); ID75: Irrigação de déficit com 75% da ETc; IT100: Irrigação Total com 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso com 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso com 150% da Etc. As subparcelas foram formadas pelo sistema consorciado e solteiro de rúcula e jambu, 1) rúcula consorciada; 2) jambu consorciado; 3) rúcula em monocultivo; 4) jambu em monocultivo. Para auxiliar na avaliação da pesquisa foram realizados dois ciclos de cultivo, (2018 e 2019), em cada ciclo foram avaliados aspectos fitotécnicos, eficiência do uso da água e da terra. Os resultados indicaram que os maiores valores obtidos para números de folhas, altura, massa fresca e seca da parte aérea, e massa fresca e seca da raiz das plantas de rúcula foram obtidos quando esta foi cultivada de forma consorciada com o jambu. Quanto ao jambu, seus melhores resultados para as características morfológicas foram obtidos para as plantas conduzidas em monocultivo. A produtividade tanto da rúcula quanto do jambu foi maior no cultivo solteiro, no entanto, o uso eficiente da terra nos consórcios realizados nos dois anos indicou valores médios de 1,23 e 1,28, em 2018 e 2019, respectivamente. Os melhores resultados foram alcançados com a irrigação ID75 para a rúcula e IT100 e IE125 para o jambu. A eficiência no uso da água foi melhor no cultivo solteiro, no entanto, resultados similares foram obtidos com o cultivo consorciado. O índice de produtividade da consorciação rúcula-jambu obtido neste trabalho confirma a maior eficiência biológica deste sistema de cultivo e, além disso, também mostra que o ID75 foi superior aos demais tratamentos, tanto para o ano 2018 como para 2019. Com base no exposto, conclui-se que a combinação rúcula-jambu é promissora para o cultivo em consórcio em condição de cultivo semiárida.

**Palavras-chave:** *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen. *Eruca sativa* Mill. Consorciação. Lâminas de irrigação. Eficiência no uso da água.

## 6 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional prevê-se que a necessidade por produção de alimentos aumente significativamente nas próximas décadas (CAMPOS *et al.*, 2018). Para que esse aumento não seja prejudicial ao meio ambiente, faz-se necessário que a utilização dos recursos ambientais seja mais eficiente, o que reforça a necessidade de se desenvolver uma agricultura que possibilite a obtenção de uma produção sustentável.

De forma geral, sabe-se que a agricultura é o setor que mais consome água de boa qualidade no mundo, ou seja, cerca de 70% do consumo global (FAO, 2017). Sendo assim, são necessárias práticas agrícolas alternativas para reduzir o uso da água no setor agrícola.

Entre os sistemas de produção que podem contribuir para esse objetivo está o consórcio de plantas. Essa prática consiste no cultivo de dois ou mais ciclos e/ou espécies, simultaneamente, na mesma área (MOUSAVI; ESKANDARI, 2011). Em comparação ao monocultivo, a principal vantagem do consórcio é o melhor aproveitamento dos recursos naturais em ecossistemas com recursos limitados (MOTA *et al.*, 2010). O consórcio pode manter ou melhorar a qualidade do solo (LI *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2016), promover maior biodiversidade (LI *et al.*, 2014; BROOKER *et al.*, 2015), diminuir a incidência de plantas invasoras (RAO *et al.*, 2002), minimizar a ocorrência de pragas e doenças (NING *et al.*, 2017), reduzir a erosão do solo e escoamento superficial da água (KEESSTRA *et al.*, 2018). Isso porque a melhor eficiência no uso dos recursos ambientais, bem como a gestão adequada da água e da terra são essenciais para a sustentabilidade da produção agrícola (XINCHUN *et al.*, 2017).

A rúcula, *Eruca sativa* Mill, vem sendo utilizada como cultura intercalar entre outras hortaliças, principalmente por apresentar ciclo curto e boa adaptação ao consórcio (BAŞER, 2016). O jambu, *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen é uma hortaliça herbácea, de aspecto anual, muito cultivada na região amazônica brasileira. Na culinária, o jambu proporciona sabor e paladar característicos devido, principalmente, à sensação de formigamento na boca e efeito anestésico momentâneo, o que atrai seus consumidores e apreciadores em várias regiões do Brasil e do mundo (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013; SANTOS; GENTIL, 2015). O composto ativo, espilantol, é o responsável pelas sensações apontadas pelos consumidores da cultura, estando presente em todos os tecidos que a compõem (PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2013).

Apesar de estudos sobre o cultivo de jambu, em consórcio, serem escassos, a cultura apresenta características importantes para integrar sistemas de consorciações, já que suas plantas apresentam porte baixo e ciclo curto (BORGES *et al.*, 2013a). Outro ponto a se considerar é que o aumento na demanda pela cultura, devido sua ampla utilização, ampliou de forma considerável seu cultivo em outras regiões do país, o que a tornou atrativa até mesmo em regiões semiáridas do Brasil, mas isso quando irrigada de forma adequada (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013).

Sendo assim, apesar de alguns estudos indicarem eficiência no uso da água (EUA) em sistemas de produção consorciado (GAO *et al.*, 2009; REN *et al.*, 2016; KOOCHEKE *et*

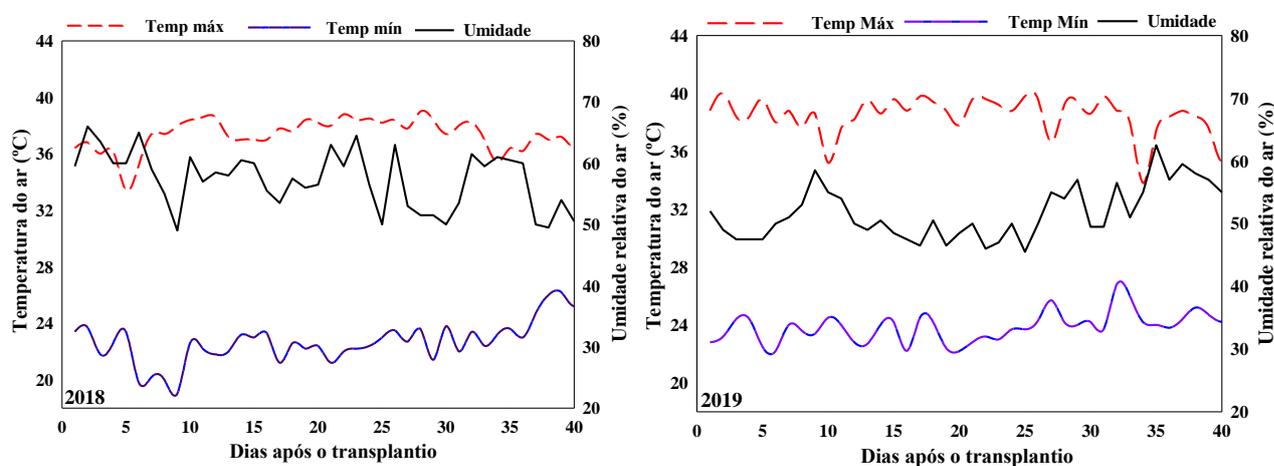
*al.*, 2019), suas avaliações, em geral, são conduzidas apenas com a utilização de irrigação plena, sendo escassos estudos que combinem cultivos consorciados com irrigação por déficit em regiões semiáridas.

Dentro deste contexto, objetivou-se com este estudo avaliar as características produtivas e a eficiência no uso da terra e da água em monocultivo e no cultivo consorciado de rúcula com jambu, sob regimes hídricos em região semiárida do Ceará.

## 7 MATERIAL E MÉTODOS

### 7.1 Área de estudo

O estudo foi realizado durante os meses de setembro a novembro de 2018 e 2019 na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Pentecoste, semiárido cearense, com coordenadas geográficas 3°48'35.86" de latitude sul e 39°19'31.55" de longitude oeste e altitude de 34 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é BSw'h' (quente e semiárido, com chuvas irregulares). Os dados de umidade relativa e temperatura do ar encontram-se na Figura 1.



**Figura 5** - Temperatura máxima (T<sub>máx</sub>) e mínima (T<sub>mín</sub>) em °C e umidade relativa do ar (UR) em %, nos períodos experimentais realizados em 2018 e 2019.

As características físico-química do solo no local foram: P: 110 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>: 460 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 6,86 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 3,51 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Fe: 161,2 mg dm<sup>-3</sup>; Cu: 0,9 mg dm<sup>-3</sup>; B: 0,6 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 5,5 mg dm<sup>-3</sup>; Mn: 156,4 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al: 0,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB: 11,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (t): 11,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (T): 12,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; MO: 3,9 dag kg<sup>-1</sup>; pH: 7,2; V: 92,1%; m: 0,0 %; CE: 0,16 dS m<sup>-1</sup>; Areia grossa: 20 g kg<sup>-1</sup>; Areia Fina: 515 g kg<sup>-1</sup>; Silte: 141 g kg<sup>-1</sup>; Argila: 164 g kg<sup>-1</sup>; Argila natural: 131 g kg<sup>-1</sup>. Textura: Franco

arenosa; Capacidade de campo:  $0,361 \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)}$ ; Ponto de murcha permanente:  $0,0545 \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)}$ ; Condutividade hidráulica do solo saturado:  $9,5 \text{ (mm h}^{-1}\text{)}$  e densidade do solo:  $1,32 \text{ (g cm}^{-3}\text{)}$  (SCHAAP, 2003).

A água utilizada para a irrigação em ambos os anos foi classificada como C3S1, tendo apresentado, em média, as seguintes características de qualidade, pH: 6,80; CE:  $0,75 \text{ dS m}^{-1}$ ; RAS: 1,60;  $\text{Ca}^{2+}$ :  $2,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$ :  $2,60 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ;  $\text{Na}^+$ :  $3,4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ;  $\text{K}^+$   $0,2 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  e  $\text{Cl}^-$   $7,8 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$  (RICHARDS, 2012).

Com base nos resultados obtidos para a análise de água, pode-se verificar que para a cultura da rúcula e do jambu, os valores de RAS e pH da água foram considerados normais segundo Cordeiro (2001). A condutividade elétrica apresentou valor de salinidade aceitável, em termos de tolerância, sendo a tolerada pela rúcula até  $2,75 \text{ dS m}^{-1}$  (SILVA *et al.*, 2013) e a do jambu até  $3,30 \text{ dS m}^{-1}$  (HOAGLAND; ARNON, 1938). Ambas as culturas são classificadas como moderadamente sensíveis à salinidade.

## 7.2 Projeto experimental do campo

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com arranjo de parcelas subdivididas, sendo implantados vinte tratamentos  $(2 + 1 + 1) \times 5$  lâminas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de tratamentos de irrigação, ID50: Irrigação de déficit com 50% da Evapotranspiração da cultura (ETc); ID75: Irrigação de déficit com 75% da ETc; IT100: Irrigação Total com 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso com 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso com 150% da ETc. As subparcelas foram constituídas do sistema de cultivo: Rúcula consorciada; Jambu consorciado; Rúcula em monocultivo e Jambu em monocultivo.

A parcela experimental teve área de  $8,4 \text{ m}^2$  ( $1,0 \times 8,4 \text{ m}$ ) com área útil de  $1,68 \text{ m}^2$  (42 plantas). Já as subparcelas  $2,8 \text{ m}^2$  ( $1,0 \times 2,8 \text{ m}$ ), com área útil de  $0,56 \text{ m}^2$  (14 plantas). Nos cultivos solteiros e consorciados os espaçamentos foram de 0,2 m entre plantas e 0,2 m entre linhas de cultivo.

Foram utilizadas sementes de rúcula (*Eruca sativa* Mill) 'Folha Larga' (Topseed Garden). As sementes do jambu utilizadas foram a *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen, flor roxa, obtidas na principal região produtora do estado do Pará, com coordenadas geográficas  $1^\circ 27' 31''$  de latitude Sul e  $48^\circ 26' 04.5''$  de longitude Oeste.

As mudas de rúcula e jambu foram produzidas em bandejas de polietileno de 200 células, com volume de  $18 \text{ cm}^3$  por célula. Estas foram preenchidas com substrato contendo 90% de húmus de minhoca e 10% de vermiculita. Após a semeadura, as bandejas foram

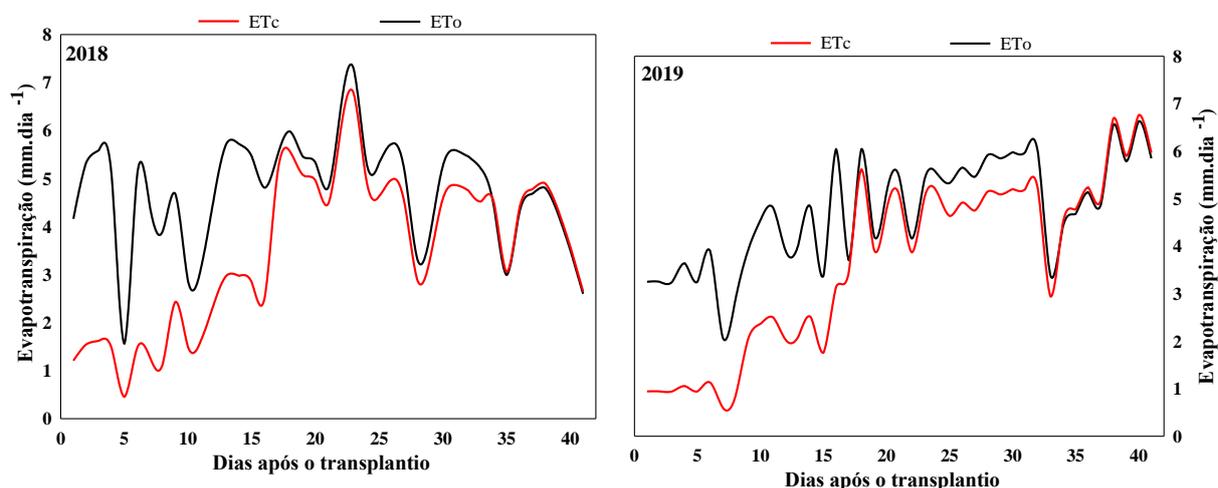
alocadas em abrigo coberto com sombrite 30% onde permaneceram até apresentarem de 3 a 4 folhas definitivas. Após esse período as mudas foram transplantadas para o campo.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento do tipo fita gotejadora com 16 mm de diâmetro e emissores espaçados a cada 0,3 m, com vazão nominal de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$ , pressão de serviço de 10 mca, de modo a formar uma faixa molhada. A aplicação de água à cultura foi diariamente realizada às 08:00 h e 16:00 h.

### 7.3 Determinação da umidade do solo e evapotranspiração da cultura

A determinação da necessidade hídrica das culturas foi realizada através da obtenção da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) com medições realizadas por leituras da evaporação medida no tanque classe “A” (ECA) com distância de 1500 m da área do experimento na fazenda experimental Vale do Curu – FEVC, e o coeficiente do tanque ( $K_t$ ) foi conforme Bernardo *et al.* (2019).

O valor da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) foi obtida pelo produto do valor da  $ET_o$  e coeficiente da cultura ( $K_c$ ). O  $K_c$  utilizado para o cálculo foi o da cultura principal, rúcula, em função dos dias após o transplante, 0-8, 9-16, 17-24, 25-33 e 34-40, tendo sido obtido como  $k_c$  os valores 0,29; 0,52; 0,93; 0,87 e 1,02, respectivamente, conforme Santana *et al.* (2016).



**Figura 6** - Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) determinados ao longo do ciclo das culturas nos períodos experimentais realizados em 2018 e 2019.

A Evapotranspiração de referência média no município de Pentecoste / Ceará é  $7,56 \text{ mm dia}^{-1}$  (MACÊDO *et al.*, 2018). Os valores diários da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) determinados ao longo do ciclo de cultivo das culturas e de acordo com dados coletados no tanque classe A estão apresentados na Figura 2. A

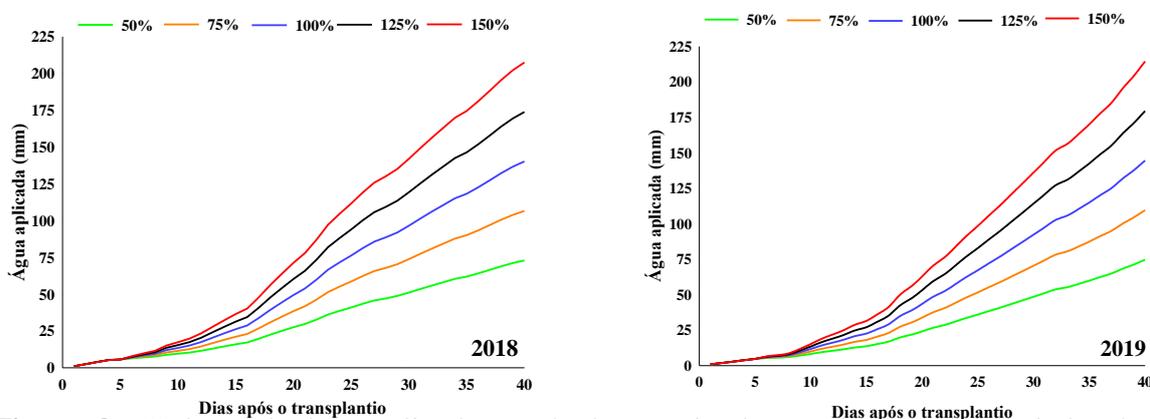
evapotranspiração diária da cultura nas duas épocas variou de 0,6 a 6,7 mm dia<sup>-1</sup> durante o desenvolvimento da cultura, apresentando pico máximo próximo a colheita, ou seja, aos 40 DAT. O tempo de aplicação da água na irrigação foi calculado conforme a equação de Bernardo *et al.* (2019):

$$T_i = \frac{ET_{cloc} \times Se \times Sf \times FL \times 60}{NEP \times Ea \times q_a}$$

T<sub>i</sub>: é o tempo de irrigação (minutos); ET<sub>c</sub>: a evapotranspiração localizada da cultura (mm.dia<sup>-1</sup>); Se: é o espaçamento entre emissores (metros); Sf: é o espaçamento entre linhas laterais (metros); FL: Porcentagem da lâmina definida pelo tratamento (%); NEP: Número de emissores por plantas; Ea: Eficiência de aplicação (%) e q<sub>a</sub>: vazão média de cada emissor (L h<sup>-1</sup>).

## 2.4 Volume de água aplicado

Os volumes acumulados, de água aplicada por tratamento, durante o desenvolvimento das culturas e que correspondem às taxas de reposição de 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da ET<sub>c</sub> foram, respectivamente, 74,25; 108,56; 142,87; 177,18 e 211,18 mm. ciclo<sup>-1</sup> em 2018 e 77,63; 114,07; 150,52; 186,96 e 223,40 mm. ciclo<sup>-1</sup> em 2019 (Figura 3).



**Figura 3** - Volume de água aplicado na rúcula e no jambu no sistema consorciado rúcula – jambu e nos respectivos cultivos solteiros nos períodos experimentais realizados em 2018 e 2019.

A determinação da umidade do solo foi analisada pelo método padrão de estufa a cada 15 dias após o transplântio das culturas em ambos os tratamentos, na profundidade de 0-30 cm. Foi determinado o peso úmido da amostra e o solo coletado foi armazenado em cápsulas. As amostras foram alocadas em estufa de circulação de ar forçado por 24 horas a 105 °C. Após este período foi determinado seu peso seco, conforme Bernardo *et al.* (2019).

## 2.5 Eficiência biológica

A eficiência biológica é caracterizada pela vantagem do sistema consorciado sobre o solteiro em termos de rendimento das culturas e melhor uso da área, essa variável é mensurada pelo índice do uso eficiente da terra, contribuição relativa da cultura principal ao UET e o índice de produtividade do sistema.

O índice do uso Eficiente da Terra (UET) pode revelar vantagens no aproveitamento da terra, ou seja, maior ganho de área em cultivos de consórcios em relação aos cultivos solteiros. O cálculo da UET parcial considera a produção por planta em cada tratamento consorciado sobre o solteiro. A UET total foi realizada através da soma das UETs parciais de ambas as culturas conforme a fórmula proposta por Willey (1979):

$$\text{UET parcial Rúcula} = \frac{Y_{rj}}{Y_{rr}}$$

$$\text{UET parcial Jambu} = \frac{Y_{jr}}{Y_{jj}}$$

$$\text{UET Total} = \frac{Y_{rj}}{Y_{rr}} + \frac{Y_{jr}}{Y_{jj}}$$

$Y_{rj}$ : é a produção da rúcula em consórcio com o jambu ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{jr}$ : é a produção do jambu em consórcio com a rúcula ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{rr}$ : é a produção da rúcula em monocultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e  $Y_{jj}$ : é a produção do jambu em monocultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

$\text{UET} > 1$  há vantagem produtiva na consorciação e alta eficiência no uso da terra e  $\text{UET} < 1$  não há vantagem produtiva (LI *et al.*, 1999; ZENG *et al.*, 2019).

A Contribuição Relativa da Cultura principal (CRC) ao Índice do Uso Eficiente da Terra (UET) indica o quanto a cultura principal vai contribuir para uma melhor utilização do espaço destinado para o cultivo, e o quanto a cultura secundária pode complementar a produtividade do sistema, a CRC é calculada de acordo com Souza e Macedo (2007):

$$\text{CRC} = \frac{\text{PRI} \times 100}{\text{UET}}$$

PRI: produtividade relativa individual do sistema ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); UET: índice de uso eficiente da terra.

O Índice de Produtividade do Sistema (IPS) padroniza o rendimento da cultura secundária em relação a cultura principal, sendo avaliado conforme Odo (1991):

$$IPS = \frac{Y_{jj}}{Y_{rr}} \times (Y_{rj} + Y_{jr})$$

$Y_{rj}$ : rendimento da rúcula em consórcio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{jr}$ : rendimento do jambu em consórcio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).  $Y_{jj}$ : rendimento do jambu em monocultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o  $Y_{rr}$ : rendimento da rúcula em monocultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

## 7.6 Uso eficiente da água

A Eficiência no Uso da Água (EUA) foi determinada através da relação entre os valores de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do cultivo solteiro e as respectivas quantidades de água aplicadas ( $\text{m}^3$ ) em cada tratamento durante o cultivo.

$$EUA = Y / W$$

EUA: é a eficiência do uso da água ( $\text{kg.m}^{-3}$ ); Y: é a produtividade da cultura ( $\text{kg. ha}^{-1}$ ) e W: é a lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ).

A EUA no cultivo consorciado foi determinada através da relação entre os valores do índice de produtividade do sistema (IPS) e as respectivas quantidades de água aplicadas ( $\text{m}^3$ ) em cada tratamento durante o cultivo.

$$EUA = IPS / W$$

EUA: é a eficiência do uso da água ( $\text{kg m}^{-3}$ ); IPS: é o Índice de Produtividade do Sistema ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e W: é a lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura ( $\text{m}^3. \text{ha}$ ).

Foram avaliados, altura de plantas ( $\text{cm}$ ); comprimento da raiz ( $\text{cm planta}^{-1}$ ), sendo essas medições realizadas com o auxílio de uma régua graduada em centímetros; massa fresca das folhas e das raízes por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ) obtidas por pesagem em balança de precisão com 0,0001 casas decimais; massa seca das folhas e das raízes por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ), sendo que para a obtenção da massa seca, os materiais vegetais foram alocados em sacos de papel e colocados em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de  $65^\circ \text{C}$  por 48 horas ou até a obtenção de massa seca constante. A Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi estimada pela determinação de massa

fresca das folhas e caule da rúcula e massa fresca das folhas, caule e inflorescência do jambu, por área útil, convertendo para hectare.

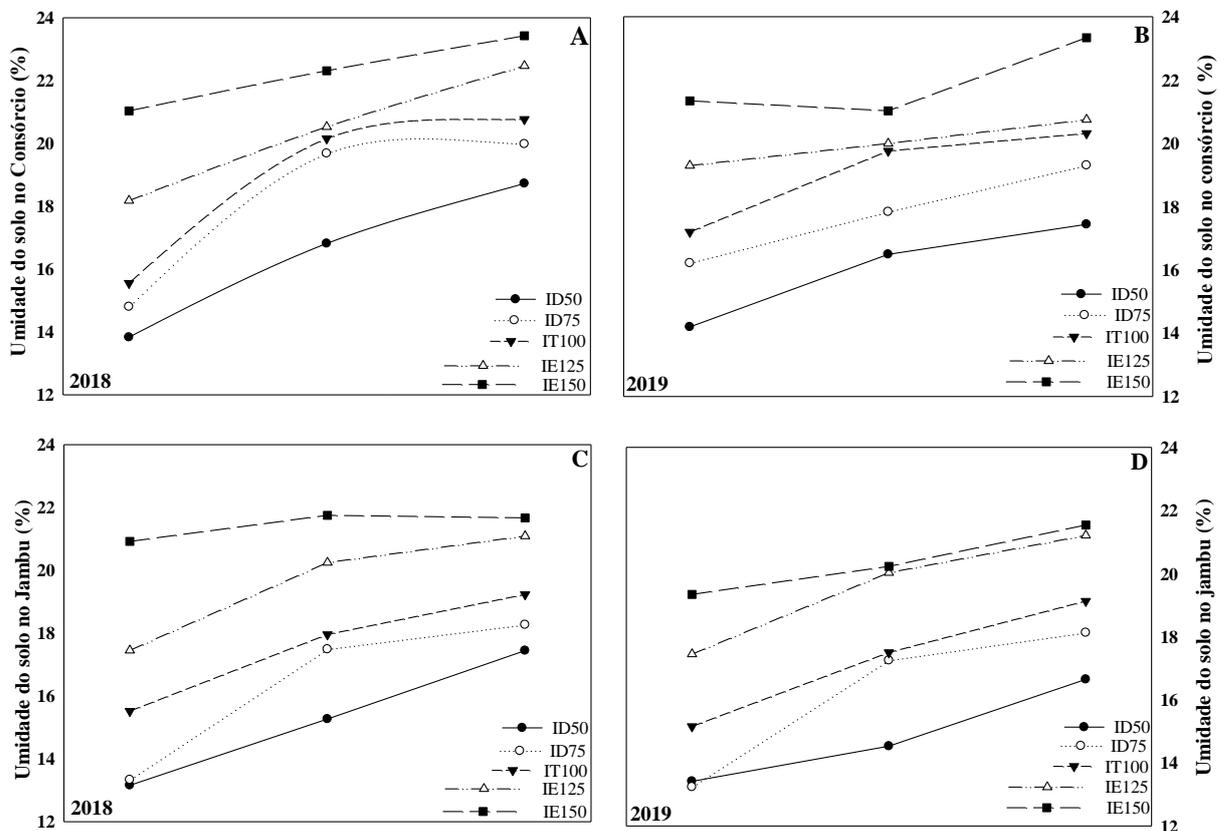
### 7.7 Análise estatística dos dados

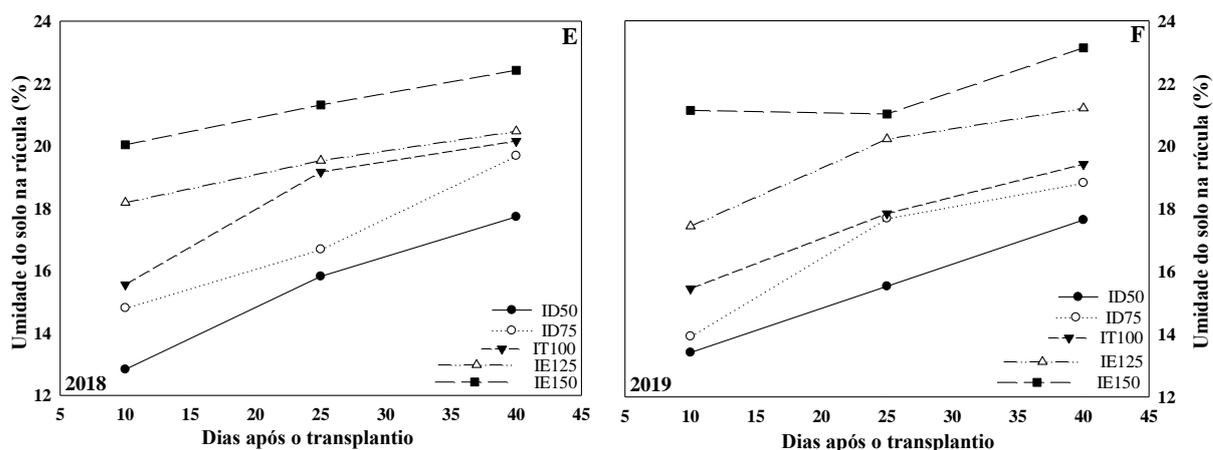
Avaliou-se as pressuposições de normalidade, homogeneidade e aditividade. A análise de variância, para cada uma das variáveis estudadas em cada ciclo, foi analisada pelo teste F. Quando identificou-se significância das variáveis, aplicou-se o teste de Scott-Knott ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ), para identificação do(s) melhor(es) sistema(s) de cultivo e irrigação, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2011).

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Umidade do solo

A Figura 4, mostra diferentes padrões de distribuição de água no solo em resposta aos tratamentos de irrigação para rúcula e jambu cultivados em sistema consorte e em monocultivo nos plantios realizados em 2018 e 2019 aos 10, 25 e 40 dias após o transplante (DAT).





**Figura 4** - Evolução do conteúdo de água no solo (%) aos 10, 25 e 40 dias após o transplântio das culturas no cultivo consorciado (A e B), no cultivo solteiro de jambu (C e D) e no cultivo solteiro de rúcula (E e F), para os tratamentos de irrigação, ID50: Irrigação com déficit de 50% da ETc; ID75: Irrigação com déficit de 75% da ETc; IT100: Irrigação Total com 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso com 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso com 150% da ETc, nos anos de 2018 e 2019.

O teor de água no solo foi semelhante entre os anos, no entanto, o consórcio foi a condição de cultivo que apresentou o maior teor de água no solo se comparado aos cultivos solteiros. Provavelmente, a consorciação rúcula:jambu, por ter possibilitado a maior cobertura da superfície do solo, provocou redução na evaporação de água deste, o que promoveu uma maior conservação do recurso hídrico. Teores de umidade do solo superiores, em cultivos consorciado quando comparados a sistemas de monocultivo, também foram relatados em outras pesquisas (MUSHAGALUSA *et al.*, 2008; NAMOI *et al.*, 2014; CHEPKEMOI *et al.*, 2014; FAN *et al.*, 2016).

Os valores da umidade do solo foram, em média, 19,21%, 18,45% e 18,05% em 2018 e 18,96%, 18,26% e 17,64% em 2019, para os sistemas de cultivo consorciado, monocultivo de rúcula e monocultivo de jambu, respectivamente. A classificação do teor médio de água no solo nas duas épocas de cultivo foram consórcio > rúcula solteira > jambu solteiro e para os tratamentos de irrigação foram IE150 > IE125 > IT100 > ID75 > ID50.

### Análise de Crescimento

De acordo com os resultados obtidos pode-se verificar que não houve interação das lâminas de irrigação com os sistemas de cultivo utilizados, sendo assim, ambos os fatores foram analisados isoladamente, sendo observados diferentes comportamentos no que se refere às características biométricas das culturas para os tratamentos.

De forma geral, a consorciação desempenhou um papel relevante no crescimento e produção das culturas. As plantas de rúcula consorciada (Tabela 1) foram as que apresentaram o maior número de folhas, massa fresca e seca das folhas e da raiz em ambos os anos de estudo, 2018 e 2019. Para a variável altura das plantas, em 2018, e o comprimento da raiz, em 2019, não houve diferença quando a cultura foi cultivada de forma solteira ou consorciada.

As melhores respostas observadas para as variáveis, massa fresca e seca de folhas e de raiz, provavelmente são devido ao maior número de folhas observado para as plantas de rúcula em consórcio. Isso porque, as folhas são órgãos fotossintetizantes responsáveis pela interceptação da energia luminosa, que é utilizada na fase fotoquímica da fotossíntese para a produção de fotoassimilados nas plantas (TAIZ *et al.*, 2017). Seu maior número pode ter possibilitado maior interceptação de luz e, conseqüentemente, maior acúmulo de biomassa na parte aérea e nas raízes.

De forma geral, o cultivo em consórcio proporcionou melhores condições de desenvolvimento para as plantas. Em diversas pesquisas publicadas, verificou-se que o cultivo em sistema consorciado possibilita a maximização da utilização de recursos naturais e de área, o que promove uma diminuição do uso de insumos e promove o equilíbrio ecológico para melhorar o crescimento e desenvolvimento das culturas combinadas dentro do sistema (KOEFFENDER *et al.*, 2016; MOTA *et al.*, 2010).

As irrigações utilizadas apresentaram respostas distintas no desenvolvimento da rúcula. Todos os caracteres, a exceção da massa fresca da raiz, em 2018, e do número de folhas, massa seca da raiz e comprimento da raiz, em 2019, foram significativos  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ .

Independentemente dos tratamentos de irrigação, a consorciação foi mais eficaz nas características morfológicas da rúcula. Maior biomassa da rúcula foi obtida com a irrigação de 75% da ETc com valores de 161,74 g planta<sup>-1</sup> e 130,91 g planta<sup>-1</sup> em 2018 e 2019, respectivamente ( $p < 0,01$ ). De forma geral, para os demais caracteres não foi observada diferença entre as irrigações ID75 e IT100, havendo redução dos valores dos caracteres morfológicos quando foi aplicada a irrigação de déficit (ID50) e as irrigações de excesso (IE125 e IE150), a exceção da altura da planta. Tais resultados podem ser explicados, em parte, pelo fato dessa irrigação de déficit (ID75) não ter permitido a ocorrência de estresse hídrico, o que afetaria as plantas durante o crescimento vegetativo. Quando as células vegetais ficam submetidas ao estresse hídrico, ocorre desidratação celular, o que afeta o processo de expansão e multiplicação celular, bem como altera adversamente muitos processos fisiológicos básicos na planta (TAIZ *et al.*, 2017) o que pode ter ocorrido nas demais irrigações aplicadas, tanto abaixo como acima da ID75.

**Tabela 1** - Características morfológicas da rúcula em consórcio com jambu e em monocultivo para diferentes tratamentos de irrigação nos períodos experimentais de 2018 e 2019.

<i>Tratamento</i>	NF	ALT	MFF	MSF	MFR	MSR	CR
<b>2018</b>							
ID50	38,72 ( $\pm$ 5,39) b	26,54 ( $\pm$ 1,97) a	82,95 ( $\pm$ 1,76) e	7,87 ( $\pm$ 0,21) c	8,61 ( $\pm$ 0,45) a	1,14 ( $\pm$ 0,08) a	18,38 ( $\pm$ 2,52) a
ID75	44,12 ( $\pm$ 7,20) a	28,82 ( $\pm$ 1,42) a	161,74 ( $\pm$ 4,12) a	11,34 ( $\pm$ 0,29) a	10,73 ( $\pm$ 1,34) a	1,64 ( $\pm$ 0,45) a	17,12 ( $\pm$ 1,72) a
IT100	30,97 ( $\pm$ 3,20) b	27,61 ( $\pm$ 1,20) a	131,26 ( $\pm$ 5,32) b	11,57 ( $\pm$ 0,33) a	8,20 ( $\pm$ 1,94) a	1,12 ( $\pm$ 0,26) a	16,46 ( $\pm$ 1,72) a
IE125	32,01 ( $\pm$ 7,93) b	24,17 ( $\pm$ 4,26) b	105,72 ( $\pm$ 3,22) c	9,46 ( $\pm$ 0,54) b	7,22 ( $\pm$ 1,44) a	0,74 ( $\pm$ 0,11) b	15,65 ( $\pm$ 1,52) b
IE150	22,95 ( $\pm$ 5,90) c	21,77 ( $\pm$ 1,83) b	95,70 ( $\pm$ 2,14) d	9,00 ( $\pm$ 0,35) b	8,46 ( $\pm$ 0,94) a	0,55 ( $\pm$ 0,10) b	13,35 ( $\pm$ 1,99) b
<i>p</i> valor	0,03	0,27	<0,01	<0,01	0,13	0,01	<0,01
F valor	3,70	1,63	144,44	22,44	2,20	4,61	6,51
Rúcula	27,36 ( $\pm$ 4,97) b	24,82 ( $\pm$ 2,48) a	83,15 ( $\pm$ 3,15) b	7,87 ( $\pm$ 0,35) b	5,59 ( $\pm$ 0,76) b	0,77 ( $\pm$ 0,18) b	14,83 ( $\pm$ 1,36) b
Rúcula + Jambu	40,15 ( $\pm$ 6,87) a	26,74 ( $\pm$ 1,79) a	118,17 ( $\pm$ 3,05) a	11,83 ( $\pm$ 0,33) a	11,70 ( $\pm$ 1,67) a	1,31 ( $\pm$ 0,22) a	17,56 ( $\pm$ 2,42) a
<i>p</i> valor	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
F valor	10,38	3,64	185,65	340,14	51,23	20,52	4,45
<b>2019</b>							
ID50	37,02 ( $\pm$ 3,89) a	23,23 ( $\pm$ 1,39) b	77,56 ( $\pm$ 3,64) e	7,57 ( $\pm$ 0,66) d	6,74 ( $\pm$ 0,62) b	1,35 ( $\pm$ 0,08) a	12,59 ( $\pm$ 0,76) a
ID75	37,16 ( $\pm$ 4,08) a	23,61 ( $\pm$ 1,32) b	130,91 ( $\pm$ 5,34) a	14,30 ( $\pm$ 0,15) a	7,86 ( $\pm$ 0,88) a	1,36 ( $\pm$ 0,14) a	12,62 ( $\pm$ 1,11) a
IT100	40,05 ( $\pm$ 3,23) a	26,17 ( $\pm$ 1,15) a	117,48 ( $\pm$ 3,86) b	14,35 ( $\pm$ 0,45) a	7,90 ( $\pm$ 0,47) a	1,65 ( $\pm$ 0,11) a	13,27 ( $\pm$ 0,89) a
IE125	36,25 ( $\pm$ 4,15) a	25,40 ( $\pm$ 0,76) a	106,71 ( $\pm$ 2,63) c	12,40 ( $\pm$ 0,56) b	6,14 ( $\pm$ 0,45) b	1,21 ( $\pm$ 0,22) a	13,14 ( $\pm$ 1,67) a
IE150	36,08 ( $\pm$ 2,61) a	26,80 ( $\pm$ 0,72) a	97,22 ( $\pm$ 1,71) d	9,64 ( $\pm$ 0,34) c	6,13 ( $\pm$ 0,22) b	1,19 ( $\pm$ 0,22) a	12,98 ( $\pm$ 0,77) a
<i>p</i> valor	0,65	0,06	<0,01	<0,01	0,017	0,15	0,92
F valor	0,61	3,00	44,14	58,60	4,57	2,0	0,21
Rúcula	33,49 ( $\pm$ 2,90) b	24,21 ( $\pm$ 1,13) b	80,49 ( $\pm$ 2,70) b	10,24 ( $\pm$ 0,42) b	5,97 ( $\pm$ 0,54) b	1,21 ( $\pm$ 0,12) b	12,35 ( $\pm$ 1,03) a
Rúcula + Jambu	41,13 ( $\pm$ 4,28) a	25,87 ( $\pm$ 0,99) a	131,46 ( $\pm$ 4,16) a	13,06 ( $\pm$ 0,44) a	7,93 ( $\pm$ 0,51) a	1,50 ( $\pm$ 0,19) a	13,49 ( $\pm$ 1,05) a
<i>p</i> valor	<0,01	0,018	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,18
F valor	8,96	7,01	599,77	82,61	26,73	6,20	1,94

NF: número de folhas por planta; ALT: altura da planta; MFF: massa fresca das folhas; MSF: massa seca das folhas; MFR: massa fresca da raiz; MSR: massa seca da raiz; CR: comprimento da raiz; ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETC; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETC; IT100: Irrigação Total, 100% da ETC; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETC; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETC. Dados representam as médias  $\pm$  erro padrão das médias ( $n = 4$ ). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott.

Por outro lado, para o jambu (Tabela 2) as plantas cultivadas em sistema solteiro foram as que apresentaram maior massa fresca e seca das folhas, em 2018, e maior número de folhas, altura, massa fresca e seca das folhas, massa fresca e comprimento da raiz, em 2019. Já para a massa seca da raiz, em 2019, não foi observada diferença quando a espécie foi cultivada de forma solteira ou consorciada.

Provavelmente a rúcula consorciada promoveu forte efeito competitivo no crescimento do jambu, o que foi evidenciado pelo baixo rendimento desta última em ambos os anos de cultivo. Isso pode ter ocorrido devido a uma competição por água, luz e nutrientes (ZENG *et al.*, 2019). No entanto, em sistemas consorciados podem haver interações positivas que compensam as interações negativas, como facilitação e complementariedade (REN *et al.*, 2016), sendo que nesse estudo a facilitação superou a competição interespecífica. A facilitação acontece quando uma espécie do sistema melhora o desenvolvimento, crescimento ou sobrevivência da outra espécie através da mitigação do estresse (REN *et al.*, 2016), o que pode ter ocorrido no caso da rúcula para este estudo.

A competição por recursos abaixo do solo, incluindo água e nutrientes, desempenha um papel fundamental em resultados obtidos em sistemas de cultivo consorciados. O melhor desenvolvimento da rúcula, sobre o jambu, pode ser atribuído ao crescimento mais rápido da primeira ou a outros fatores, como eficiência fisiológica, morfologia e a necessidade nutricional de cada cultura (REN *et al.*, 2016).

Já as lâminas de irrigações utilizadas apresentaram respostas distintas no desenvolvimento do jambu (Tabela 2). Todos os caracteres avaliados, a exceção do número de folhas, massa fresca da raiz e comprimento da raiz, em 2018, e massa fresca e seca, e comprimento da raiz, em 2019, foram diferentes estatisticamente  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ .

Para o jambu a irrigação IE125 foi a que possibilitou a obtenção de maior massa fresca das folhas. No entanto, para a massa seca, essa lâmina de irrigação não diferiu da IT100, em ambos os anos de avaliação, havendo redução nos valores das características morfológicas das plantas de jambu quando da aplicação das demais lâminas. Apesar do jambu ter apresentado melhor desempenho com a lâmina de irrigação IE125, o que pode estar relacionado ao fato da cultura ser ecofisiologicamente adaptada a sua região de origem (região Amazônica), ou seja, local com alta disponibilidade de água, não houve diferença da massa seca quando foi aplicada a lâmina IT100, ou seja, a quantidade de água fornecida pela irrigação total (IT100) atendeu a necessidade hídrica

da cultura, o que sugere que o jambu pode ser cultivado em consórcio com a rúcula, e ou cultivado em monocultivo utilizando o coeficiente de cultivo ( $kc$ ) da rúcula.

**Tabela 2** - Características morfológicas do jambu em consórcio com a rúcula e em monocultivo para diferentes tratamentos de irrigação nos períodos experimentais de 2018 e 2019.

Tratamento	NF	ALT	MFPA	MSPA	MFR	MSR	CR
<b>2018</b>							
ID50	13,42 ( $\pm$ 0,42) a	20,94 ( $\pm$ 0,79) b	29,71 ( $\pm$ 3,91) d	3,73 ( $\pm$ 0,39) b	4,60 ( $\pm$ 0,57) a	0,61 ( $\pm$ 0,08) b	14,77 ( $\pm$ 1,72) a
ID75	13,72 ( $\pm$ 0,87) a	23,42 ( $\pm$ 1,89) a	41,26 ( $\pm$ 2,62) c	3,83 ( $\pm$ 0,34) b	4,89 ( $\pm$ 1,02) a	0,70 ( $\pm$ 0,15) b	14,06 ( $\pm$ 1,41) a
IT100	15,23 ( $\pm$ 2,01) a	24,16 ( $\pm$ 1,54) a	55,66 ( $\pm$ 1,98) b	5,13 ( $\pm$ 0,19) a	5,16 ( $\pm$ 0,95) a	1,18 ( $\pm$ 0,38) a	14,12 ( $\pm$ 1,20) a
IE125	13,28 ( $\pm$ 0,94) a	25,52 ( $\pm$ 1,07) a	62,35 ( $\pm$ 1,37) a	5,49 ( $\pm$ 0,22) a	5,20 ( $\pm$ 1,12) a	1,12 ( $\pm$ 1,20) a	13,64 ( $\pm$ 0,62) a
IE150	12,22 ( $\pm$ 0,70) a	21,35 ( $\pm$ 0,87) b	44,49 ( $\pm$ 3,50) c	3,97 ( $\pm$ 0,30) b	5,06 ( $\pm$ 0,44) a	0,99 ( $\pm$ 1,28) a	13,44 ( $\pm$ 0,44) a
P valor	0,188	<0,01	<0,01	<0,01	0,94	<0,01	0,73
F valor	1,82	5,61	56,03	22,17	0,183	6,64	0,50
Jambu	12,74 ( $\pm$ 1,16) a	24,19 ( $\pm$ 1,22) a	49,97 ( $\pm$ 2,28) a	5,20 ( $\pm$ 0,31) a	3,91 ( $\pm$ 0,52) b	0,71 ( $\pm$ 0,16) b	12,85 ( $\pm$ 0,99) b
Jambu + Rúcula	14,41 ( $\pm$ 0,81) a	21,96 ( $\pm$ 1,24) b	43,42 ( $\pm$ 3,06) b	3,65 ( $\pm$ 0,26) b	6,05 ( $\pm$ 1,45) a	1,13 ( $\pm$ 0,20) a	15,16 ( $\pm$ 1,16) a
p valor	0,04	0,03	<0,01	<0,01	0,011	<0,01	<0,01
F valor	4,61	5,66	12,64	47,55	8,24	27,17	11,66
<b>2019</b>							
ID50	11,19 ( $\pm$ 0,18) b	23,08 ( $\pm$ 1,39) b	27,23 ( $\pm$ 0,99) d	3,86 ( $\pm$ 0,39) b	1,20 ( $\pm$ 0,07) a	0,50 ( $\pm$ 0,07) a	13,96 ( $\pm$ 1,62) a
ID75	11,96 ( $\pm$ 1,00) b	26,51 ( $\pm$ 2,71) a	28,71 ( $\pm$ 0,96) d	3,99 ( $\pm$ 0,45) b	1,32 ( $\pm$ 0,07) a	0,49 ( $\pm$ 0,07) a	11,98 ( $\pm$ 0,97) a
IT100	12,33 ( $\pm$ 0,60) b	28,12 ( $\pm$ 2,82) a	42,48 ( $\pm$ 2,65) b	6,52 ( $\pm$ 0,40) a	1,59 ( $\pm$ 0,44) a	0,61 ( $\pm$ 0,16) a	13,89 ( $\pm$ 1,12) a
IE125	13,80 ( $\pm$ 0,47) a	28,75 ( $\pm$ 3,46) a	48,30 ( $\pm$ 2,53) a	5,64 ( $\pm$ 0,52) a	1,59 ( $\pm$ 0,39) a	0,56 ( $\pm$ 0,08) a	13,72 ( $\pm$ 0,71) a
IE150	11,78 ( $\pm$ 0,72) b	22,81 ( $\pm$ 2,50) b	34,32 ( $\pm$ 0,92) c	4,76 ( $\pm$ 0,58) b	1,41 ( $\pm$ 0,33) a	0,52 ( $\pm$ 0,03) a	11,94 ( $\pm$ 1,06) a
p valor	0,03	0,03	<0,01	<0,01	0,52	0,64	0,09
F valor	3,53	3,62	60,02	8,99	0,83	0,63	2,52
Jambu	12,76 ( $\pm$ 0,54) a	44,88 ( $\pm$ 1,99) a	44,88 ( $\pm$ 1,51) a	6,23 ( $\pm$ 0,68) a	1,89 ( $\pm$ 0,33) a	0,58 ( $\pm$ 0,09) a	14,68 ( $\pm$ 0,81) a
Jambu + Rúcula	10,89 ( $\pm$ 0,65) b	23,24 ( $\pm$ 3,16) b	23,24 ( $\pm$ 1,71) b	3,68 ( $\pm$ 0,26) b	1,00 ( $\pm$ 0,28) b	0,49 ( $\pm$ 0,08) a	11,52 ( $\pm$ 1,18) b
p valor	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,29	<0,01
F valor	21,80	6,22	159,69	55,39	0,27	1,57	15,04

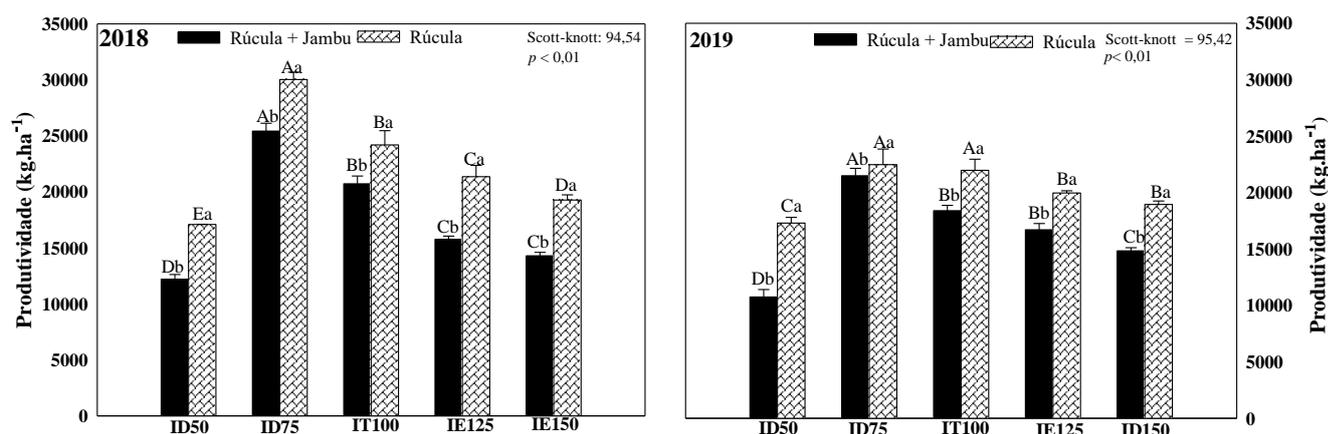
NF: número de folhas por planta; ALT: altura da planta; MFPA: massa fresca da parte aérea; MSPA: massa seca da parte aérea; MFR: massa fresca da raiz; MSR: massa seca da raiz; CR: comprimento da raiz; ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc. Dados representam as médias  $\pm$  erro padrão das médias (n = 4). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott.

## Produtividade

Foram observadas diferenças entre as lâminas de irrigação e os sistemas de cultivo, bem como suas interações para a produtividade das culturas.

Para a produtividade avaliada aos 40 DAT, tanto as plantas consorciadas quanto às cultivadas em sistema de monocultivo apresentaram respostas distintas.

De forma geral, os maiores valores foram observados para as plantas cultivadas em monocultivo (Figura 5).



**Figura 5** - Produtividade da rúcula em sistema consorciado com jambu e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação, nos anos de 2018 e 2019. Letras maiúsculas comparam as diferentes lâminas de irrigação dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

A produtividade da rúcula foi maior no sistema solteiro em comparação ao consorciado em todos os tratamentos de água aplicados. No entanto, quando se trabalha com sistema de produção consorciada, a análise da produtividade tem sua importância reduzida quando se calculam os índices biológicos da consorciação. Isso porque, estes índices permitem uma avaliação e comparação mais uniformizada e justa dos sistemas de cultivo solteiro e consorciado. Por exemplo, o índice biológico conhecido como uso eficiente da terra (UET), para o sistema consorciado utilizado neste trabalho, apresentou valor médio de 1,23 para o ano de 2018 e 1,28 para o ano de 2019 (Tabela 3).

UETr= Eficiência do uso da terra parcial da rúcula; UETj= Eficiência do uso da terra parcial do jambu; UETr + j= Eficiência do uso da terra total do sistema; CRC= Contribuição relativa da cultura principal; IPS= Índice de produtividade do sistema da rúcula em sistema consorciado com jambu e em monocultivo com tratamentos de irrigação, nos anos de 2018 e 2019. Dados representam as médias +/- erro padrão das médias ( $n = 4$ ). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,01$ ) de acordo com o teste de Scott Knott.

**Tabela 3** - Eficiência biológica no consórcio de rúcula - jambu em diferentes tratamentos de irrigação nos períodos experimentais de 2018 e 2019.

Tratamento	UET r	UET j	UET r + j	CRC (%)	IPS
<b>2018</b>					
ID50	0,71 ( $\pm$ 0,02)ns	0,51 ( $\pm$ 0,11)ns	1,22 ( $\pm$ 0,10)ns	61,46 ( $\pm$ 5,17)ns	13792,94 ( $\pm$ 423,12)e
ID75	0,85 ( $\pm$ 0,03)ns	0,41 ( $\pm$ 0,03)ns	1,26 ( $\pm$ 0,013)ns	62,84 ( $\pm$ 2,17)ns	27183,32 ( $\pm$ 635,73)a
IT100	0,87 ( $\pm$ 0,06)ns	0,45 ( $\pm$ 0,018)ns	1,36 ( $\pm$ 0,06)ns	56,27 ( $\pm$ 1,87)ns	24737,28 ( $\pm$ 603,98)b
IE125	0,74 ( $\pm$ 0,04)ns	0,45 ( $\pm$ 0,012)ns	1,15 ( $\pm$ 0,05)ns	65,29 ( $\pm$ 0,66)ns	21392,91 ( $\pm$ 462,65)c
IE150	0,75 ( $\pm$ 0,02)ns	0,49 ( $\pm$ 0,05)ns	1,16 ( $\pm$ 0,08)ns	65,26 ( $\pm$ 2,38)ns	17464,40 ( $\pm$ 506,49)d
<i>p</i> valor	0,08	0,56	0,31	0,42	<0,01
<i>F</i> valor	0,22	0,76	1,31	1,04	84,82
<b>2019</b>					
ID50	0,62 ( $\pm$ 0,04)c	0,46 ( $\pm$ 0,02) ns	1,08 ( $\pm$ 0,04)c	57,31 ( $\pm$ 2,46)c	12628,90 ( $\pm$ 618,61)d
ID75	0,96 ( $\pm$ 0,05)a	048 ( $\pm$ 0,02) ns	1,44 ( $\pm$ 0,03)a	66,81 ( $\pm$ 2,20)a	23103,43 ( $\pm$ 652,75)a
IT100	0,84 ( $\pm$ 0,03)b	0,45 ( $\pm$ 0,04) ns	1,28 ( $\pm$ 0,06)b	65,43 ( $\pm$ 1,79)a	21570,78 ( $\pm$ 570,49)b
IE125	0,83 ( $\pm$ 0,03)b	0,45 ( $\pm$ 0,04) ns	1,28 ( $\pm$ 0,06)b	65,08 ( $\pm$ 1,86)a	21124,65 ( $\pm$ 589,25)b
IE150	0,78 ( $\pm$ 0,01)b	0,49 ( $\pm$ 0,01) ns	1,27 ( $\pm$ 0,003)b	61,45 ( $\pm$ 1,22)b	17388,46 ( $\pm$ 209,32)c
<i>p</i> valor	<0,01	0,72	<0,01	<0,01	<0,01
<i>F</i> valor	11,71	0,52	6,18	11,16	61,84

Os resultados sugerem que os sistemas consorciados de rúcula e jambu, submetidos a níveis hídricos, apresentam vantagem no rendimento. De forma geral, UET maior que 1, indica que a consorciação apresenta vantagem produtiva e maior eficiência no uso da terra se comparado ao sistema solteiro (WILLEY, 1979; LI *et al.*, 1999; ZENG *et al.*, 2019). Essa maior eficiência é atribuída à complementariedade de utilização de recursos da área de cultivo, na qual a cultura componente usa recursos limitantes com mais eficiência devido a diferentes características temporais, espaciais e fenológicas (LI *et al.*, 2013; HENDGES *et al.*, 2019).

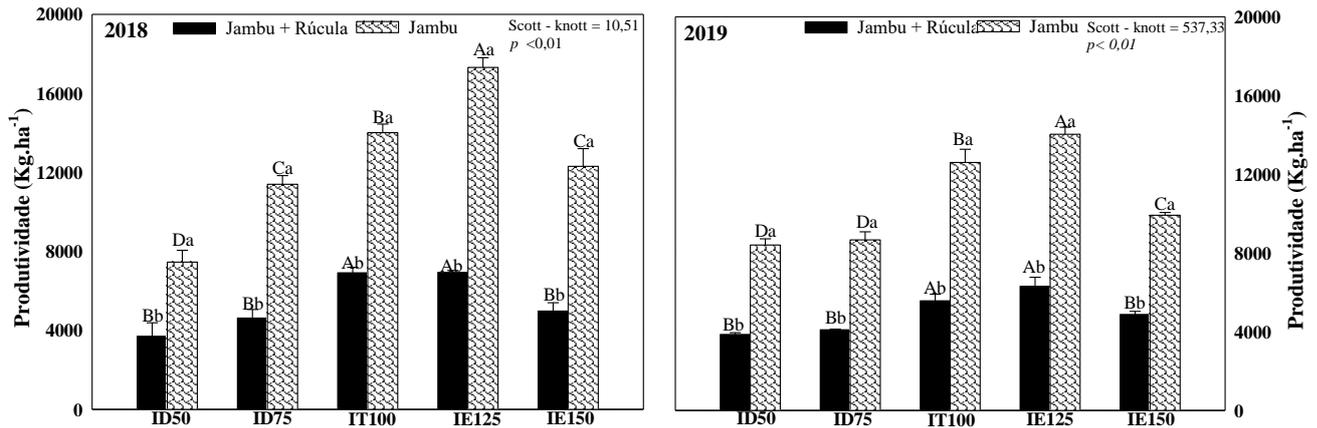
A rúcula, independentemente do sistema de cultivo, apresentou aumento no rendimento quando foi aplicada a irrigação ID75 se comparado as demais lâminas de irrigação ( $p < 0,01$ ) em 2018, no entanto, no sistema solteiro não houve diferença quando foi aplicada a irrigação ID75 e IT100, em 2019, sugerindo que a consorciação apresenta vantagem por tolerar uma redução de 25% na disponibilidade hídrica para rúcula (Figura 5).

Por outro lado, o jambu apresentou maior rendimento na lâmina de irrigação IE125 para o cultivo solteiro ( $p < 0,01$ ), sendo que no cultivo consorciado não foi observada diferença entre as lâminas de irrigação IT100 e IE125, para os dois anos de avaliação (Figura 6). Tais resultados sugerem que a utilização do sistema de produção consorciado possibilita utilizar uma lâmina hídrica menor (I75), o que é importante já que a água tem se tornado um bem cada vez mais caro e escasso (RODRÍGUEZ-CALZADA *et al.*, 2019).

A menor produção do jambu, em sistema consorciado, provavelmente ocorreu devido a ocorrência de competição por luz provocada pela copa mais desenvolvida da rúcula. Isso pode ter implicado na redução da interceptação de luz pelo jambu e, conseqüentemente,

provocado a diminuição de sua capacidade fotossintética, resultando no baixo rendimento das plantas em sistema consorciado.

Uma possível solução para melhorar a eficiência produtiva do jambu seria o plantio das culturas componentes, rúcula e jambu, em momentos diferentes. Tal manejo poderia alternar as demandas por recursos naturais para essas espécies, de forma temporal, o que poderia minimizar a competição interespecífica (JAHANSOOZ *et al.*, 2007).



**Figura 6** - Produtividade do jambu em sistema consorciado com rúcula e em monocultivo com tratamentos de irrigação nos anos de 2018 e 2019. Letras maiúsculas comparam as diferentes lâminas de irrigação dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

### Uso eficiente da terra

Exceto para o primeiro ano em que não foram verificadas diferenças significativas, para 2019 foi observada diferença entre o sistema de consórcio para a UET parcial  $R$  e UET total  $R+J$  (Tabela 3). A consorciação possibilitou a obtenção dos maiores valores de UET parciais para a rúcula se comparado ao jambu ( $p < 0,01$ ), o que reforça a hipótese de que a rúcula foi a espécie dominante neste sistema de produção.

Para o ano de 2019 a UET máxima foi encontrada quando se utilizou a irrigação com déficit ID75, sendo os valores 0,96 e 1,44 para UET parcial  $R$  e UET total  $R+J$ , respectivamente. Indicando que esse tratamento proporcionou maior eficiência biológica. Por outro lado, a UET diminuiu quando foi aplicado o tratamento ID50 ou quando houve aumento na disponibilidade de água via irrigação. Sendo assim, o aumento na disponibilidade hídrica não contribuiu para aumentar o UET parcial da rúcula e total do sistema.

Com base nos resultados observados, as UETs calculadas foram 1,08, 1,44, 1,28, 1,28 e 1,27 para os tratamentos, ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente, em 2019,

com isso pode-se dizer que são necessários 8%, 44%, 28%, 28% e 27% a mais de área para que as culturas, em sistema de monocultivo, produzam o equivalente a seus consórcios, para essas disponibilidades de água (WILLEY, 1979).

O menor rendimento, bem como a redução da UET para o tratamento ID50, possivelmente está relacionado ao efeito negativo ocasionado pelo estresse causado em decorrência da deficiência hídrica. Dá mesma forma, os menores rendimento e UET, observados para as lâminas maiores que ID75, podem ter ocorrido devido ao excesso de água que também é prejudicial as culturas, já que podem ocasionar desordens fisiológicas (SANTANA *et al.*, 2009), como estresse anoxítico (falta de O<sub>2</sub> na raiz), apodrecimento das raízes (TAIZ *et al.*, 2017) e maior infestação por doenças (AGRIOS, 2005).

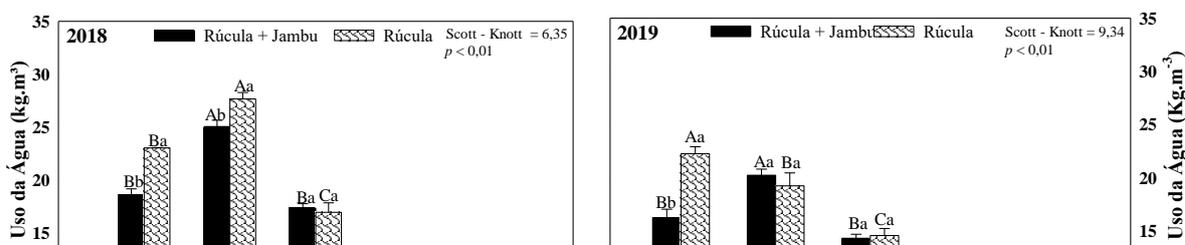
Nesse sentido a contribuição relativa da rúcula à UET, no consórcio para o ano de 2019, foi maior para o ID75 (66,81%), no entanto não houve diferença do IT100 e IE125 que apresentaram CRC 65,43% e 65,08%, respectivamente. Já para as irrigações de déficit ID50 e a de excesso IE150 a contribuição foi menor 57,31% e 61,45%, respectivamente. O que demonstra que os tratamentos de irrigação afetaram a eficiência biológica do sistema.

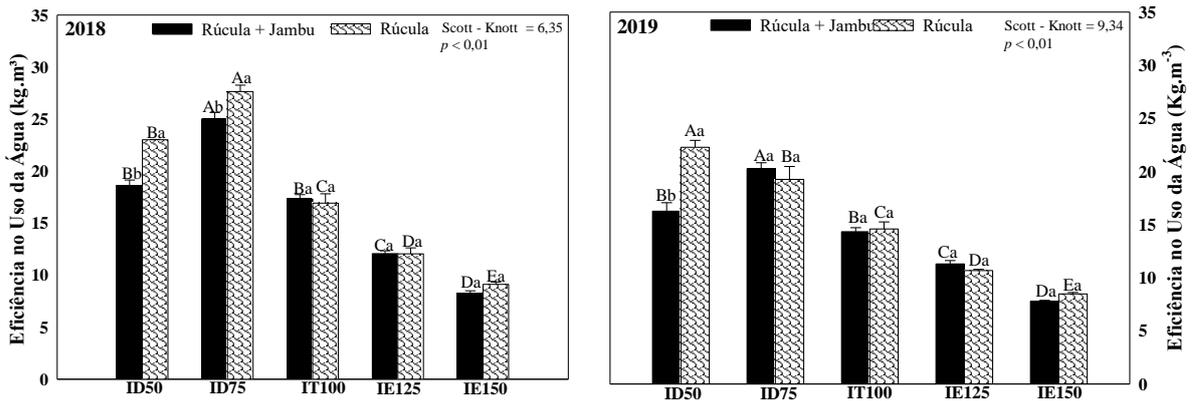
O potencial do consórcio é diretamente influenciado pelo uso complementar dos recursos ambientais pelas espécies, além disso, há influência pela força relativa das interações competitivas intra e interespecíficas entre as culturas inseridas no sistema (REN *et al.*, 2016).

O índice de produtividade do sistema confirma que o consórcio apresenta eficiência biológica e que o ID75 foi superior aos demais tratamentos tanto para o ano de 2018 como para 2019, apresentando, para a cultura principal, produção superior de 4.799,99 kg ha<sup>-1</sup> e 2.978,82 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em comparação as produtividades de seus cultivos solteiros.

### Uso eficiente da água

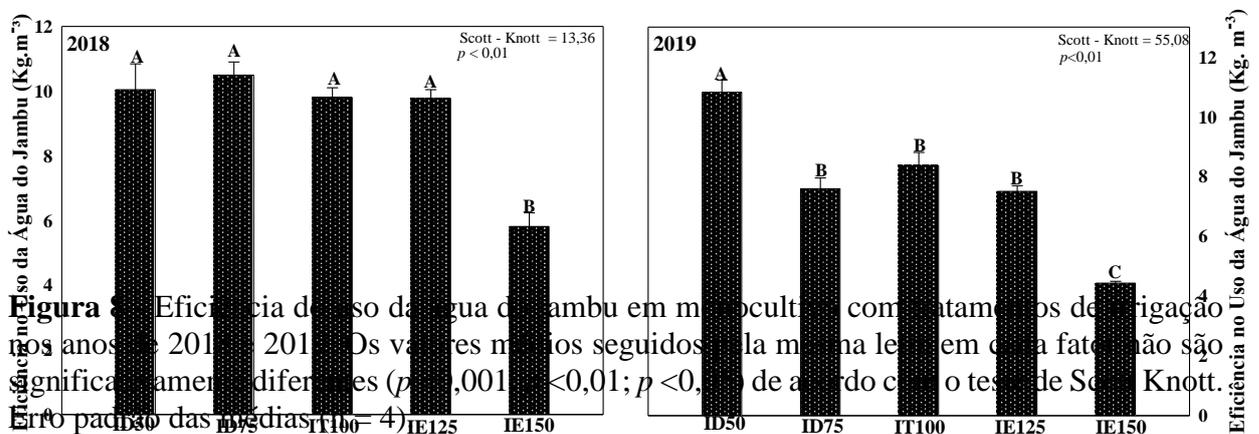
Foram observadas diferenças ( $p < 0,01$ ) entre a irrigação e o sistema de cultivo, bem como suas interações para o uso eficiente da água (EUA) nos dois anos de avaliação, 2018 e 2019. Para a cultura principal não houve diferença na EUA (Figura 7) quanto ao sistema de cultivo avaliado, nos dois experimentos realizados em anos distintos, à exceção de quando foi aplicado o tratamento ID50 e ID75 em 2018 e ID50 em 2019. A irrigação que proporcionou a obtenção de maior eficiência do uso da água no sistema consorciado foi a ID75 (25,03 kg m<sup>-3</sup>) em 2018 e (20,25 kg m<sup>-3</sup>) em 2019, sendo reduzida quando exposta a irrigação de déficit (ID50), total (IT100) e de excesso (IE125 e IE150).





**Figura 7** - Eficiência do uso da água da rúcula em sistema consorciado com jambu e em monocultivo com tratamentos de irrigação, nos anos de 2018 e 2019. Letras maiúsculas comparam as diferentes lâminas de irrigação dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

Para a cultura secundária, o ID75 possibilitou maior EUA, no entanto, não houve diferença quando foi aplicado ID50, IT100 e IE125 ( $p < 0,01$ ) em 2018, enquanto em 2019 o ID50 apresentou maior EUA, no entanto os regimes hídricos ID75, IT100 e IE125 apresentaram comportamento semelhante ( $p < 0,01$ ) (Figura 8).



**Figura 8** - Eficiência do uso da água do jambu em monocultivo com tratamentos de irrigação nos anos de 2018 e 2019. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

Em sistemas consortes com pelo menos duas culturas, com diferentes arquiteturas e dinâmica de crescimento, as culturas envolvidas no sistema podem criar estratégias que transmitam efeitos positivos para a utilização do uso da água no solo, o que pode refletir em efeitos favoráveis na produção de biomassa (MORRIS; GARRITY, 1993). No entanto, os dados obtidos nesta pesquisa mostram que houve uma possível competição entre as culturas, tanto por recursos como por espaço. Tal resultado pode ter ocorrido, principalmente, devido à semelhança na fenologia das espécies. Além disso, outro aspecto que pode ter influenciado nos resultados obtidos foi o arranjo utilizado no cultivo consorciado. Isso porque os resultados demonstram potencial do sistema de cultivo consorciado como funcionalmente diversificado para aumentar a eficiência no uso da água, ou seja, utilizar a mesma quantidade de água para aumentar a produção das culturas. Tal resultado pode ser comprovado pelo melhor desenvolvimento da cultura principal no cultivo consorciado com a irrigação de déficit, 75% da ETc.

## 9 CONCLUSÃO

A combinação rúcula e jambu pode ser considerada promissora para o cultivo em consórcio nas condições de disponibilidade hídrica ID75, se o objetivo for aumentar o rendimento total por área das culturas no sistema consorciado e não de forma isolada.

O consórcio apresenta potencial para aumentar o uso eficiente da água nas condições de clima semiárido, no entanto, estudos futuros devem avaliar variações nas proporções espacial e temporal da rúcula – jambu com irrigação por déficit para determinar os sistemas que proporcionarão aumento na produção de alimentos e minimizarão o gasto com insumos em condições climáticas iguais ou similares a de regiões semiáridas.

## REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. N; **Plant Pathology**, 5 ed, Florida, 2005. 992p.

BAŞER K. H. C. Roka (*Eruca sativa* Mill.), **BağBahçe**, v. 68, p: 26-27, 2016.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019, 545p.

BORGES, L. S.; GUERRERO, A. G.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013a.

BROOKER, R. W.; BENNETT, A. E.; WEN-FENG C.; TIM J. D.; GEORGE, T. S.; HALLETT, P. D. HAWES, C.; IANNETTA, PIETRO P. M.; JONES, HAMLYN G.; KARLEY, A. J.; LI, LONG.; MCKENZIE, BLAIR M. PAKEMAN, ROBIN J.; PATERSON, ERIC. SCHÖB, C.; SHEN, J.; SQUIRE, G.; WATSON, C. A.; ZHANG, C.; ZHANG, F.; ZHANG, J.; WHITE. P. J. Improving intercropping a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, v. 206, p.107-117, 2015.

CAMPOS, E. V. R.; PROENÇA, P. L. F.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: future perspectives. **Ecological Indicators**, v. 87, p.1-13, 2018.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação (Conceitos básicos e práticos)**. Embrapa, Petrolina, PE, 2001.

CHEPKEMOI, J.; ONWONGA, R. N.; KARUKU, G. N.; KATHUMO, V. M. Efficiency and interactive effects of tillage practices, cropping systems and organic inputs on soil moisture retention in semi-arid Yatta sub-county, Kenya. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, v.3, p.145-156, 2014.

FAN, Z.; AN, T.; WU, K.; ZHOU, F.; ZHOU, F.; ZI, S.; YANG, Y.; XUE, G.; WU, B. Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. **Agricultural Water Management**, v.166, p. 9-16, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Rome, 2017, p.180.

FERREIRA, D. F. 2011. **SISVAR - Sistemas de análises estatísticas**. Versão 5.3. Lavras: Departamento de Ciências Exatas, UFLA.

GAO, Y.; DUAN, A.; SUN, J.; LI, F.; LIU, Z.; LIU, H.; LIU, Z. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip Intercropping. **Field Crops Research**, v.111, p. 65-73, 2009.

GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen)**. **Características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. EDUFRA, 1ª ed., 2013, 135 p.

HENDGES, A. R. A. A.; GUIMARÃES, M. A.; SILVA, J. C. V.; LIMA NETO, B. P. . Agronomic performance and biological efficiency of kale intercropped with spice species. **Revista Caatinga** , v. 32, p. 7-15, 2019.

HOAGLAND, D. R; ARNON. The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experiment Station**, Circular. 347, 1938.

JAHANSOOZ, M. R.; YUNUSA, I. A. M; COVENTRY, D. R.; PALMER, A. R; AMUS, D. Radiation and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. **European Journal of Agronomy**, v.26, p 275-282, 2007.

KESSTRA, S.; NUNES. J.; NOVARA, A.; FINGERE, D.; DAVID.; ZAHRA, K.; CERDÀH, A. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of The Total Environment**, v.610, p.997-1009, 2018.

KOEFENDER, J.; SCHOFFEL, A.; MANFIO, C. E.; GOLLE, D. P.; SILVA, A. N.; HORN, R. C. Consorciação entre alface e cebola em diferentes espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 580-583, 2016.

KOOCHEKE, A.; MOGHADDAM, P. R.; SEYYEDI, S.M. Saffron-pumpkin/ Watermelon: A clean and sustainable strategy for increasing economic land equivalent ratio under limited irrigation, **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p.1327-1338, 2019.

LI, L.; TILMAN, D.; LAMBERS, H.; ZHANG, F. S. Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. **New Phytologist**, v.203, p.63-69, 2014.

LI, L.; ZHANG, L.; ZHANG, F. Crop mixtures and the mechanisms of overyielding. **Encyclopedia of Biodiversity**, v. 2, p. 382-395, 2013.

LI, L.; LI, S. M.; SUN, J. H.; ZHOU, L. L.; BAO, X. G.; ZHANG, H. G.; ZHANG, F. S. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 27, p. 11192-11196, 2007.

LI, L.; YANG, S.; LI, X.; ZHANG, E.; CHRISTIE, P. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. **Plant Soil**, v. 212, p. 105-114, 1999.

MACÊDO, M. L.; COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do cajueiro-anão precoce na agricultura familiar. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 55-71, 2018.

MOTA, J. H.; VIEIRA, M. C.; CARDOSO, C. A. L. Alface e jateikaá em cultivo solteiro e consorciado: Produção e atividade antioxidante. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 551-557, 2010.

MORRIS, R. A.; GARRITY, D. P. Resource capture and utilization in intercropping: water. **Field Crops Research**, v.34, p.303-317, 1993.

MOUSAVI S. R.; ESKANDARI, H. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. **Journal of Applied Environmental and Biological Sciences**. v. 1, p. 482-486, 2011.

MUSHAGALUSA, G. N.; LEDENT, J. F.; DRAYE, X. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, p.180-188, 2008.

NAMOI, N. L.; ONWONGA, R. N.; KARUKU, G. N.; ONYANGO, C. M.; KATHUMO, V. M. Influence of selected ecological farming practices on soil moisture retention and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench and cassava (*Manihot esculanta* Crantz) in semi-arid Yatta sub-county, Kenya. **Journal Agricultural Science**, v. 6, p. 214-231, 2014.

NING, C.; QU, J.; HE, L.; YANG, R.; CHEN, Q.; LUO, S.; CAI, K. Improvement of yield, pest control and Si nutrition of rice by rice-water spinach intercropping. **Field Crop**, v. 208, 34-43, 2017.

ODO, P. E. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the sudan savana of Nigeria: land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. **Experimental Agriculture**, v. 27, n.4, p.435-441, 1991.

PRACHAYASITTUKAL, V.; PRACHAYASITTUKAL, S.; RUCHIWARAT, S.; PRACHAYASITTUKAL, V. High therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: a review. **Experimental and clinical Science Journal**, v. 12, p. 291-312, 2013.

RAO, B.R.R. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium species*) as influenced by row spacings and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L.f. *piperascens* Malinv. ex Holmes). **Industrial Crops and Products**, v. 16, n. 2, p. 133-144, 2002.

REN Y.; LIU J.; WANG Z.; ZHANG, S. Planting density and sowing proportions of maize-soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p.70-79, 2016.

RODRÍGUEZ-CALZADA, T.; QIAN, M.; STRID, A.; NEUGART, S.; SCHREINER, M.; TORRES-PACHECO, I.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R.G. Effects of UV-B radiation on morphology, phenolic compound production, gene expression, and subsequent drought stress responses in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 134, p.94-102, 2019.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, Agriculture Handbook, n. 60, 2012, 159p.

SANTANA, M. J. DE.; MANCIN, C. A.; RIBEIRO, A. A.; Evapotranspiração e coeficientes de cultura para o alface e a rúcula cultivadas em Uberaba-MG. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, p. 7-13, ano 2, n. 2, 2016.

SANTANA, M. J.; VIEIRA, T. A.; BARRETO, A. C. Efeito dos níveis de reposição de água no solo na produtividade do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.1378-1384, 2009.

SANTOS, E. R.; GENTIL, D. F. O. Propagação de jambu por estaquia. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p.26-32, 2015.

SILVA, F. V.; DUARTE, S. N.; LIMA, C. J. G. S.; DIAS, N. S. SANTOS, R. S. S.; Medeiros, P. R. F. Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina, **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.476-482, 2013.

SOUZA, J. P.; MACEDO, M. A. S. Análise de viabilidade agroeconômica de sistemas orgânicos de produção consorciada. **ABCustos Associação Brasileira de Custos**, v.2, p.57-78, 2007.

SCHAAP, M. G. Rosetta (versão 1.1), **US Salinity Laboratory**, USDA, ARS: Riverside, CA, USA. 2003.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, M. I; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**. [S. l.]: Artmed editora, 2017.

WILLEY, R. W. Intercropping: its importance and research needs. Part 1: Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n.1, p.1-10, 1979.

XINCHUN, C.; MENGYAN, W.; XIANGPING, G.; YALIAN, Z.; YAN, G.; NAN, W.; WEIGUANG, W. Assessing water scarcity in agricultural production system based on generalized water resources and water footprint framework. **Science of the Total Environment**, v. 609, p.587-597, 2017.

ZENG, L.; LIN, X, ZHOU, F.; QIN, J.; LI, H. Biochar and crushed straw additions affect cadmium absorption in cassava-peanut intercropping system. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 167, p. 520-530, 2019.

ZHANG, W. P.; LIU, G. C.; SUN, J. H.; FORNARA, D.; ZHANG, LI. Z.; ZHANG, F. F.; LI, L. Temporal dynamics of nutrient uptake by neighbouring plant species: evidence from intercropping. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 469-479, 2016.

SANTOS, E. R.; GENTIL, D. F. O. Propagação de jambu por estaquia. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p.26-32, 2015.

SILVA, F. V.; DUARTE, S. N.; LIMA, C. J. G. S.; DIAS, N. S. SANTOS, R. S. S.; Medeiros, P. R. F. Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina, **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.476-482, 2013.

SOUZA, J. P.; MACEDO, M. A. S. Análise de viabilidade agroeconômica de sistemas orgânicos de produção consorciada. **ABCustos Associação Brasileira de Custos**, v.2, p.57-78, 2007.

SCHAAP, M. G. Rosetta (versão 1.1), **US Salinity Laboratory**, USDA, ARS: Riverside, CA, USA. 2003.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, M. I; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**. [S. l.]: Artmed editora, 2017.

WILLEY, R. W. Intercropping: its importance and research needs. Part 1: Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n.1, p.1-10, 1979.

XINCHUN, C.; MENGYAN, W.; XIANGPING, G.; YALIAN, Z.; YAN, G.; NAN, W.; WEIGUANG, W. Assessing water scarcity in agricultural production system based on generalized water resources and water footprint framework. **Science of the Total Environment**, v. 609, p.587-597, 2017.

ZENG, L.; LIN, X, ZHOU, F.; QIN, J.; LI, H. Biochar and crushed straw additions affect cádmium absorption in cassava-peanut intercropping syste. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 167, p. 520-530, 2019.

ZHANG, W. P.; LIU, G. C.; SUN, J. H.; FORNARA, D.; ZHANG, LI. Z.; ZHANG, F. F.; LI, L. Temporal dynamics of nutrient uptake by neighbouring plant species: evidence from intercropping. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 469-479, 2016.

## **10 CAPITULO II: Desempenho fisiológica da consorciação rúcula-jambu combinada com diferentes lâminas de irrigação em condições semiárida**

**Resumo:** São poucos os estudos que detalham a dinâmica e a interação dos aspectos fisiológicos entre espécies de plantas. Também não há muitos estudos que abordem como a disponibilidade de recursos ambientais pode modificar ou interferir na variabilidade das respostas fisiológicas e minimizar os efeitos deletérios causado por condições de estresse nas plantas, aumentando a eficiência da utilização desses recursos em região semiárida. Dentro

deste contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho fisiológico, rendimento e a dinâmica de competição da rúcula (*Eruca sativa* Mill) e do jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen), sob sistema consorciado e solteiro em regimes hídricos na região semiárida do Brasil. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu no município de Pentecoste, Estado do Ceará, em 2018 e 2019. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo de parcelas subdivididas. Foram conduzidos vinte tratamentos  $(2 + 1 + 1) \times 5$  e quatro repetições. As parcelas foram constituídas de tratamentos de irrigação, ID50: Irrigação de déficit com 50% da Evapotranspiração da cultura (ETc); ID75: Irrigação de déficit com 75% da ETc; IT100: Irrigação Total com 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso com 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso com 150% da ETc. As subparcelas foram formadas por rúcula e jambu consorciado, rúcula em monocultivo e jambu em monocultivo. Foram avaliadas trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, área foliar, anatomia estomática, rendimento total, índice de colheita, habilidade competitiva entre as culturas e rendimento relativo do consórcio. Os resultados indicaram a obtenção de maiores valores para trocas gasosas, área foliar, índice de área foliar, número de estômatos, área de abertura estomática na superfície abaxial e adaxial, bem como de pigmentos fotossintéticos para as plantas de rúcula quando cultivada em consórcio com o jambu. Quanto ao jambu, seus melhores resultados para as características fisiológicas foram obtidos para as plantas conduzidas em monocultivo. O rendimento e o índice de colheita tanto da rúcula quanto do jambu foram maiores no cultivo solteiro. Os melhores resultados foram alcançados com a irrigação ID75 para a rúcula e IT100 e IE125 para o jambu. A rúcula foi a cultura dominante e o jambu a dominada. O rendimento relativo da rúcula consorciada nos dois anos indicou valores médios de 1,56 e 1,61 em 2018 e 2019, respectivamente, e para o jambu foi 0,88 e 0,93. O ganho substancial da rúcula compensou a perda de rendimento do jambu. Com base no exposto, conclui-se que a combinação rúcula-jambu é promissora para o cultivo em consórcio em condição de escassez hídrica.

**Palavras-chave:** *Acmella oleracea*; Dinâmica de competição; *Eruca sativa* Mill; Trocas gasosas. Uso eficiente da água.

## 11 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve crescimento na produção de hortaliças. Tal aumento se deveu, principalmente, ao fato da população estar cada vez mais buscando uma vida saudável através de uma alimentação mais nutritiva e balanceada (MOGHBELI *et al.*, 2018).

Esse aumento na procura por hortaliças tem pressionado o setor hortícola a produzir cada vez mais, o que tem tornado necessário o desenvolvimento de sistemas de cultivo que possibilitem maior equilíbrio ecológico e eficiência na utilização dos recursos produtivos disponíveis. Dentre os sistemas de cultivo que possibilitam as características até então elencadas, a consorciação de culturas merece destaque. Cultivos consorciados têm se apresentado como uma alternativa sustentável e agroeconomicamente viável (VIANA *et al.*, 2021). Além disso, proporcionam diversidade biológica, proteção da terra e melhores condições no uso do solo (MOGHBELI *et al.*, 2018).

O consórcio é, por definição, todo o cultivo em que duas ou mais espécies de plantas são produzidas em uma mesma área e de forma intercalada, entre ou dentro de linhas de cultivo.

Nestas condições de crescimento e desenvolvimento as diferentes espécies de plantas, combinadas podem compartilhar ou competir por recursos como nutrientes, luz e água (CHEN *et al.*, 2015).

De modo geral, a água se apresenta como um dos fatores mais limitantes para a produção agrícola em regiões semiáridas. Essas regiões apresentam condições climáticas que não favorecem o desenvolvimento das plantas, como seca e, também, temperatura e demanda evaporativa elevadas. Quando submetidas a tais condições, as plantas estarão sujeitas a estresse, principalmente devido à escassez hídrica em seu sistema radicular e ao aumento da taxa evapotranspirativa das culturas (NUNES JÚNIOR *et al.*, 2017).

Entre as alternativas para amenizar os efeitos prejudiciais do estresse hídrico nas plantas, está a capacidade delas em se adaptarem a ambientes adversos. Sendo assim, faz-se necessário entender como se dará essa forma de adaptação e, também, como ocorrerá a relação planta-ambiente nesses ecossistemas (GUIMARÃES *et al.*, 2011). Em situações de restrição hídrica no solo, a planta possui mecanismos adaptativos como a habilidade de diminuir seu potencial hídrico, sendo este combinado com possíveis adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas (FERNANDES *et al.*, 2015). Os vegetais podem apresentar diferentes mecanismos para a manutenção de sua homeostase hídrica, um deles é o fechamento de estômatos, com o intuito de minimizar a perda de água na planta (CHAVES *et al.*, 2009). Quando ocorre o fechamento estomático na planta, de forma geral, a estratégia é tentar conservar, ao máximo, o índice de água no vegetal, reduzindo, assim, a probabilidade de sua desidratação e morte por dessecação (FERNANDES *et al.*, 2015).

O monitoramento das trocas gasosas, através do controle estomático, é considerado um processo difícil. De forma geral, as plantas ficam entre a redução da assimilação de CO<sub>2</sub>, pelo fechamento do estômato, e a perda de água pela abertura estomática. Ambos são prejudiciais para o desenvolvimento da planta que, contudo, tende sempre a regular esses processos para favorecer a taxa fotossintética. Dessa forma, quando há limitação estomática ocorre diminuição no influxo de CO<sub>2</sub> em direção ao sítio de carboxilação, sendo este o principal aspecto para que ocorra diminuição na atividade fotossintética. Quanto menor for a abertura do estômato, menor será a absorção de CO<sub>2</sub> e menor a quantidade de gás carbônico na câmara subestomática (ALINIAEIFARD *et al.*, 2016). No entanto, a quantidade de trocas gasosas realizadas pela planta, não ocorre apenas em função do nível de abertura de seus estômatos, mas também pela quantidade destes na epiderme da folha (WANG *et al.*, 2016).

Sendo assim, para se entender as trocas gasosas realizadas pelas plantas através de seus estômatos, frente às mudanças ambientais, faz-se necessário compreender alguns

parâmetros quantitativos importantes como a área foliar, a densidade de estômatos e a área de abertura estomática disponível no vegetal (PANDEY *et al.*, 2007).

Alguns estudos indicam que há impacto na fisiologia das culturas cultivadas em sistemas de consórcio combinada com uso de água (TANAKA *et al.*, 2008; MAKOI *et al.*, 2010). No entanto, tais estudos envolveram consorciação e irrigação total (FAN *et al.*, 2018), mas sem averiguar se a maior cobertura do solo, ocasionada pelo sombreamento vegetal, poderia, de alguma forma, aumentar a eficiência de seu uso pelo cultivo.

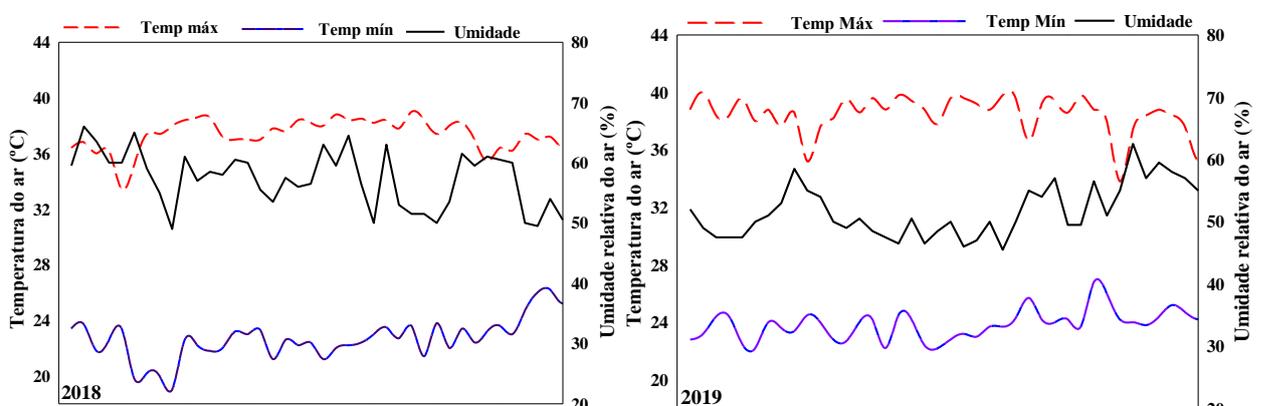
Estudo sobre o efeito do consórcio de rúcula e jambu nas características fisiológicas de plantas sobre condição de estresse hídrico ainda não foi relatado. Além disso são poucos os trabalhos sobre a dinâmica e a interação entre essas espécies. O que se sabe é que a disponibilidade de recursos pode modificar ou interferir na variabilidade dessas respostas e minimizar os efeitos deletérios causado por essa condição, o que pode possibilitar o aumento na eficiência da utilização dos recursos ambientais na região semiárida (FAN *et al.*, 2020).

Diante disso, faz-se necessário o uso de técnicas que melhorem a eficácia na utilização da água, para o cultivo em região semiárida. Sendo assim, a finalidade desse trabalho foi avaliar os parâmetros fisiológicos, o rendimento e a dinâmica de competição da rúcula em consórcio com jambu sob regimes hídricos em região semiárida.

## 12 MATERIAL E MÉTODOS

### 12.1 Área de estudo

O estudo foi realizado durante os meses de setembro a novembro de 2018 e 2019 na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Pentecoste, semiárido do Ceará, Brasil, com coordenadas geográficas 3°48'35.86" de latitude sul e 39°19'31.55" de longitude oeste e altitude de 34 m. De acordo com a classificação de Köppen (1931), o clima do local é caracterizado como BSw'h' (quente e semiárido, com chuvas irregulares). Os dados de umidade e temperatura do ar encontram-se na Figura 1.



**Figura 1-** Temperaturas máxima (tmáx) e mínima (tmin) em °C e umidade relativa do ar em %, no período experimental em 2018 e 2019.

As características físico-químicas do solo do local, em 2018, foram: pH: 6,8; P: 48 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>: 420 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 4,70 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 4,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Fe: 161,2 mg dm<sup>-3</sup>; Cu: 0,9 mg dm<sup>-3</sup>; B: 0,6 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 5,5 mg dm<sup>-3</sup>; Mn: 156,4 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al: 0,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB: 9,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (t): 11,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (T): 10,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; MO: 4,45 dag kg<sup>-1</sup>; pH: 7,2; V: 91%; m: 1,0 %; CE: 0,16 dS m<sup>-1</sup>; Areia grossa: 20,5 g kg<sup>-1</sup>; Areia Fina: 515,5 g kg<sup>-1</sup>; Silte: 300 g kg<sup>-1</sup>; Argila: 164 g kg<sup>-1</sup>; Argila natural: 131 g kg<sup>-1</sup>; Textura: Franco arenosa.

Já em 2019, foram: pH: 7,2; P: 110,40 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>: 460 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 6,86 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 3,51 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Fe: 161,2 mg dm<sup>-3</sup>; Cu: 0,9 mg dm<sup>-3</sup>; B: 0,6 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 5,5 mg dm<sup>-3</sup>; Mn: 156,4 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>: 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al: 0,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB: 11,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (t): 11,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (T): 12,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; MO: 3,9 dag kg<sup>-1</sup>; pH: 7,2; V: 92.1%; m: 0,0 %; CE: 0,16 dS m<sup>-1</sup>; Areia grossa: 20,5 g kg<sup>-1</sup>; Areia Fina: 515,5 g kg<sup>-1</sup>; Silte: 300 g kg<sup>-1</sup>; Argila: 164 g kg<sup>-1</sup>; Argila natural: 131 g kg<sup>-1</sup>; Textura: Franco arenosa. Capacidade de campo: 0,361 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>); Ponto de murcha permanente: 0,0545 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>); condutividade hidráulica do solo saturado: 9,5 (mm h<sup>-1</sup>) e densidade do solo: 1,32 (g cm<sup>-3</sup>) (SCHAAP, 2003).

A água utilizada para a irrigação em ambos os anos foi classificada como C3S1, tendo apresentado, em média, as seguintes características de qualidade: pH: 6,80; CE: 0,75 dS m<sup>-1</sup>; RAS: 1,60; Ca<sup>2+</sup>: 2,0 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 2,60 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Na<sup>+</sup>: 3,4 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup> 0,2 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Cl<sup>-</sup> 7,8 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> (RICHARDS, 2012).

Com base nos resultados obtidos para a análise de água, pode-se verificar que para a cultura da rúcula e do jambu, os valores de RAS e pH da água foram considerados normais segundo Cordeiro (2001). A condutividade elétrica apresentou valor de salinidade aceitável, em termos de tolerância. A salinidade máxima tolerada pela rúcula é de 2,75 dS m<sup>-1</sup> (SILVA *et al.*, 2013) e de 3,3 dS m<sup>-1</sup> para o jambu (HOAGLAND; ARNON, 1938), sendo ambas as culturas classificadas como moderadamente sensíveis.

## 12.2 Delineamento experimental e condição do experimento

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo de parcelas subdivididas, com vinte tratamentos (2 + 1 + 1) x 5 com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de cinco tratamentos de irrigação, ID50: Irrigação de déficit, 50% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>); ID75: Irrigação de déficit, 75% da ET<sub>c</sub>; IT100: Irrigação Total, 100% da ET<sub>c</sub>; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ET<sub>c</sub>; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ET<sub>c</sub> e as subparcelas constituídas por sistemas de cultivo de rúcula e jambu: Rúcula/Jambu consorciado, Rúcula em monocultivo e Jambu em monocultivo.

A parcela experimental teve área de 8,4 m<sup>2</sup> (1,0 x 8,4 m) com área útil de 1,68 m<sup>2</sup> (42 plantas). Já as subparcelas, 2,8 m<sup>2</sup> (1,0 x 2,8 m) com área útil de 0,56 m<sup>2</sup> (14 plantas). Nos cultivos solteiros e consorciado os espaçamentos foram de 0,2 m entre plantas e 0,2 m entre linhas de cultivo.

Foram utilizadas sementes de rúcula (*Eruca sativa* Mill) ‘Folha Larga’ (Topseed Garden). As sementes do jambu (*Acmella oleracea*) utilizadas foram da variedade de flor roxa. Essas sementes foram obtidas na principal região produtora do estado do Pará que apresenta como coordenadas geográficas 1° 27' 31" de latitude sul e 48° 26' 04.5" de longitude oeste.

As mudas de rúcula e jambu foram produzidas em bandejas de polietileno rígido de 200 células com volume de 18 cm<sup>3</sup> por célula. Estas foram preenchidas com substrato contendo 90% de húmus de minhoca e 10% de vermiculita. Após a semeadura, as bandejas foram alocadas em abrigo coberto com sombrite 30% onde permaneceram até apresentarem de 3 a 4 folhas definitivas. Após esse período as mudas foram transplantadas para o campo.

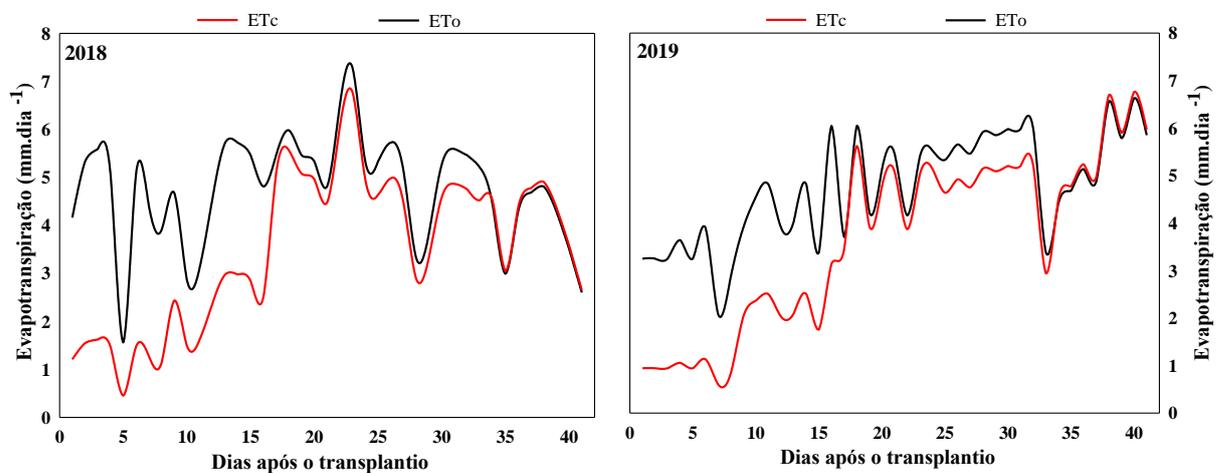
Para a irrigação foi utilizado o sistema do tipo gotejamento com fita gotejadora de 16 mm de diâmetro e emissores espaçados a cada 0,3 m com vazão nominal de 1,6 L h<sup>-1</sup>, pressão de serviço de 10 mca, de modo a formar uma faixa molhada. A aplicação de água à cultura foi realizada diariamente às 08:00 h e 16:00 h.

## 12.3 Determinação da evapotranspiração da cultura

A determinação da necessidade hídrica das culturas foi realizada através da determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) com medições realizadas por leituras da evaporação medida no tanque classe “A” (ECA) com distância de 1500 m da área do experimento na fazenda experimental Vale do Curu – FEVC. O coeficiente do tanque (K<sub>t</sub>) foi proposto por Bernardo *et al.* (2019).

O valor da evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtido pelo produto do valor da ETo e coeficiente da cultura (Kc). O Kc utilizado para o cálculo foi o da cultura principal, rúcula, em função dos dias após o transplante, 0-8, 9-16, 17-24, 25-33 e 34-40 dias, tendo-se obtido os seguintes valores de Kc 0,29; 0,52; 0,93; 0,87 e 1,02, respectivamente, conforme Santana *et al.* (2016).

A evapotranspiração de referência média no município de Pentecoste/Ceará é 7,56 mm dia<sup>-1</sup> (MACÊDO *et al.*, 2013). Os valores diários da evapotranspiração de referência (ETo) e da evapotranspiração da cultura (ETc) determinados ao longo do ciclo de cultivo das culturas e de acordo com dados coletados no tanque classe A estão apresentados na Figura 2.



**Figura 2-** Evapotranspiração de referência (ETo) e Evapotranspiração da cultura (ETc) determinados ao longo do ciclo das culturas nos anos de desenvolvimento das pesquisas de campo em 2018 e 2019.

A evapotranspiração diária da cultura nas duas épocas variou de 0,6 a 6,7 mm dia<sup>-1</sup> durante o desenvolvimento da cultura, apresentando pico máximo próximo a colheita, ou seja, aos 40 DAT.

O tempo de aplicação da água na irrigação foi calculado conforme a equação de Bernardo *et al.* (2019):

$$Ti = \frac{ETc \times Se \times Sf \times FL \times 60}{NEP \times Ea \times qa}$$

Ti: Tempo de irrigação (minutos); ETc: Evapotranspiração localizada da cultura (mm dia<sup>-1</sup>); Se: Espaçamento entre emissores (metros); Sf: Espaçamento entre linhas laterais (metros); FL:

Porcentagem da lâmina definida pelo tratamento (%); NEP: Número emissores por plantas; Ea: Eficiência de aplicação (95%) e qa: Vazão média de cada emissor ( $L h^{-1}$ ).

#### **12.4 Rendimento Total e Índice de Colheita**

O rendimento final ( $t ha^{-1}$ ) foi determinado a partir da produção de massa fresca das folhas e caule da rúcula e massa fresca das folhas, caule e inflorescências do jambu por unidade de área.

O índice de colheita foi calculado utilizando-se a proporção da massa fresca acima do solo sobre a massa total da planta.

#### **12.5 Trocas gasosas**

Foram avaliados os aspectos fisiológicos de ambas as culturas com auxílio de um analisador de gás por infravermelho (IRGA) Infra Red Gas Analyzer, modelo LI6400XT (LICOR). Para isso foram utilizadas folhas definitivas totalmente desenvolvidas, sendo as seguintes características fisiológicas avaliadas: a) Concentração interna de gás carbônico ( $C_i - \mu mol mol^{-1}$ ); b) Taxa de transpiração foliar ( $E - mmol m^{-2} s^{-1}$ ); c) Condutância estomática ( $g_s - mol m^{-2} s^{-1}$ ); d) Taxa fotossintética líquida ( $A - \mu mol m^{-2} s^{-1}$ ); e) Razão entre as concentrações de gás carbônico interno e do ambiente ( $C_i/C_a$ ); f) Eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ); g) Eficiência instantânea do uso da água ( $A/E$ ) e Temperatura da folha ( $^{\circ}C$ ).

#### **12.6 Área foliar**

Para medições da área foliar procedeu-se, primeiramente, com a coleta das folhas em campo, sendo estas imediatamente acondicionadas em sacos plásticos umedecidos e, após, alocadas dentro de caixas de isopor para evitar o murchamento. Em seguida os materiais foram encaminhados ao laboratório no Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará.

A área foliar de cada planta foi determinada utilizando um integrador de área foliar, modelo LI-3100 da Licor. Através dos dados calculou-se o índice de área foliar ( $IAF = AF/p$ ), dada pela área foliar em relação a área projetada sobre a superfície do terreno por planta, sendo expressa pela área foliar ( $m^2$ ) sobre o espaçamento da cultura ( $m^2$ ).

#### **12.7 Anatomia estomática**

Para analisar os traços estomatais, plantas de cada tratamento foram selecionadas aleatoriamente e destrutivamente coletadas 3 folhas por planta, sendo armazenadas em geladeira a  $-8^{\circ}\text{C}$ , em recipiente contendo solução na proporção de 18:1:1 de álcool, ácido acético glacial e formaldeído, respectivamente, aos 70 dias após a semeadura.

Porções da epiderme foram removidas do meio da folha com auxílio de lâmina de barbear. Para preparar a lâmina foi utilizada a técnica de *imprint*, sendo aplicada base cosmética na lâmina e, após, a folha foi pressionada contra a base. As lâminas foram analisadas no microscópio Olympus BX41, a área observada em todas as amostras foi de  $0,45\text{ mm}^2$ .

As imagens foram capturadas em câmera Olympus UC30 e, o comprimento do poro estomatal nas superfícies abaxial e adaxial ( $\mu\text{m}$ ) e números de estômatos abaxial e adaxial, foram medidas usando o software cellSens Entry (Olympus Inc., Japão). Cada uma das folhas coletadas foi cortada, sendo observados três cortes em cada. Foram medidos sete estômatos por corte/folha/face/tratamento em quatro repetições.

### 12.8 Pigmentos fotossintéticos

Os teores das clorofilas 'a', 'b' e *carotenoides* foram determinados pelo método de Wellburn (1994). Para essa etapa foram retirados três discos medindo  $1,0\text{ cm}$  de diâmetro da terceira folha totalmente expandida na planta. Após, foram alocados em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio contendo  $2\text{ mL}$  de solução de dimetilsulfóxido (DMSO) saturada com carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Nesta solução, os discos permaneceram durante toda a análise. Na sequência, as amostras foram incubadas a  $65^{\circ}\text{C}$  por 30 minutos. Ao atingir a temperatura ambiente, os discos foram retirados e o extrato contendo os pigmentos foram utilizados para a determinação das absorvâncias em espectrofotômetro. Os teores de clorofila 'a' (Ca), clorofila 'b' (Cb) e carotenóides foram calculados com base nas seguintes equações:  $\text{Ca} = (12,47 \times \text{Ax}) - (3,62 \times \text{Ay})$ ;  $\text{Cb} = (25,06 \times \text{Ay}) - (6,5 \times \text{Ax})$ ;  $\text{Ct} = (7,15 \times \text{Ax}) + (18,71 \times \text{Ay})$ ;  $\text{Carotenóides} = (1000 \times \text{Az} - 1,29 \times \text{Ca} - 53,78 \times \text{Cb}) / 220$ , em que A representa a absorvância em um respectivo comprimento de onda. Após a leitura, os discos foram lavados para retirada do excesso de DMSO e, em seguida, levados a estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  para a obtenção do peso seco. O resultado final foi expresso em  $\text{mg g}^{-1}$  de massa seca.

### 12.9 Dinâmica entre as culturas componentes

Para avaliar a habilidade competitiva entre as espécies foi analisado o índice de superação, razão da compensação e índice de razão competitiva.

O índice de superação (IS) é uma ferramenta importante para determinar a habilidade de uma cultura sobre a outra. O cálculo foi sugerido por Mcgilchrist e Trenbath (1971):

$$IS_{rj} = \frac{Y_{rj}}{Y_{rr} \cdot Z_{rj}} - \frac{Y_{jr}}{Y_{jj} \cdot Z_{jr}}$$

$$IS_{jr} = \frac{Y_{jr}}{Y_{jj} \cdot Z_{jr}} - \frac{Y_{rj}}{Y_{rr} \cdot Z_{rj}}$$

$IS_{rj}$ : é o índice de superação da rúcula em consórcio com o jambu;  $IS_{jr}$ : índice de superação do jambu em consórcio com a rúcula;  $Y_{rj}$ : rendimento da rúcula em consórcio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{jr}$ : rendimento do jambu em consórcio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{rr}$ : rendimento da rúcula em monocultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{jj}$ : rendimento do jambu em monocultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Z_{rj}$ : proporção de plantio da rúcula em consórcio com o jambu;  $Z_{jr}$ : proporção de plantio do jambu em consórcio com a rúcula.

Esse índice indica o quanto uma cultura, em sistema consorciado, foi superior, em produtividade, a outra. Se  $IS = 0$ , as culturas são igualmente competitivas; para  $IS_{rj} > 0$ , há habilidade competitiva da rúcula sobre o jambu no sistema consorciado, ou seja, a rúcula é dominante e jambu dominado; e para  $IS_{jr} > 0$ , há habilidade competitiva do jambu no sistema consorciado, ou seja, jambu é dominante e a rúcula é dominada (CECÍLIO FILHO *et al.*, 2017; DUTRA *et al.*, 2015).

A razão da compensação (RCo) mostra o quanto a produção da cultura secundária pode compensar e contrabalancear as perdas obtidas pela cultura principal ao ser colocada na mesma área, estabelecendo uma relação de compensação ou de perda. Esta razão é calculada de acordo com Ntare e Williams (1992):

$$RC_{orj} = \frac{Y_{rj}}{Y_{jj} - Y_{jr}}$$

$$RC_{ojr} = \frac{Y_{jr}}{Y_{rr} - Y_{rj}}$$

$RC_{orj}$ : razão de compensação da rúcula em consórcio;  $RC_{ojr}$ : razão de compensação do jambu em consórcio;  $Y_{rj}$ : rendimento da rúcula em sistema de consórcio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{jr}$ : rendimento do jambu em sistema de consórcio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{rr}$ : rendimento do monocultivo de rúcula ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e  $Y_{jj}$ : rendimento do monocultivo de jambu ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

O efeito competitivo de uma cultura sobre a outra pode ser balanceado pelo ganho substancial adquirido no consórcio. Quando  $RC_{orj} > 1$ , indica que o efeito competitivo da rúcula sobre o jambu será balanceado pelo ganho substancial da rúcula. Já para  $RC_{orj} = 1$  sugere que a perda do rendimento do jambu em sistema consorciado com a rúcula será igual ao

rendimento da rúcula em sistema consorciado com o jambu. Quando  $RC_{orj} < 1$  sugere que a produção do jambu em sistema consorciado com a rúcula será superior ao do seu monocultivo, não havendo necessidade de compensação (NTARE; WILLIAMS, 2001). Quando  $RC_{ojr} > 1$ , o efeito competitivo do jambu sobre a rúcula será balanceado pelo ganho substancial do jambu. Enquanto  $RC_{ojr} < 1$  indica que o rendimento da rúcula no consórcio com jambu foi superior ao seu monocultivo, não havendo necessidade de compensação (HENGDES *et al.*, 2017). O rendimento das culturas foi estimado com base nas massas frescas das folhas de padrão comercial de rúcula e parte aérea do jambu.

O índice de Razão Competitiva (IRC) foi obtido a partir das taxas de competição da rúcula e do jambu de acordo com Eskandari e Ghanbari (2010).

$$IRC_r = \left( \frac{Y_{rj}}{Y_{rr}} \right) \cdot \frac{Z_{jr}}{Z_{rj}}$$

$$IRC_j = \left( \frac{Y_{jr}}{Y_{jj}} \right) \cdot \frac{Z_{rj}}{Z_{jr}}$$

IRC<sub>r</sub>: Índice de razão competitiva da rúcula; IRC<sub>j</sub>: Índice de razão competitiva do jambu; Y<sub>rj</sub>: produtividade comercial da rúcula em consórcio (kg ha<sup>-1</sup>); Y<sub>jr</sub>: produtividade comercial do jambu em consórcio (kg ha<sup>-1</sup>); Y<sub>rr</sub>: produtividade comercial da rúcula em monocultivo (kg ha<sup>-1</sup>); Y<sub>jj</sub>: produtividade comercial do jambu em monocultivo (kg ha<sup>-1</sup>); Z<sub>rj</sub>: proporção de plantio de rúcula em sistema de consórcio; Z<sub>jr</sub>: proporção de plantio do jambu em sistema de consórcio.

O valor da razão obtida fornece o grau exato da competição, indicando o número de vezes em que a espécie dominante é mais competitiva que a dominada.

O rendimento relativo foi analisado comparando a produção no consórcio e a produção no monocultivo, considerando a proporção do uso da terra de acordo com Xu *et al.* (2008).

$$RR_r = \left( \frac{Y_{rj}}{Y_{rr} * Z_{rj}} \right)$$

$$RR_j = \left( \frac{Y_{jr}}{Y_{jj} * Z_{jr}} \right)$$

RR<sub>r</sub>: Rendimento relativo da rúcula; RR<sub>j</sub>: Rendimento relativo do jambu; Y<sub>rj</sub>: rendimento comercial da rúcula em consórcio (t ha<sup>-1</sup>); Y<sub>jr</sub>: rendimento comercial do jambu em

consórcio ( $t\ ha^{-1}$ ); Yrr: rendimento comercial da rúcula em monocultivo ( $t\ ha^{-1}$ ); Yjj: rendimento comercial do jambu em monocultivo ( $t\ ha^{-1}$ ); Zrj: proporção de plantio de rúcula em sistema de consórcio; Zjr: proporção de plantio do jambu em sistema de consórcio.

### **12.10 Análise estatística dos dados**

Foram avaliados, para todas as variáveis, as pressuposições de normalidade, homogeneidade e aditividade. A análise de variância para cada uma das variáveis estudadas em cada ciclo foi analisada pelo teste F. Quando identificada significância das variáveis, aplicou-se o teste de Scott-Knott ( $p<0,001$ ,  $p<0,01$  e  $p<0,05$ ), para identificação do(s) melhor(es) sistema(s) de cultivo e irrigação, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2011).

## **13 RESULTADOS**

### **13.1 Rendimento total e Índice de colheita**

Não foram observadas diferenças na interação entre lâminas de irrigação e sistemas de cultivo para o rendimento e índice de colheita das culturas, sendo estes fatores analisados isoladamente.

Para as lâminas de irrigação verificaram-se respostas distintas quanto ao rendimento das culturas. Quando foi aplicada a ID75 a rúcula apresentou maior rendimento, se comparado aos demais regimes hídricos, sendo  $27,72\ t\ ha^{-1}$  em 2018 e  $21,98\ t\ ha^{-1}$  em 2019.

Em contraste, o jambu apresentou maior rendimento quando foi aplicada a irrigação IE125,  $12,12\ t\ ha^{-1}$ , em 2018 ( $p<0,001$ ), IT100 e IE125,  $10,17\ t\ ha^{-1}$  e  $9,08\ t\ ha^{-1}$  em 2019 ( $p<0,001$ ), respectivamente. Para os demais regimes hídricos foram observados valores inferiores (Tabela 1).

Quanto ao índice de colheita da rúcula, foi observado um valor médio de 0,94 para o cultivo solteiro e 0,91 para o consorciado em 2018 ( $p=0,02$ ) e 0,94 e 0,93 para o cultivo solteiro e consorciado, respectivamente, em 2019 ( $p<0,001$ ). Para o jambu, esse índice de colheita foi em média 0,92 para o solteiro e 0,87 para o consorciado em 2018 ( $p=0,07$ ) e 0,97 e 0,95 para solteiro e consorciado, respectivamente, em 2019 ( $p=0,77$ ) (Tabela 1).



**Tabela 1** - Rendimento em t ha<sup>-1</sup> e índice de colheita de rúcula e jambu, em sistemas de cultivo consorciado e solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.

Rúcula			Jambu		
Tratamento	Rendimento (t ha <sup>-1</sup> )	Índice de Colheita	Tratamento	Rendimento (t ha <sup>-1</sup> )	Índice de Colheita
<b>2018</b>			<b>2018</b>		
<b>ID50</b>	14,64 (±0,15)e	0,91 (±0,005)b	<b>ID50</b>	5,57 (±0,64)d	0,85 (±0,02)a
<b>ID75</b>	27,72 (±0,69)a	0,93 (±0,008)a	<b>ID75</b>	8,00 (±0,44)c	0,89 (±0,01)a
<b>IT100</b>	22,45 (±0,48)b	0,94 (±0,015)a	<b>IT100</b>	10,46 (±0,36)b	0,91 (±0,01)a
<b>IE125</b>	18,55 (±0,87)c	0,94 (±0,013)a	<b>IE125</b>	12,12 (±0,30)a	0,92 (±0,01)a
<b>IE150</b>	16,77 (±0,51)d	0,92 (±0,008)b	<b>IE150</b>	8,63 (±0,66) c	0,89 (±0,02)a
<b>p valor</b>	<0,001	0,02	<b>p valor</b>	<0,001	0,07
<b>F valor</b>	126,97	4,06	<b>F valor</b>	27,08	2,85
<b>Rúcula</b>	22,38 (±0,79)a	0,94 (±0,008)a	<b>Jambu</b>	12,49 (±0,57) a	0,92 (±0,009)a
<b>Rúcula + Jambu</b>	17,67 (±0,38)b	0,91 (±0,012)b	<b>Jambu + Rúcula</b>	5,42 (±0,38) b	0,87 (±0,02)b
<b>p valor</b>	<0,001	<0,001	<b>p valor</b>	<0,001	<0,001
<b>F valor</b>	94,63	21,06	<b>F valor</b>	234,35	19,24
<b>2019</b>			<b>2019</b>		
<b>ID50</b>	14,01 (±0,36)e	0,92 (±0,006)b	<b>ID50</b>	6,13 (±0,11)c	0,96 (±0,001)a
<b>ID75</b>	21,98 (±1,69)a	0,94 (±0,009)a	<b>ID75</b>	6,38 (±0,44)c	0,96 (±0,001)a
<b>IT100</b>	20,17 (±0,48)b	0,94 (±0,016)a	<b>IT100</b>	9,08 (±0,39)a	0,97 (±0,006)a
<b>IE125</b>	18,32 (±0,87)c	0,94 (±0,014)a	<b>IE125</b>	10,17 (±0,33)a	0,97 (±0,005)a
<b>IE150</b>	16,88 (±0,51)d	0,93 (±0,008)a	<b>IE150</b>	7,39 (±0,14)b	0,96 (±0,006)a
<b>p valor</b>	<0,001	<0,001	<b>p valor</b>	<0,001	0,77
<b>F valor</b>	30,45	9,13	<b>F valor</b>	65,30	0,43
<b>Rúcula</b>	20,12 (±0,78)a	0,93 (±0,008)b	<b>Jambu</b>	10,72 (±0,33)a	0,97 (±0,007)a
<b>Rúcula + Jambu</b>	16,43 (±0,38)b	0,94 (±0,012)a	<b>Jambu + Rúcula</b>	4,94 (±0,24)b	0,95 (±0,007)b
<b>p valor</b>	<0,001	0,01	<b>p valor</b>	<0,001	<0,01
<b>F valor</b>	95,46	6,85	<b>F valor</b>	538,45	9,57

ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc. Dados representam as médias +/- erro padrão das médias (n = 4). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott-Knott.

### 13.2 Trocas gasosas

Não foram encontradas diferenças na interação entre lâminas de irrigação e os sistemas de cultivo para as características fisiológicas das culturas, sendo estes fatores analisados isoladamente.

Independentemente dos tratamentos de irrigação, a consorciação possibilitou a obtenção de maiores valores para quase todos os fatores de trocas gasosas mensurados para a rúcula, a exceção da temperatura ( $T$ ) e  $EUA_i$  em 2018 e a concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), taxa de transpiração ( $E$ ) e  $T$  em 2019 (Tabela 2).

As lâminas de irrigação utilizadas provocaram respostas distintas para as trocas gasosas da rúcula, sendo que, à exceção da  $T$  em 2018 e do  $EUA_i$  em 2019, para todos os fatores avaliados observou-se diferença ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) (Tabela 2).

Maior taxa fotossintética ( $A$ ) ( $p < 0,001$ ) taxa de transpiração ( $E$ ) ( $p < 0,001$ ) em 2018 e 2019, foi verificada quando as plantas foram submetidas a lâmina de irrigação ID75. Enquanto a eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ) ( $p < 0,001$ ) foi maior quando as plantas foram submetidas a irrigação ID75 em 2018, e ID50 e ID75 em 2019. Para a  $C_i$  e razão da concentração interna de  $CO_2$  e do ambiente ( $C_i/C_a$ ), o resultado mais expressivo foi observado com a lâmina IT100 em 2018 ( $p < 0,001$ ), enquanto em 2019 não foi observada diferença entre as lâminas ID75, IT100 e IE125 ( $p < 0,001$ ), havendo redução dos valores quando aplicada a lâmina de déficit (ID50) e a irrigação de excesso (IE150) (Tabela 2).

**Tabela 2** - Trocas gasosas da rúcula em consórcio com o jambu e em monocultivo, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.

Tratamento	A( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	gs( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Ci( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	E( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	A/Ci	EUAI	Ci/Ca
<b>2018</b>								
ID50	23,87 ( $\pm 0,94$ ) d	0,47 ( $\pm 0,03$ ) c	249,91 ( $\pm 1,18$ ) d	5,69 ( $\pm 0,09$ ) e	35,61 ( $\pm 0,36$ ) a	0,09 ( $\pm 0,003$ ) c	4,20 ( $\pm 0,15$ ) a	0,67 ( $\pm 0,003$ ) d
ID75	32,33 ( $\pm 0,98$ )a	0,79 ( $\pm 0,03$ ) a	274,36 ( $\pm 1,60$ ) b	8,71 ( $\pm 0,10$ ) a	35,55 ( $\pm 0,36$ ) a	0,11 ( $\pm 0,003$ ) a	3,71 ( $\pm 0,12$ ) b	0,73 ( $\pm 0,005$ ) b
IT100	29,47 ( $\pm 0,33$ ) b	0,72 ( $\pm 0,04$ ) b	280,66 ( $\pm 0,99$ ) a	8,41 ( $\pm 0,14$ ) b	35,38 ( $\pm 0,35$ ) a	0,10 ( $\pm 0,001$ ) b	3,50 ( $\pm 0,08$ ) c	0,75 ( $\pm 0,004$ ) a
IE125	26,71 ( $\pm 0,68$ ) c	0,65 ( $\pm 0,02$ ) b	258,32 ( $\pm 1,35$ ) c	7,78 ( $\pm 0,20$ ) c	35,36 ( $\pm 0,18$ ) a	0,10 ( $\pm 0,003$ ) b	3,42 ( $\pm 0,09$ ) c	0,69 ( $\pm 0,005$ ) c
IE150	21,81 ( $\pm 0,86$ ) e	0,48 ( $\pm 0,04$ ) c	247,32 ( $\pm 1,68$ ) e	6,89 ( $\pm 0,13$ ) d	35,32 ( $\pm 0,30$ ) a	0,08 ( $\pm 0,003$ ) d	3,19 ( $\pm 0,17$ ) d	0,66 ( $\pm 0,006$ ) e
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,43	<0,001	<0,001	<0,001
<i>F</i> valor	65,54	26,81	493,12	458,60	1,02	32,53	27,21	464,64
Rúcula	25,24 ( $\pm 0,62$ ) b	0,58 ( $\pm 0,03$ ) b	254,15 ( $\pm 1,32$ ) b	7,16 ( $\pm 0,17$ ) b	36,01 ( $\pm 0,32$ ) a	0,09 ( $\pm 0,002$ ) b	3,56 ( $\pm 0,112$ ) a	0,68 ( $\pm 0,004$ ) b
Rúcula + Jambu	28,44 ( $\pm 0,89$ ) a	0,66 ( $\pm 0,03$ ) a	270,08 ( $\pm 1,40$ ) a	7,84 ( $\pm 0,10$ ) a	34,88 ( $\pm 0,29$ ) b	0,10 ( $\pm 0,004$ ) a	3,65 ( $\pm 0,14$ ) a	0,72 ( $\pm 0,004$ ) a
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,016	0,34	<0,001
<i>F</i> valor	32,14	18,01	297,54	33,94	232,26	7,34	0,96	283,11
<b>2019</b>								
ID50	17,21 ( $\pm 0,65$ ) b	0,30 ( $\pm 0,01$ ) c	187,25 ( $\pm 17,19$ )b	5,29 ( $\pm 0,24$ ) c	37,40 ( $\pm 0,29$ ) a	0,10 ( $\pm 0,01$ ) a	3,24 ( $\pm 0,16$ ) a	0,48 ( $\pm 0,04$ ) b
ID75	28,37 ( $\pm 1,64$ ) a	0,61 ( $\pm 0,008$ ) a	246,62 ( $\pm 12,25$ )a	8,16 ( $\pm 0,61$ ) a	36,98 ( $\pm 0,26$ ) b	0,11 ( $\pm 0,006$ ) a	3,55 ( $\pm 0,39$ ) a	0,64 ( $\pm 0,03$ ) a
IT100	22,13 ( $\pm 1,95$ ) b	0,59 ( $\pm 0,016$ ) a	242,75 ( $\pm 12,33$ )a	7,36 ( $\pm 0,35$ ) b	36,62 ( $\pm 0,34$ ) b	0,09 ( $\pm 0,01$ ) b	3,06 ( $\pm 0,36$ ) a	0,62 ( $\pm 0,03$ ) a
IE125	19,34 ( $\pm 2,26$ ) b	0,43 ( $\pm 0,03$ ) b	230,75 ( $\pm 10,46$ )a	7,07 ( $\pm 0,47$ ) b	36,13 ( $\pm 0,25$ ) c	0,08 ( $\pm 0,01$ ) b	2,72 ( $\pm 0,27$ ) a	0,59 ( $\pm 0,03$ ) a
IE150	18,21 ( $\pm 1,49$ ) b	0,33 ( $\pm 0,01$ ) c	201,12 ( $\pm 3,83$ ) b	5,56 ( $\pm 0,21$ ) c	35,97 ( $\pm 0,30$ ) c	0,09 ( $\pm 0,006$ ) b	3,26 ( $\pm 0,21$ ) a	0,51 ( $\pm 0,01$ ) b
<i>p</i> valor	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	0,02	0,14	<0,001
<i>F</i> valor	13,29	113,32	14,45	26,47	12,95	4,08	2,06	14,50
Rúcula	18,31 ( $\pm 1,02$ ) b	0,42 ( $\pm 0,01$ ) b	236,60 ( $\pm 12,88$ )a	6,58 ( $\pm 0,38$ ) a	37,16 ( $\pm 0,36$ ) a	0,07 ( $\pm 0,005$ ) b	2,76 ( $\pm 0,23$ ) b	0,53 ( $\pm 0,03$ ) b
Rúcula + Jambu	23,79 ( $\pm 2,17$ ) a	0,48 ( $\pm 0,01$ ) a	206,80 ( $\pm 9,54$ ) b	6,80 ( $\pm 0,37$ ) a	36,08 ( $\pm 0,21$ ) b	0,12 ( $\pm 0,01$ ) a	3,57 ( $\pm 0,32$ ) a	0,60 ( $\pm 0,02$ ) a
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	<0,001	0,47	<0,001	<0,001	0,001	<0,01
<i>F</i> valor	20,74	27,16	10,75	0,54	21,90	35,35	14,05	9,71

A: Taxa fotossintética; gs: Condutância estomática; Ci: Concentração interna de CO<sub>2</sub>; E: Taxa de transpiração; T: Temperatura; A/Ci: Taxa de carboxilação; EUAI: Uso eficiente da água instantâneo; Ci/Ca: razão de concentração interna e do ambiente. ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc, nos períodos experimentais de 2018 e 2019. Dados representam as médias +/- erro padrão das médias (n = 4). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes (*p* <0,001, *p* <0,01, *p* <0,05) de acordo com o teste de Scott knott.

Para o jambu, as lâminas de irrigação utilizadas apresentaram respostas distintas para alguns fatores avaliados nas trocas gasosas, sendo alteradas de forma significativa à exceção do  $EUAi$  ( $p=0,56$ ) em 2018,  $Ci$  ( $p=0,81$ ) e  $Ci/Ca$  ( $p=0,73$ ) em 2019.

De forma geral, o jambu apresentou melhores respostas das trocas gasosas quando suas plantas foram cultivadas em sistema solteiro, à exceção da  $A/Ci$  e  $EUAi$  em 2018 e 2019, e  $Ci/Ca$  em 2019 (Tabela 3).

Quanto a irrigação, a lâmina IE125 foi aquela que possibilitou melhor desempenho para a  $A$  e condutância estomática ( $gs$ ) tanto em 2018 como em 2019, e para a  $Ci$  ( $p=0,05$ ) e  $Ci/Ca$  ( $p=0,03$ ) em 2018, e a  $A/Ci$  ( $p<0,001$ ) e  $EUAi$  ( $p<0,001$ ) em 2019. Foi observada ainda resposta similar para a  $E$  e  $Ci$  em 2019, quando aplicadas as lâminas IT100 e IE125. No entanto, verificou-se redução desses caracteres quando aplicadas as lâminas de déficit (ID50 e ID75) e de excesso (IE150) (Tabela 3).

A irrigação IE150 favoreceu a redução da  $T$ , seguida das lâminas IE125 e IT100, enquanto a irrigação ID50 foi o regime hídrico que proporcionou maior  $T$  no jambu, tanto em 2018 quanto em 2019.

**Tabela 3** -Trocas gasosas do jambu em consórcio com a rúcula e em cultivo solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.

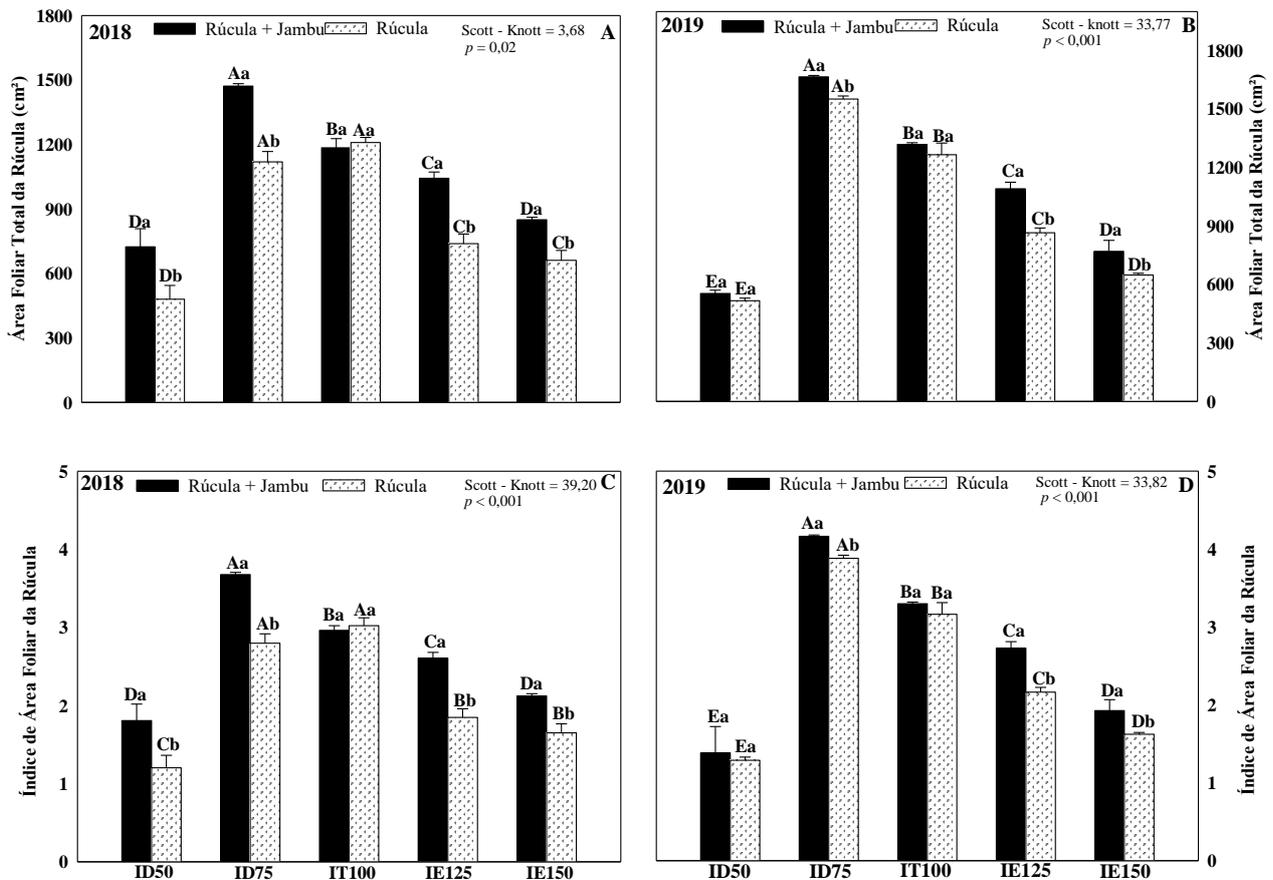
Tratamento	A( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	gs( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Ci( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	E( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	A/Ci	EUAI	Ci/Ca
<b>2018</b>								
ID50	19,90 ( $\pm 1,10$ ) c	0,49 ( $\pm 0,09$ ) c	283,56 ( $\pm 3,81$ ) c	7,31 ( $\pm 0,47$ ) b	35,93 ( $\pm 0,24$ ) a	0,07 ( $\pm 0,004$ ) b	2,83 ( $\pm 0,31$ ) a	0,75 ( $\pm 0,01$ ) c
ID75	21,91 ( $\pm 0,97$ ) c	0,74 ( $\pm 0,23$ ) c	289,49 ( $\pm 2,85$ ) b	7,83 ( $\pm 0,56$ ) b	34,71 ( $\pm 0,33$ ) b	0,07 ( $\pm 0,004$ ) b	2,85 ( $\pm 0,32$ ) a	0,77 ( $\pm 0,008$ ) b
IT100	25,28 ( $\pm 0,64$ ) b	1,51 ( $\pm 0,19$ ) b	293,86 ( $\pm 5,11$ ) b	8,49 ( $\pm 0,33$ ) a	33,81 ( $\pm 0,31$ ) c	0,08 ( $\pm 0,003$ ) a	3,01 ( $\pm 0,19$ ) a	0,78 ( $\pm 0,01$ ) b
IE125	27,66 ( $\pm 1,84$ ) a	1,95 ( $\pm 0,19$ ) a	296,31 ( $\pm 1,30$ ) a	8,98 ( $\pm 0,36$ ) a	32,25 ( $\pm 0,30$ ) d	0,09 ( $\pm 0,006$ ) a	3,08 ( $\pm 0,20$ ) a	0,79 ( $\pm 0,008$ ) a
IE150	20,62 ( $\pm 1,06$ ) c	0,99 ( $\pm 0,17$ ) c	289,06 ( $\pm 4,42$ ) b	7,23 ( $\pm 0,36$ ) b	31,63 ( $\pm 0,11$ ) e	0,07 ( $\pm 0,004$ ) b	2,87 ( $\pm 0,15$ ) a	0,77 ( $\pm 0,01$ ) b
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	0,05	0,002	<0,001	<0,001	0,56	0,03
<i>F</i> valor	35,49	19,41	3,22	7,66	137,23	29,16	0,77	3,52
Jambu	25,07 ( $\pm 1,10$ ) a	1,52 ( $\pm 0,15$ ) a	292,79 ( $\pm 3,95$ ) a	8,86 ( $\pm 0,40$ ) a	34,34 ( $\pm 0,22$ ) a	0,07 ( $\pm 0,004$ ) b	2,84 ( $\pm 0,21$ ) a	0,76 ( $\pm 0,01$ ) a
Jambu +Rúcula	21,08 ( $\pm 1,14$ ) b	0,75 ( $\pm 0,20$ ) b	288,12 ( $\pm 3,04$ ) b	7,07 ( $\pm 0,42$ ) b	33,00 ( $\pm 0,30$ ) b	0,09 ( $\pm 0,004$ ) a	3,01 ( $\pm 0,25$ ) a	0,77 ( $\pm 0,008$ ) a
<i>P</i> valor	0,001	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	0,004	0,40	0,06
<i>F</i> valor	16,07	35,52	5,67	29,03	269,10	11,02	0,74	4,08
<b>2019</b>								
ID50	14,51 ( $\pm 0,46$ ) e	0,23 ( $\pm 0,02$ ) d	244,87( $\pm 12,23$ ) a	5,34 ( $\pm 0,41$ ) b	38,57 ( $\pm 0,36$ ) a	0,06 ( $\pm 0,004$ ) d	2,76 ( $\pm 0,20$ ) c	0,64 ( $\pm 0,03$ ) a
ID75	17,53 ( $\pm 0,74$ ) d	0,37 ( $\pm 0,02$ ) c	233,37( $\pm 5,44$ ) a	5,24 ( $\pm 0,39$ ) b	36,73 ( $\pm 0,19$ ) b	0,07 ( $\pm 0,004$ ) c	3,40 ( $\pm 0,23$ ) c	0,60 ( $\pm 0,01$ ) a
IT100	23,42 ( $\pm 0,54$ ) b	0,48 ( $\pm 0,01$ ) b	225,62( $\pm 10,16$ ) a	6,86 ( $\pm 0,69$ ) a	35,68 ( $\pm 0,25$ ) c	0,10 ( $\pm 0,006$ ) b	3,65 ( $\pm 0,47$ ) c	0,58 ( $\pm 0,03$ ) a
IE125	29,74 ( $\pm 1,84$ ) a	0,63 ( $\pm 0,05$ ) a	230,75( $\pm 18,52$ ) a	5,70 ( $\pm 0,76$ ) b	35,33 ( $\pm 0,40$ ) c	0,13 ( $\pm 0,01$ ) a	5,63 ( $\pm 1,07$ ) a	0,59 ( $\pm 0,05$ ) a
IE150	20,30 ( $\pm 0,59$ ) c	0,32 ( $\pm 0,01$ ) c	235,25( $\pm 13,25$ ) a	5,02 ( $\pm 0,76$ ) b	34,32 ( $\pm 0,29$ ) d	0,09 ( $\pm 0,007$ ) c	4,41 ( $\pm 0,70$ ) b	0,60 ( $\pm 0,03$ ) a
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	0,81	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	0,73
<i>F</i> valor	46,50	33,36	0,38	5,55	110,62	16,75	11,18	0,50
Jambu	22,48 ( $\pm 0,72$ ) a	0,43 ( $\pm 0,03$ ) a	242,75 ( $\pm 7,20$ ) a	6,30 ( $\pm 0,52$ ) a	37,14 ( $\pm 0,27$ ) a	0,09 ( $\pm 0,004$ ) a	3,72 ( $\pm 0,42$ ) a	0,63 ( $\pm 0,02$ ) a
Jambu +Rúcula	19,72 ( $\pm 0,94$ ) b	0,39 ( $\pm 0,02$ ) b	225,20 ( $\pm 16,63$ ) b	4,97 ( $\pm 0,69$ ) b	35,12 ( $\pm 0,32$ ) b	0,09 ( $\pm 0,009$ ) a	4,22 ( $\pm 0,65$ ) a	0,58 ( $\pm 0,04$ ) b
<i>p</i> valor	<0,001	0,04	0,02	0,02	<0,001	0,99	0,33	0,03
<i>F</i> valor	26,94	4,71	6,03	6,06	81,34	0,78	1,00	5,63

A: Taxa fotossintética; gs: Condutância estomática; Ci: Concentração interna de CO<sub>2</sub>; E: Taxa de transpiração; T: Temperatura; A/Ci: Taxa de carboxilação; EUAI: Uso eficiente da água instantâneo; Ci/Ca: razão de concentração interna e do ambiente. ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc, nos períodos experimentais de 2018 e 2019. Dados representam as médias +/- erro padrão das médias (n = 4). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott knott.

### 13.3 Características foliares

A área foliar total e o índice de área foliar da rúcula foram afetados pelas lâminas de irrigação e pelo sistema de cultivo, assim como interação entre os fatores. De forma geral, as plantas de rúcula consorciadas e submetidas a lâmina ID75 apresentaram maior área foliar total e índice de área foliar tanto em 2018 como em 2019 (Figura 3).

O cultivo consorciado aumentou substancialmente a área foliar total da rúcula em 50,77%, 31,49%, 2,02%, 41,15% e 28,58% sob a irrigação ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente ( $p=0,02$ , Fig. 3a), quando comparado ao cultivo solteiro em 2018. Também para 2019 foi verificado incremento na área foliar total da rúcula, sendo maior em 7,26%, 7,36%, 4,21%, 26,09% e 18,69% sob a irrigação ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente, em 2019, quando comparado ao cultivo solteiro ( $p<0,01$ , Fig. 4b). Quanto ao índice de área foliar da rúcula, no sistema consorciado e submetido a irrigação ID75, verificou-se o maior índice (3,67) em 2018 e (4,16) em 2019.

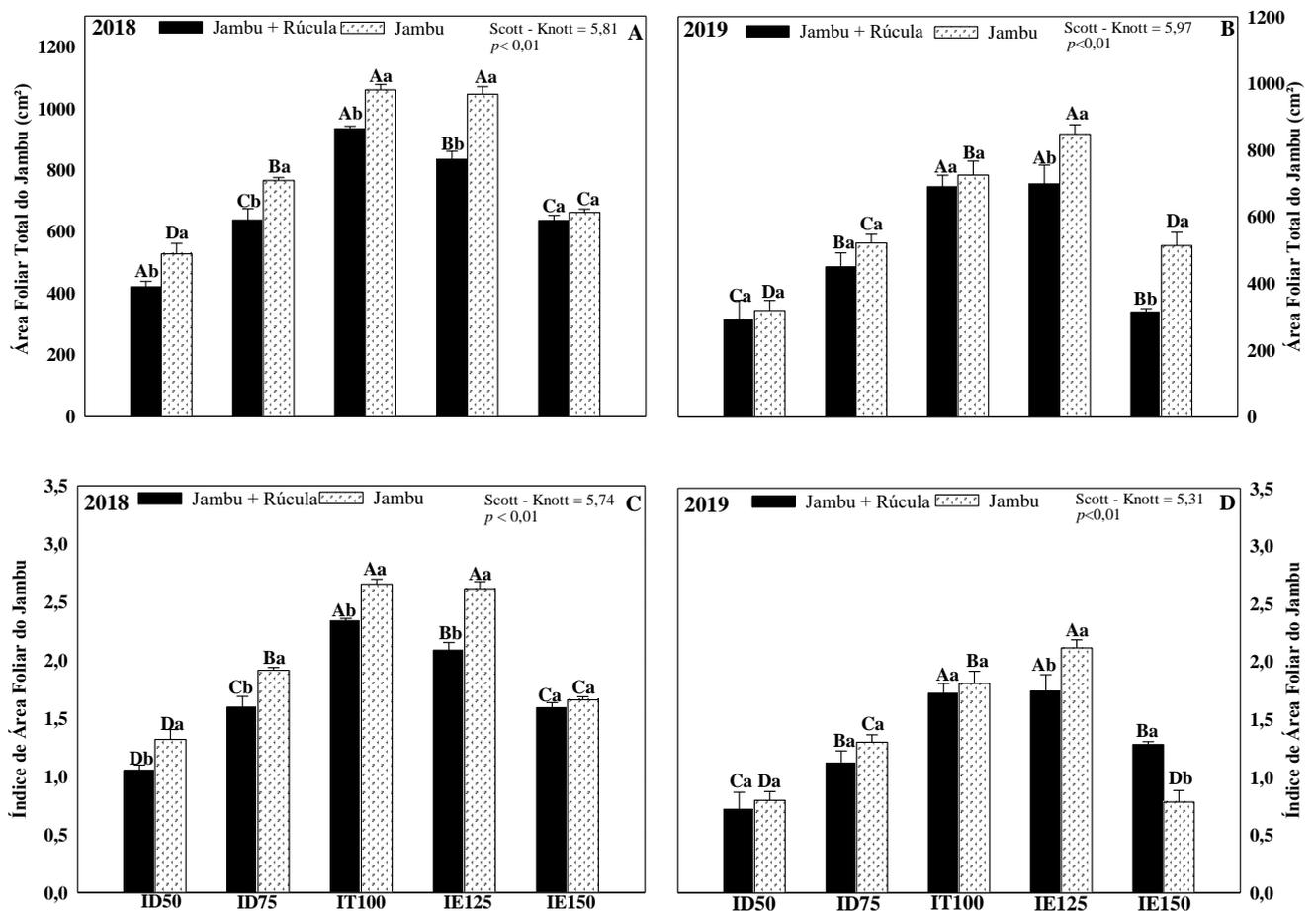


**Figura 3** - Área Foliar Total - AFT (cm<sup>2</sup>) e Índice de Área Foliar – IAF da rúcula, em sistema consorciado com jambu e em monocultivo submetidos a tratamentos com diferentes lâminas de irrigação, ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc;

IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc, nos períodos experimentais de 2018 e 2019. Letras maiúsculas comparam irrigação para uma mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam a irrigação nos dois sistemas de cultivo. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Quando as plantas de jambu foram cultivadas em sistema solteiro e aplicada a irrigação IE125 foi observada maior área foliar total e índice de área foliar em 2019. Para 2018, apesar de também terem sido observados maiores valores para os fatores citados, não foi verificada diferença entre as lâminas de irrigação IT100 e IE125 ( $p=0,005$ , Fig. 4).

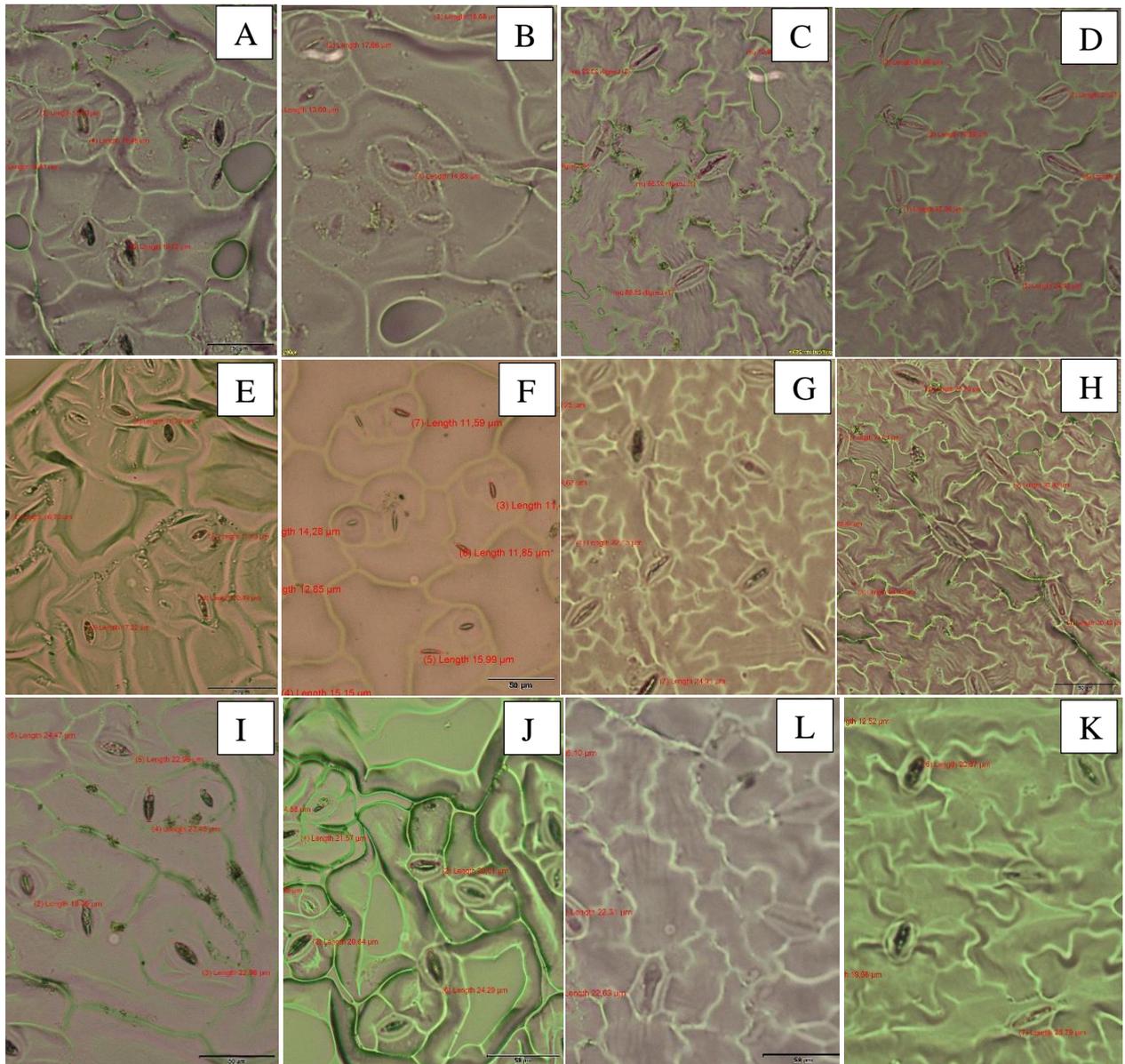
Por outro lado, as plantas de jambu cultivadas em sistema consorciado apresentaram área foliar total menor em 25,47%, 20,14%, 13,52%, 25,32% e 4,20% sob a irrigação ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente ( $p=0,005$ ; Fig 4a), quando comparado ao cultivo solteiro em 2018. Dá mesma forma ocorreu em 2019, sendo a área foliar menor em 9,86%, 15,95%, 4,97%, 21,36% e 63,24% sob a irrigação ID50, ID75, IT100 e IE125, respectivamente ( $p=0,004$ , Fig. 4b). Para o índice de área foliar do jambu, verificou-se que o sistema solteiro foi o que possibilitou a obtenção dos maiores resultados quando submetido a irrigação IT100 (2,65) e IE125 (2,61) em 2018, e a irrigação IE125 (2,11) em 2019.

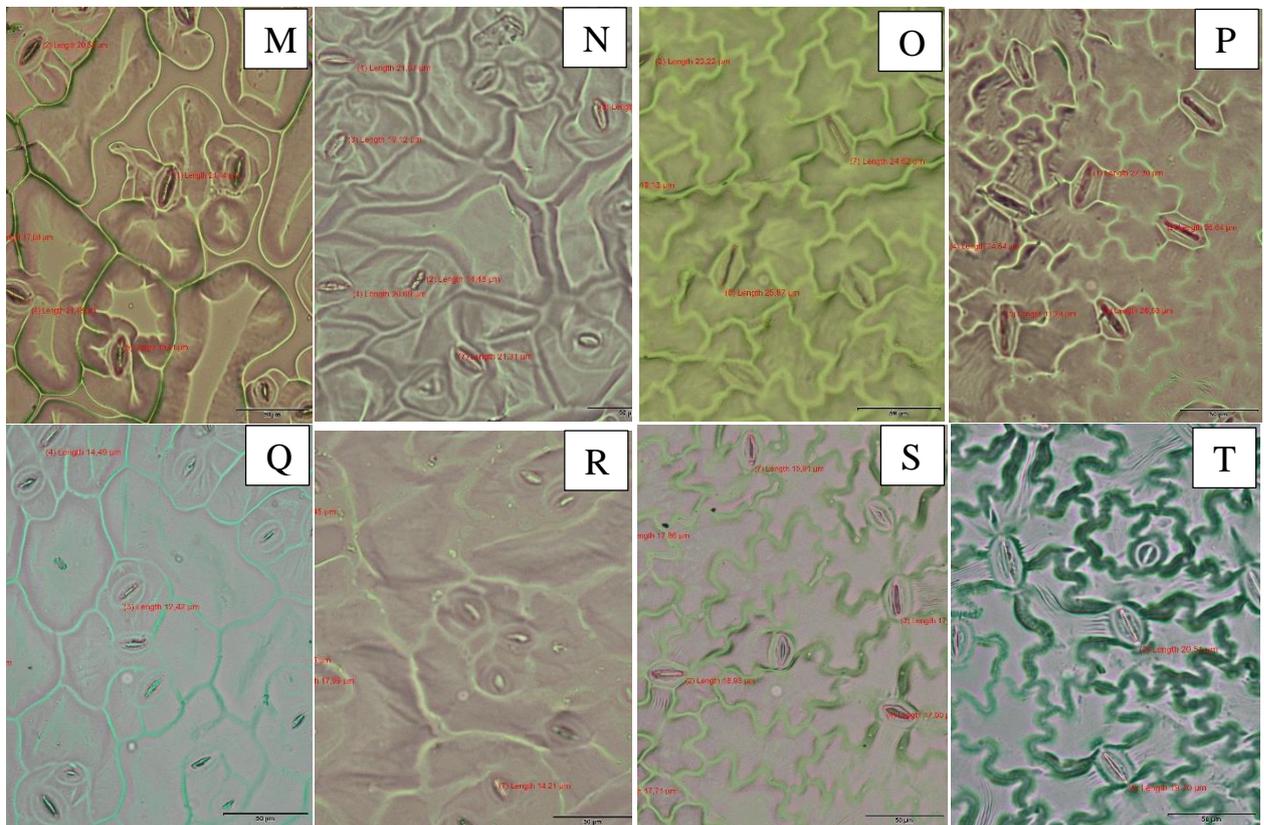


**Figura 4** - Área Foliar Total - AFT (cm<sup>2</sup>) e Índice de Área Foliar – IAF do jambu em sistema consorciado com rúcula e em monocultivo submetidos a tratamentos com diferentes lâminas de irrigação, ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc, nos períodos experimentais de 2018 e 2019. Letras maiúsculas comparam irrigação para uma mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam a irrigação nos dois sistemas de cultivo. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott knott.

### 13.4 Anatomia estomática

Os resultados obtidos, mostram que os estômatos foram, geralmente, distribuídos nas superfícies abaxial e adaxial das folhas de rúcula e jambu, independentemente do sistema de cultivo e do regime hídrico aplicado.





**Figura 5** - Efeitos de diferentes regimes hídricos nas características dos estômatos em folhas de rúcula e jambu em sistema solteiro e consorciado. (A: rúcula consorciada com ID50, B: rúcula solteira com ID50, C: jambu consorciado com ID50, D: jambu solteiro com ID50; E: rúcula consorciada com ID75; F: rúcula solteira com ID75; G: jambu consorciado com ID75, H: jambu solteiro com ID75, I: rúcula consorciada com IT100, J: rúcula solteira com IT100; K: jambu consorciado com IT100; L: jambu solteiro com IT100; M: rúcula consorciada com IE125, N: rúcula solteira com IE125, O: jambu consorciado com IE125, P: jambu solteiro com IE125; Q: rúcula consorciada com IE150; R: rúcula solteira com IE150; S: jambu consorciado com IE150, T: jambu solteiro com IE150. A barra de escala é de 50μm.

O comprimento da abertura estomática e número de estômatos por unidade de área foliar da rúcula foi diferente entre as superfícies foliares (Fig. 5; Tabela 4). As folhas de rúcula submetidas às lâminas de irrigação ID75 e IT100 apresentaram maior comprimento de abertura estomática (CAB) e número de estômatos na superfície abaxial (NAB), enquanto o comprimento de abertura estomática (CAD) e o número de estômatos na superfície adaxial (NAD) não foi significativamente alterado pelo regime hídrico, independente do sistema de cultivo empregado. Além disso, os resultados mostram que houve um declínio de CAB e do NAB com o aumento da disponibilidade hídrica e quando aplicou o regime hídrico de estresse ID50 ( $p < 0,001$ , Tabela 4).

Em contraste, as plantas de jambu quando cultivadas em sistema solteiro e submetidas a lâminas de irrigação IE125 apresentaram maior comprimento de abertura estomática e número de estômatos nas superfícies abaxial e adaxial. Além disso, também foi observada redução tanto no comprimento da abertura estomática, quanto no número de estômatos, para lâminas de irrigação inferior e superior a IE125 ( $p < 0,01$ ; Tabela 5).

**Tabela 4** - Características estomáticas de folhas de rúcula em consórcio com a jambu e em cultivo solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2019.

Tratamento	CAB ( $\mu\text{m}$ )	CAD ( $\mu\text{m}$ )	NAB	NAD
ID50	17,07 ( $\pm$ 0,49) d	17,86 ( $\pm$ 1,48) a	51,40 ( $\pm$ 1,09) d	44,64 ( $\pm$ 1,89) a
ID75	21,86 ( $\pm$ 0,26) a	19,86 ( $\pm$ 0,71) a	62,95 ( $\pm$ 0,97) a	50,03 ( $\pm$ 2,37) a
IT100	21,79 ( $\pm$ 0,33) a	20,80 ( $\pm$ 1,02) a	64,20 ( $\pm$ 0,59) a	50,05 ( $\pm$ 2,15) a
IE125	19,57 ( $\pm$ 0,22) b	18,27 ( $\pm$ 0,39) a	59,45 ( $\pm$ 0,43) b	50,27 ( $\pm$ 2,41) a
IE150	18,50 ( $\pm$ 0,21) c	19,62 ( $\pm$ 0,70) a	57,19 ( $\pm$ 1,82) c	45,83 ( $\pm$ 1,21) a
<i>p</i> valor	<0,001	0,09	<0,001	0,09
<i>F</i> valor	118,99	2,58	62,93	2,54
Rúcula	19,53 ( $\pm$ 0,30) a	19,01 ( $\pm$ 0,79) a	56,68 ( $\pm$ 0,87) b	47,70 ( $\pm$ 2,00) a
Rúcula + Jambu	19,99 ( $\pm$ 0,30) a	19,55 ( $\pm$ 0,92) a	61,40 ( $\pm$ 1,09) a	48,63 ( $\pm$ 2,00) a
<i>p</i> valor	0,08	0,49	<0,001	0,43
<i>F</i> valor	3,48	0,48	53,76	0,63

CAB: Comprimento da abertura estomática na face abaxial; CAD: Comprimento da abertura estomática na face adaxial; NAB: número de estômatos na face abaxial; NAD: número de estômatos na face adaxial. ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc. Dados representam as médias  $\pm$  erro padrão das médias ( $n = 4$ ). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott knott.

**Tabela 5:** Características estomáticas de folhas de jambu em consórcio com a rúcula e em sistema solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2019.

Tratamento	CAB ( $\mu\text{m}$ )	CAD ( $\mu\text{m}$ )	NAB	NAD
ID50	21,38 ( $\pm 0,43$ ) d	20,22 ( $\pm 1,11$ ) d	45,44 ( $\pm 0,96$ ) e	32,66 ( $\pm 0,82$ ) d
ID75	23,27 ( $\pm 0,14$ ) c	23,72 ( $\pm 0,47$ ) b	52,72 ( $\pm 0,19$ ) c	41,07 ( $\pm 0,63$ ) b
IT100	24,06 ( $\pm 0,11$ ) b	24,66 ( $\pm 0,80$ ) b	56,12 ( $\pm 0,22$ ) b	43,07 ( $\pm 0,68$ ) b
IE125	25,40 ( $\pm 0,51$ ) a	26,41 ( $\pm 1,00$ ) a	59,88 ( $\pm 0,39$ ) a	47,52 ( $\pm 0,89$ ) a
IE150	22,77 ( $\pm 0,20$ ) c	22,46 ( $\pm 0,89$ ) c	50,04 ( $\pm 0,33$ ) d	38,55 ( $\pm 0,84$ ) c
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>F</i> valor	28,17	31,34	151,44	68,31
Jambu	24,03 ( $\pm 0,24$ ) a	24,38 ( $\pm 0,96$ ) a	53,75 ( $\pm 0,43$ ) a	41,53 ( $\pm 0,69$ ) a
Jambu + Rúcula	22,72 ( $\pm 0,32$ ) b	22,61 ( $\pm 0,74$ ) b	51,93 ( $\pm 0,41$ ) b	39,62 ( $\pm 0,85$ ) b
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	0,01	<0,001
<i>F</i> valor	53,32	35,45	7,83	17,82

CAB: Comprimento da abertura estomática na face abaxial; CAD: Comprimento da abertura estomática na face adaxial; NAB: número de estômatos na face abaxial; NAD: número de estômatos na face adaxial. ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc. Dados representam as médias  $\pm$  erro padrão das médias ( $n = 4$ ). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott knott.

### 13.5 Pigmentos fotossintéticos

Foram observadas diferenças para as lâminas de irrigação e sistemas de cultivo para os diferentes pigmentos fotossintéticos avaliados nas folhas de rúcula nos dois anos de avaliação, 2018 e 2019.

A clorofila *a* foi significativamente afetada pelo sistema de cultivo e pelos regimes hídricos nos dois anos. Quando as plantas de rúcula foram cultivadas em sistema consorciado foi observada maior clorofila *a*. Quanto ao regime hídrico, quando as plantas de rúcula foram submetidas a irrigação total IT100 obtiveram maior taxa desse pigmento, em 2018, no entanto, em 2019, o regime hídrico que proporcionou maior clorofila *a* foi o ID75.

Para a clorofila *b*, o regime hídrico que apresentou maior concentração desse pigmento, em 2018 e 2019, foi o ID75. As plantas de rúcula apresentaram maior concentração de clorofila *b* quando foram cultivadas em sistema consorciado.

Quanto aos carotenóides, o maior conteúdo foi encontrado nas folhas de rúcula crescidas sob a lâmina de irrigação ID50, nos dois anos. Quanto ao sistema de cultivo, quando estas foram cultivadas em sistema consorciado apresentaram maior concentração de carotenóides.

**Tabela 6:** Pigmentos fotossintéticos da rúcula em consórcio com jambu em cultivo solteiro, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos, em 2018 e 2019.

Tratamento	Chl a (mg g <sup>-1</sup> Dw <sup>-1</sup> )	Chl b (mg g <sup>-1</sup> Dw <sup>-1</sup> )	Car (mg g <sup>-1</sup> Dw <sup>-1</sup> )
<b>2018</b>			
<b>ID50</b>	1,74 (± 0,05) c	0,83 (± 0,04) d	165,57 (± 1,89) a
<b>ID75</b>	1,97 (± 0,02) b	1,29 (± 0,03) a	154,04 (± 1,70) b
<b>IT100</b>	2,05 (± 0,07) a	1,12 (± 0,02) b	139,07 (± 0,71) c
<b>IE125</b>	1,93 (± 0,06) b	1,00 (± 0,02) c	142,84 (± 2,39) c
<b>IE150</b>	1,80 (± 0,07) c	0,95 (± 0,015) c	126,57 (± 2,73) d
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	<0,001
<i>F</i> valor	35,18	103,34	88,86
<b>Rúcula</b>	1,86 (± 0,04) b	0,96 (± 0,02) b	141,85 (± 1,30) b
<b>Rúcula +Jambu</b>	1,94 (± 0,07) a	1,12 (± 0,03) a	149,38 (± 2,47) a
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	<0,001
<i>F</i> valor	17,25	62,79	23,02
<b>2019</b>			
<b>ID50</b>	1,55 (± 0,06) e	0,59 (± 0,07) e	210,87 (± 10,68) a
<b>ID75</b>	2,72 (± 0,05) a	1,83 (± 0,05) a	187,84 (± 3,38) b
<b>IT100</b>	2,47 (± 0,05) b	1,59 (± 0,07) b	162,69 (± 7,02) c
<b>IE125</b>	2,16 (± 0,10) c	1,26 (± 0,08) c	170,26 (± 5,49) c

<b>IE150</b>	1,83 ( $\pm$ 0,06) d	0,96 ( $\pm$ 0,09) d	140,45 ( $\pm$ 5,54) d
<b>p valor</b>	<0,001	<0,001	<0,001
<b>F valor</b>	61,27	66,81	22,71
<b>Rúcula</b>	2,04 ( $\pm$ 0,07) b	1,19 ( $\pm$ 0,07) b	164,46( $\pm$ 8,07) b
<b>Rúcula +Jambu</b>	2,25 ( $\pm$ 0,06) a	1,30 ( $\pm$ 0,07) a	184,39 ( $\pm$ 4,41) a
<b>p valor</b>	<0,001	0,01	<0,001
<b>F valor</b>	39,66	7,64	20,52

Chl *a*: Clorofila *a*; Chl *b*: clorofila *b*; *Car*: Carotenóides. ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc, nos períodos experimentais de 2018 e 2019. Dados representam as médias +/- erro padrão das médias (n = 4). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott knott.

Para o jambu, também foram observadas diferenças na concentração dos pigmentos fotossintéticos das plantas submetidas às lâminas de irrigação e aos sistemas de cultivo para os dois anos de avaliação, 2018 e 2019 (Tabela 7).

A concentração de clorofila *a* foi maior no cultivo solteiro e quando aplicadas as lâminas de irrigação ID75, IT100 e E125 para o ano de 2018 ( $p=0,003$ ). A lâmina de irrigação IE125 possibilitou a obtenção das maiores concentrações desse pigmento em 2019 ( $p < 0,001$ ; Tabela 7).

Para a clorofila *b*, seu maior conteúdo foi observado nas plantas cultivadas no sistema solteiro e sob os regimes hídricos IT100 e IE125 em 2018, e IE125 em 2019.

Quanto aos carotenóides as plantas de jambu, em sistema de monocultivo, apresentaram maiores conteúdos em ambos os anos de cultivo e sob a lâmina de irrigação ID50, ID75 e IT100 em 2018, e ID50 e ID75 em 2019.

**Tabela 7:** Pigmentos fotossintéticos do jambu em consórcio com a rúcula em monocultivo, combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.

<b>Tratamento</b>	<b>Chl <i>a</i> (mg g<sup>-1</sup> Dw<sup>-1</sup>)</b>	<b>Chl <i>b</i> (mg g<sup>-1</sup> Dw<sup>-1</sup>)</b>	<b>Car (mg g<sup>-1</sup> Dw<sup>-1</sup>)</b>
<b>2018</b>			
<b>ID50</b>	1,77 ( $\pm$ 0,05) b	0,82 ( $\pm$ 0,06) c	161,85 ( $\pm$ 4,88) a
<b>ID75</b>	1,90 ( $\pm$ 0,02) a	0,93 ( $\pm$ 0,01) b	159,78 ( $\pm$ 5,60) a
<b>IT100</b>	2,02 ( $\pm$ 0,05) a	1,06 ( $\pm$ 0,05) a	154,29 ( $\pm$ 3,80) a
<b>IE125</b>	1,93 ( $\pm$ 0,05) a	1,15 ( $\pm$ 0,05) a	149,84 ( $\pm$ 3,29) b
<b>IE150</b>	1,82 ( $\pm$ 0,06) b	0,81 ( $\pm$ 0,06) b	142,38 ( $\pm$ 4,54) b
<b>p valor</b>	0,003	<0,001	0,003
<b>F valor</b>	7,37	14,83	7,26
<b>Jambu</b>	1,83 ( $\pm$ 0,03) a	0,99 ( $\pm$ 0,06) a	156,59 ( $\pm$ 4,40) a
<b>Jambu +Rúcula</b>	1,94 ( $\pm$ 0,05) b	0,92 ( $\pm$ 0,03) b	150,66 ( $\pm$ 4,44) b
<b>p valor</b>	0,001	0,02	0,06
<b>F valor</b>	14,36	6,34	3,89
<b>2019</b>			

<b>ID50</b>	2,16 ( $\pm$ 0,01) d	0,50 ( $\pm$ 0,01) e	232,72 ( $\pm$ 3,29) a
<b>ID75</b>	2,22 ( $\pm$ 0,02) c	1,05 ( $\pm$ 0,008) c	215,63 ( $\pm$ 4,28) a
<b>IT100</b>	2,26 ( $\pm$ 0,01) b	1,48 ( $\pm$ 0,01) b	198,59 ( $\pm$ 10,23) b
<b>IE125</b>	2,35 ( $\pm$ 0,008) a	2,00 ( $\pm$ 0,02) a	201,97 ( $\pm$ 5,55) b
<b>IE150</b>	2,09 ( $\pm$ 0,02) e	0,75 ( $\pm$ 0,01) d	198,14 ( $\pm$ 8,74) b
<b>p valor</b>	<0,001	<0,001	0,01
<b>F valor</b>	73,20	14,83	4,86
<b>Jambu</b>	2,24 ( $\pm$ 0,01) a	1,23 ( $\pm$ 0,01) a	216,98 ( $\pm$ 11,70) a
<b>Jambu +Rúcula</b>	2,20 ( $\pm$ 0,01) b	1,09 ( $\pm$ 0,01) b	201,98 ( $\pm$ 1,14) b
<b>p valor</b>	0,004	0,02	0,02
<b>F valor</b>	11,40	6,34	6,47

Chl *a*: Clorofila *a*; Chl *b*: clorofila *b*; *Car*: Carotenóides. ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc, nos períodos experimentais de 2018 e 2019. Dados representam as médias  $\pm$  erro padrão das médias ( $n = 4$ ). Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott knott.

### 13.6 Dinâmica entre as culturas componentes

O índice de superação ( $p=0,33$ ), razão de compensação ( $p=0,24$ ) e o índice de razão competitiva da rúcula ( $p=0,33$ ), em 2018, não foi significativamente afetado pelos regimes hídricos utilizados. De forma similar para o jambu o índice de superação ( $p=0,33$ ), razão de compensação ( $p=0,15$ ) e o índice de razão competitiva ( $p=0,46$ ), em 2018, e rendimento relativo, em 2018 ( $p=0,56$ ) e 2019 ( $p=0,74$ ), também não foram afetados pelos diferentes regimes hídricos aplicados (Tabela 8).

Em 2019, o índice de superação (IS) da rúcula e do jambu foi maior quando as plantas foram submetidas ao regime hídrico ID75, não se diferindo do IT100 e IE125 (Tabela 8). As plantas de rúcula também apresentaram maior razão de compensação quando aplicada a lâmina de irrigação ID75 (4,81), enquanto, os índices de razão competitiva apresentaram respostas semelhantes quando as plantas de rúcula estavam sob os regimes hídricos ID75, IT100 e IE125.

Para o jambu, em 2019, as plantas submetidas a irrigação ID75 também apresentaram maior razão de compensação. Enquanto, o índice de razão competitiva foi maior na irrigação ID50.

O rendimento relativo da rúcula no consórcio foi 42%, 69%, 73%, 48% e 48% maior do que no cultivo solteiro em 2018, e 24%, 93%, 68%, 67% e 56% em 2019, para os regimes hídricos ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente. Enquanto, o rendimento relativo do jambu no consórcio não apresentou significância entre as lâminas testadas, no entanto, foi 20%, 2%, 20% e 18%, menor do que no cultivo solteiro, em 2018, para os regimes hídricos ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente, e 9%, 8%, 11%, 10% e 2%, em 2019, para os regimes hídricos ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente.

**Tabela 8** - Habilidade competitiva e rendimento relativo das espécies rúcula e jambu combinados com o fornecimento de diferentes regimes hídricos em 2018 e 2019.

Tratamento	Rúcula				Jambu			
	Índice de Superação	Razão de Compensação	Índice de Razão Competitiva	Rendimento Relativo	Índice de Superação	Razão de Compensação	Índice de Razão Competitiva	Rendimento Relativo
<i>2018</i>								
ID50	0,58 ( $\pm 0,08$ ) a	4,98 ( $\pm 2,26$ ) a	1,57 ( $\pm 0,27$ ) a	1,42 ( $\pm 0,04$ )b	-0,58 ( $\pm 0,08$ ) a	0,75 ( $\pm 0,22$ ) a	0,72 ( $\pm 0,18$ ) a	1,02 ( $\pm 0,23$ ) a
ID75	0,89 ( $\pm 0,11$ ) a	3,75 ( $\pm 0,08$ ) a	2,13 ( $\pm 0,19$ ) a	1,69 ( $\pm 0,06$ )a	-0,89 ( $\pm 0,11$ ) a	1,12 ( $\pm 0,22$ ) a	0,48 ( $\pm 0,05$ ) a	0,80 ( $\pm 0,05$ ) a
IT100	0,74 ( $\pm 0,12$ ) a	2,96 ( $\pm 0,26$ ) a	1,75 ( $\pm 0,13$ ) a	1,73 ( $\pm 0,12$ )a	-0,74 ( $\pm 0,12$ ) a	2,08 ( $\pm 0,60$ ) a	0,57 ( $\pm 0,05$ ) a	0,98 ( $\pm 0,04$ ) a
IE125	0,68 ( $\pm 0,06$ ) a	1,52 ( $\pm 0,09$ ) a	1,84 ( $\pm 0,05$ ) a	1,48 ( $\pm 0,08$ )b	-0,68 ( $\pm 0,06$ ) a	1,41 ( $\pm 0,30$ ) a	0,54 ( $\pm 0,02$ ) a	0,80 ( $\pm 0,03$ ) a
IE150	0,65 ( $\pm 0,08$ ) a	2,17 ( $\pm 0,50$ ) a	1,87 ( $\pm 0,18$ ) a	1,48 ( $\pm 0,05$ )b	-0,65 ( $\pm 0,08$ ) a	1,05 ( $\pm 0,19$ ) a	0,55 ( $\pm 0,06$ ) a	0,82 ( $\pm 0,12$ ) a
<i>p</i> valor	0,33	0,24	0,33	0,08	0,33	0,15	0,46	0,56
<i>F</i> valor	1,26	1,56	1,28	2,64	1,26	2,02	0,96	0,76
<i>2019</i>								
ID50	0,32 ( $\pm 0,12$ ) c	2,40 ( $\pm 0,23$ ) b	1,36 ( $\pm 0,14$ ) b	1,24 ( $\pm 0,09$ )c	-0,32 ( $\pm 0,11$ )c	0,62 ( $\pm 0,08$ ) c	0,75 ( $\pm 0,07$ ) a	0,91 ( $\pm 0,04$ ) a
ID75	0,97 ( $\pm 0,14$ ) a	4,81 ( $\pm 0,41$ ) a	2,05 ( $\pm 0,20$ ) a	1,93 ( $\pm 0,10$ )a	-0,97 ( $\pm 0,14$ )a	3,46 ( $\pm 1,00$ ) a	0,50 ( $\pm 0,05$ ) c	0,92 ( $\pm 0,04$ ) a
IT100	0,78 ( $\pm 0,07$ ) a	2,73 ( $\pm 0,34$ ) b	1,91 ( $\pm 0,16$ ) a	1,68 ( $\pm 0,05$ )b	-0,78 ( $\pm 0,07$ )a	1,78 ( $\pm 0,39$ ) b	0,53 ( $\pm 0,04$ ) c	0,89 ( $\pm 0,08$ ) a
IE125	0,77 ( $\pm 0,08$ ) a	2,25 ( $\pm 0,29$ ) b	1,88 ( $\pm 0,15$ ) a	1,67 ( $\pm 0,06$ )b	-0,77 ( $\pm 0,08$ )a	2,17 ( $\pm 0,45$ ) b	0,54 ( $\pm 0,05$ ) c	0,90 ( $\pm 0,09$ ) a
IE150	0,58 ( $\pm 0,06$ ) b	2,95 ( $\pm 0,09$ ) b	1,60 ( $\pm 0,09$ ) b	1,56 ( $\pm 0,03$ )b	-0,58 ( $\pm 0,06$ )b	1,20 ( $\pm 0,06$ ) b	0,63 ( $\pm 0,03$ ) b	0,98 ( $\pm 0,03$ ) a
<i>p</i> valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,04	0,002	0,74
<i>F</i> valor	11,14	13,43	6,77	12,16	11,14	3,50	8,03	0,49

IS: Índice de superação; RCo: Razão de compensação; IRC: Índice de razão competitiva; ID50: Irrigação de déficit, 50% da ETc; ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação Total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc. Dados representam as médias  $\pm$  erro padrão das médias ( $n = 4$ ). Os valores médios seguido pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott knot.

## 14 DISCUSSÃO

A principal razão para os agricultores, em regiões semiáridas, utilizarem irrigação de déficit é que esta pode ser uma estratégia eficaz para economia de água em condições de escassez. Estudos anteriores demonstraram que a irrigação reduzida pode aumentar a eficiência do uso da água (AKHTAR *et al.*, 2014). Concomitante, o consórcio pode conservar a água no solo, tanto pela maior cobertura por sombreamento, reduzindo assim a exposição direta a radiação solar, bem como reduzindo a velocidade dos ventos nesse ambiente próximo ao solo, ambos contribuindo para a redução na perda de água por evaporação devido a melhor cobertura vegetal (BROOKER *et al.*, 2015). Tais inferências estão em linha com o que vários estudos têm demonstrado, indicando que entre as implicações do sistema de cultivo consorciado está a melhor eficiência no uso dos recursos ambientais (NAUDIN *et al.*, 2014; NORRIS *et al.*, 2018).

### **Rendimento total, relativo e índice de colheita**

O rendimento da rúcula e do jambu foi maior no sistema solteiro em comparação ao consorciado em todos os tratamentos de água aplicados. No entanto, quando se trabalha com sistema de produção consorciada, a análise do rendimento tem sua importância reduzida quando se calculam os índices da consorciação. Isso porque estes índices permitem uma avaliação e comparação mais uniformizada dos sistemas de cultivo solteiro e consorciado (Tabela 1). Entre os fatores rendimento total e rendimento relativo, este último permite uma comparação mais justa entre os dois sistemas de cultivo, solteiro e consorciado. O rendimento relativo proporciona a visualização do quanto um sistema foi mais produtivo do que o outro em uma dada condição, em especial no que se refere a proporção de cultivo dessas hortaliças que, no caso dessa pesquisa, foi de 1:1 planta por área. Essa afirmação pode ser comprovada pelo índice de colheita, o qual quase não foi afetado pelo sistema de cultivo em ambas as culturas e temporadas (Tabela 1).

Ademais, o rendimento relativo da rúcula no sistema consorciado foi em média 56%, em 2018, e 61%, em 2019, maior do que no cultivo solteiro. Em contraste, o rendimento relativo do jambu foi 12%, em 2018, e 7%, em 2019, menor do que no cultivo solteiro (Tabela 8).

A dinâmica competitiva da rúcula e do jambu foi significativamente afetada pelos regimes hídricos e sistemas de cultivo. No entanto, a rúcula geralmente teve resposta mais expressiva do que o jambu em ambos os anos de avaliação. Apesar disso, o jambu pode ser

considerado uma cultura companheira em cultivo consorciado com rúcula, já que além de proporcionar melhores condições de cultivo para a rúcula, estimulando seu crescimento e desenvolvimento, ela também pode ser utilizada para comercialização por pequenos agricultores rurais (BORGES *et al.*, 2013a). Hoje, o jambu já ganhou espaço no mercado como hortaliça não convencional em diversas regiões do Brasil, sendo muito conhecido como alimento funcional. Além disso, também já é amplamente explorada pela indústria farmacêutica, principalmente por suas propriedades fitoterápicas (VERYSER *et al.*, 2014).

No entanto, deve-se salientar que a complementariedade das culturas estudadas pode ser aumentada. Para isso, seriam necessários estudos relacionados a determinação de arranjos espaciais e temporais das culturas componentes.

### **Regime hídrico e sistema de cultivo solteiro e consorciado nas trocas gasosas**

Para as plantas de rúcula cultivadas em consorciação se verificou taxa fotossintética, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub> significativamente superior em ambas as temporadas ( $p < 0,01$ ; Tabela 2). Tais resultados são similares aos observados por Viana *et al.* (2021) e podem estar relacionados ao aumento no teor de clorofilas *a* e *b* (Tabela 6), bem como ao aumento do número de estômatos e a maior abertura estomática (Tabela 4), mesmo em condições de estresse.

Além disso, os resultados indicam que a consorciação possibilitou aumento na capacidade de resistência à seca e melhoria na eficiência do uso da água pelas plantas, que foram capazes de compensar, pelo menos parcialmente os impactos negativos do estresse hídrico nas plantas de rúcula (Tabela 2), tanto em 2018 ( $p = 0,34$ ), como em 2019 ( $p = 0,001$ ).

Esse aumento no uso eficiente da água para as plantas de rúcula cultivadas em consorciação pode ter favorecido a taxa fotossintética, pois o aumento da cobertura do solo melhora a dinâmica da água através da preservação da umidade. Isto possibilita que as plantas absorvam essa água sem dificuldade e conforme a necessidade, o que é indicado pela constância da abertura do poro estomática e por sua condutância (Tabela 2), ao invés de perdê-la diretamente por evaporação (BLUM, 2012), a qual seria ocasionada pela incidência direta dos raios solares no solo e pelo maior e mais rápido fluxo de ar em sua superfície.

Os resultados mostraram ainda que a irrigação ID75 ( $p < 0,001$ ) para as plantas de rúcula, em sistema consorciado, apresentou maior condutância estomática e taxa de carboxilação em 2018 e transpiração foliar e taxa fotossintética em 2018 e 2019, indicando que

essas plantas sendo irrigadas com 25% a menos da lâmina de irrigação total não apresentaram indícios de estresse por seca.

No entanto, quando foram aplicados os regimes hídricos ID50, IE125 e IE150, foram observadas reduções de  $A$ ,  $E$ ,  $g_s$ ,  $C_i$  e  $A/C_i$  e  $C_i/C_a$ . De modo geral, sabe-se que as duas principais razões para as mudanças na taxa fotossintética estão relacionadas aos fatores estomático e bioquímico (RIPLEY *et al.*, 2007). A relação  $C_i/C_a$  pode ser utilizada para identificar se ocorre limitações nestes fatores. Quando ocorre redução de  $A$  e  $g_s$ , acompanhada da redução da relação  $C_i/C_a$ , pode-se ponderar que a diminuição da taxa fotossintética pode estar sendo causada, principalmente, pela redução da  $g_s$ . No entanto, se a redução de  $A$  for acompanhada pelo aumento da relação  $C_i/C_a$ , há de se considerar que a causa da redução da taxa fotossintética pode estar ocorrendo por limitações de ordem bioquímica, devido, possivelmente, há algum problema no maquinário fotossintético, inibição de transferência de elétrons e/ou fixação de  $CO_2$  (POZO *et al.*, 2005). Neste estudo a  $A$ ,  $E$ ,  $g_s$ ,  $C_i$ ,  $A/C_i$  e  $C_i/C_a$  diminuíram com o aumento do estresse, tanto pelo déficit, como pelo excesso de água no solo, indicando que a possível redução da fotossíntese tenha sido devido à limitação estomática.

Em contraste, as plantas de jambu apresentaram as melhores respostas para as características fotossintéticas quando as plantas foram cultivadas em sistema solteiro. Isso pode ter ocorrido pelo fato desta cultura ter sido dominada no cultivo consorciado. O comportamento mais competitivo da rúcula, fez com que ela prevalecesse neste ambiente, ou seja, ganhasse domínio. Em consorciação, o sombreamento do jambu fez com que as plantas recebessem menos radiação devido a competição por luz estabelecida com a outra espécie (DUFOR *et al.*, 2013). Como as folhas são os principais órgãos fotossintetizantes da planta, a eficiência de conversão dos recursos utilizados em fotoassimilados irá depender diretamente da quantidade e qualidade de luz interceptada (ZHANG *et al.*, 2019).

### **Regime hídrico e sistema de cultivo solteiro e consorciado nas características foliares das culturas**

Foi verificado que o cultivo consorciado proporcionou condição para o aumento na área foliar total e índice de área foliar da rúcula (Fig. 3). O aumento da área foliar pode maximizar a interceptação de luz e a capacidade competitiva entre as culturas (LAMBERS *et al.*, 2008). Por outro lado, o desenvolvimento mais rápido e expressivo da rúcula pode ter resultado na redução da interceptação de luz pelas plantas de jambu, o que ocasionou redução na sua capacidade fotossintética, resultando na redução da área e índice de área foliar desta

espécie. Essa redução pode estar diretamente relacionada ao efeito do sombreamento entre as culturas (MUSHAGALUSA *et al.*, 2008), neste caso da rúcula sobre o jambu.

Além disso, a área foliar das culturas diminuiu no regime hídrico ID50 (Fig. 3 e 4) em resposta ao aumento do estresse hídrico. Sob condição de estresse hídrico, as plantas tendem a fechar os estômatos (Tabela 5 e 6), o que resulta na redução da transpiração (Tabela 1 e 2), estando de acordo com o apresentado por outros pesquisadores (LIAO *et al.*, 2016).

### **Regime hídrico e sistema de cultivo solteiro e consorciado nos traços estomatais**

Os resultados observados neste trabalho sugerem que o aumento do número de estômatos e a abertura estomática (Fig. 5; Tabela 4) nas folhas de rúcula, cultivadas em sistema consorciado com os regimes hídricos ID75 e IT100, e nas folhas de jambu solteiro, com regime hídrico IE125 (Fig. 5; Tabela 5), contribuíram para o aumento das trocas gasosas, já que o número de estômatos por unidade de área foliar pode determinar, pelo menos parcialmente, a eficiência de difusão de CO<sub>2</sub> para os tecidos do mesófilo (FAN *et al.*, 2020). Ao contrário, o fechamento estomático, a redução da área foliar e o ajuste osmótico já foram demonstrados serem respostas adaptativas ao estresse hídrico (DICHIO *et al.*, 2005).

### **Regime hídrico e sistema de cultivo solteiro e consorciado nos pigmentos fotossintéticos**

A consorciação e os regimes hídricos ID75 e IT100 favoreceram o aumento dos pigmentos fotossintéticos, clorofilas *a* e *b*, nas folhas de rúcula (Tabela 6). O pigmento cloroplastídico é a substância básica da fotossíntese nas plantas e suas alterações de conteúdo podem refletir, potencialmente, na taxa fotossintética, já que desempenham um papel importante na absorção e transmissão de energia luminosa (TAIZ *et al.*, 2017), a qual pode ser atribuída ao aumento da assimilação líquida de fotoassimilados pelas plantas de rúcula.

Os fatores fisiológicos são todos interligados e refletem de forma decisiva uns nos outros. De forma geral, as trocas gasosas, a área foliar, os pigmentos fotossintéticos e os traços estomatais são parâmetros fundamentais para avaliar as respostas fisiológicas de plantas em consórcio e em ambientes sob regimes hídricos (BROOKER, 2006).

A relação entre  $A$ ,  $E$ ,  $g_s$ ,  $EUA_i$  e o conteúdo de clorofila mostra a importância desta última na regulação das trocas gasosas, já que o potencial da atividade fotossintética está diretamente associado ao aproveitamento da radiação disponível pelas clorofilas (SILVA *et al.*, 2014).

Em contraste, a consorciação reduziu os pigmentos fotossintéticos nas folhas de jambu (Tabela 7). As plantas, em um dossel mais denso, sofrem mais competição por luz. Como as folhas são os principais órgãos fotossintetizantes da planta, esta responde às mudanças em seu ambiente de luz, alterando a morfologia das folhas (POOTER *et al.*, 2009). Além disso, o estresse hídrico reduz a taxa fotossintética ao promover o fechamento estomático e a degradação da clorofila, devido à inibição indireta de sua biossíntese (DICHIO *et al.*, 2005).

De modo geral, os teores de clorofilas *a* e *b* diminuíram com a irrigação de déficit (ID50) e de excesso (IE150), independentemente do sistema de cultivo utilizado para essa cultura, o que indica que esses regimes hídricos podem ter influenciado diretamente no estresse das plantas. O estresse hídrico pode ocasionar diminuição da protoclorofila reductase, impedindo a conversão dos precursores em pigmentos fotossintéticos, sendo essa diminuição o principal motivo da redução de pigmentos (FIAZ *et al.*, 2014).

Curiosamente, houve aumento do conteúdo de carotenoides na irrigação de déficit (ID50). Isso possivelmente aconteceu, como reação das plantas, no sentido de tentar reduzir os danos no maquinário fotossintético provocados pelo estresse. Estudos anteriores demonstram que o aumento de carotenóides pode ser uma estratégia para dissipação de energia, utilizado pelas espécies vegetais, especialmente em condições de estresse hídrico. Nesta condição, estes pigmentos exercem um papel de fotoprotetores (ROJAS *et al.*, 2012).

### **Competição entre as culturas componentes**

O índice de superação (IS) mostra que a rúcula foi a espécie dominante enquanto o jambu foi dominado (CECÍLIO FILHO *et al.*, 2017; DUTRA *et al.*, 2015). Quase não houve diferença entre os anos de cultivo, indicando certa estabilidade e precisão nas condições de implantação dos dois ensaios experimentais.

A razão da compensação da rúcula foi maior que 1, o que indica que seu efeito competitivo sobre o jambu foi balanceado pelo ganho substancial dela, ou seja, o ganho no rendimento da rúcula foi compensado pela perda de rendimento do jambu (NTARE; WILLIAMS, 2001).

Além disso, o índice de razão competitiva possibilitou verificar que a rúcula foi mais competitiva, em média 76%, se comparado a cultura secundária, jambu. A classificação do índice de razão competitiva da rúcula em 2019, quanto aos regimes hídricos, foram ID75 > IT100 > IE125 > IE150 > ID50.

## **15 CONCLUSÃO**

Com este estudo foi possível comprovar que a combinação das culturas, rúcula e jambu, é promissora para o cultivo em consórcio nas condições de disponibilidade hídrica ID75. O consórcio apresenta potencial para aumentar o uso eficiente da água, ou seja, produzir alimentos na mesma quantidade do sistema solteiro, utilizando-se menor quantidade de água em condições de clima semiárido.

No entanto, a complementariedade das culturas pode ser melhorada pelo ajuste dos arranjos espacial e temporal das culturas componentes, ou seja, ambas podem ser avaliadas ajustando-se o espaçamento inter e intraculturas, bem como podem ser implantadas a campo em momentos distintos, buscando-se garantir o estabelecimento de uma das culturas reduzindo o estresse e, conseqüentemente, a dominância da cultura companheira.

## REFERÊNCIAS

- AKHTAR, S.S.; LI, G.; ANDERSEN, M.N.; LIU, F. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. **Agriculture Water Management**, v.138, p.37–44, 2014.
- ALINIAEIFARD, S.; MEETEREN, U.V. Stomatal characteristics and desiccation response of leaves of cut chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) flowers grown at high air humidity. **Scientia Horticulturae**, v.205, 84-89, 2016.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019, 545p.
- BROOKER, R.W.; BENNETT, A.E.; CONG, W.; DANIELL, T.J.; GEORGE, T.S.; HALLETT, P.D.; HAWES, C.; IANNETTA, P.P.M.; JONES, H.G.; KARLEY, A.J.; LI, L.; MCKENZIE, B.M.; PAKEMAN, R.J.; PATERSON, E.; SCHÖB, C.; SHEN, J.; SQUIRE, G.; WATSON, C.A.; ZHANG, C.; ZHANG, F.; ZHANG, J.; WHITE, P.J.; Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, v. 206, p.107–117, 2015.
- BORGES, L. S.; GUERRERO, A. G.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013a.
- BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v.112, p. 119-123, 2012.
- CECÍLIO FILHO, A. B.; BIANCO, M. S.; TARDIVO, C.T.; PUGINA, G. C. M.; ARTHUR B. Agronomic viability of New Zealand spinach and kale intercropping. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, 2017.
- CHAVES, J. FLEXAS, C. PINHEIRO, Photosynthesis under drought and salt stress:regulationmechanisms from whole plant to cell, **Annals of Botany**, v.103, p. 551-560, 2009.
- CHEN, G.; CHAI, Q.; HUANG, G.; YU, A.; FENG, F.; MU, Y.; XUEFU K.; HUANG, P. Belowground interspecies interaction enhances productivity and water use efficiency in maize-pea intercropping systems. **Crop Science**, v. 55, p.420-428, 2015.
- CORDEIRO, G. G. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação (Conceitos básicos e práticos)**. Embrapa, Petrolina, PE, 2001.
- DICHIO, B. C.; XILOYANNIA, A.; SOFO, G. MONTANARO. Osmotic regulation in leaves and roots of olive trees during a water deficit and rewatering, **Tree Physiology**, v.26, p. 179 – 185, 2005.

DUFOUR, L.; METAY, A.; TALBOT, G.; DUPRAZ, C. Assessing light competition for cereal production in temperate agro forestry systems using experimentation and crop modelling. **Journal of agronomy and Crop Science**, v.199, n.3, p.217–227, 2013.

DUTRA, F. A.; MELO, A. S. DE.; DUTRA, W. F.; GONÇALVES, F. Agronomic performance and profitability of castor bean (*Ricinus communis* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping in the Brazilian semiarid region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 120-126, 2015.

ESKANDARI H; GHANBARI A. Environmental resource consumption in wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) intercropping: comparison of nutrient uptake and light interception. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 2; p:100-103, 2010.

FAN, X.; CAO, X.; ZHOU, H.; HAO, L.; DONG, W.; HE, CA.; XUD, M.; WU, H.; WANG, L.; CHANG, Z.; ZHENG, Y. Carbon dioxide fertilization effect on plant growth under soil water stress associates with changes in stomatal traits, leaf photosynthesis, and foliar nitrogen of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) **Environmental and Experimental Botany**, v.179, p.104203, 2020.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.

FERREIRA, D. F. 2011. **SISVAR - Sistemas de análises estatísticas**. Versão 5.3. Lavras: Departamento de Ciências Exatas, UFLA.

FIAZ, K.; MALIK, S. A.; YOUNIS, U.; DANISH, S.; RAZA SHAH, M. H.; NIAZ, S. Drought impact on Pb/ Cd toxicity remediated by biochar in Brassica campestris. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 4, p. 845-854, 2014.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; DEL PELOSO, M. J.; OLIVEIRA, J. P. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.15, n.7, p. 649-656, July 2011.

HENDGES, A. R. A. A.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MESQUITA, R. O. Physiological performance and competitive ability in kale (*Brassica oleracea* var. acephala - Manteiga da Georgia?) intercropped with important aromatic species and herbs. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p. 1181-1187, 2017.

HOAGLAND, D. R; ARNON. The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experiment Station**, Circular. 347, 1938.

KÖPPEN, W. Grundris der Klimakunde Walter de Gruyter. **Berlin, Germany**, 1931, 388p.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. Springer, New York, New York, USA, Ed. 2. 2008.

LIAO, X.; SU, Z.; LIU, G.; ZOTARELLI, L.; CUI, Y.; SNODGRASS, C. Horticultural impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. **Agriculture Water Management**, v.165, p. 230-236, 2016.

MACÊDO, M. L.; COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do cajueiro-anão precoce na agricultura familiar. **Irriga**, Botucatu -SP, v. 23, n. 1, p. 55-71, 2018.

MCGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, v.27, p.659-671, 1971.

MOGHBELI, T.; BOLANDNAZAR, S.; PANAHANDE, J.; RAEI, Y. Evaluation of yield and its components on onion and fenugreek intercropping ratios in different planting densities. **Journal of Cleaner Production**, v.213, p.634–664, 2018.

MAKOI; J. H. J. R.; CHIMPHANGO, S. B. M. DAKORA, F. D. Photosynthesis, water-use efficiency and  $\delta^{13}C$  of five cowpea genotypes grown in mixed culture and at different densities with sorghum, **Photosynthetica**, v. 48, n.1, p.143-155, 2010.

MONCLUS, R.; DREYER, E.; VILLAR, M.; DELMOTTE, F.M.; DELAY, D.; PETIT, J.M.; BARBAROUX, C.; LE THIEC, D.; BRÉCHET, C.; BRIGNOLAS, F. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *Populus nigra* **New Phytologist**, v.169, p. 765-777, 2005.

MUTHURIA, C. W.; ONG, C. K.; CRAIGON, J.; MATIA, B. M.; NGUMI, V. W.; BLACK, C. R. Gas exchange and water use efficiency of trees and maize in agroforestry systems in semi-arid Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.129, p.497-507, 2009.

MUSHAGALUSA, G. N.; LEDENT, J. F.; DRAYE, X. Shoot and root competition in potato/maize, intercropping effects on growth and yield. **Environmental and Experimental Botany**, v.64, p.180-188, 2008.

NAUDIN, C.; VAN DER WERF, H. M. G.; JEUFFROY, M. H.; CORRE-HELLOU, G. Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: a new method for handling the impacts of co-products. **Journal of Cleaner Production**, v.73, p.80-87, 2014.

NORRIS, S. L.; BLACKSHAW, R. P.; CRITCHLEY, C. N. R.; DUNN, R. M.; SMITH, K. E.; WILLIAMS, J.; RANDALL, N. P.; MURRAY, P. J. Intercropping flowering plants in maize systems increases pollinator diversity. **Agricultural and Forest Entomology**, v.20, p.246-254, 2018.

NUNES JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S. F.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Ambiente & Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.12, n.1, 2017.

NTARE, B. R.; WILLIAMS, J. H. Response of cowpea cultivars to planting pattern and date of sowing in Intercrops with pearl millet in Niger. **Experimental Agriculture**, v.28, n.1, p.41-48, 1992.

NTARE, B. R.; WILLIAMS, J. H.; DOUGBEDJI, F. Evaluation of groundnut genotypes for heat tolerance under field conditions in a Sahelian environment using a simple physiological model for yield. **Journal Agricultural Science**, v.136, p.81-88, 2001.

PANDEY, R.; CHACKO, P. M.; CHOUDHARY, M.L.; PRASAD, K.V.; PAL, M. Higher than optimum temperature under CO<sub>2</sub> enrichment influences stomata anatomical characters in rose (*Rosa hybrida*). **Science Horticulture**, v.113, p.74-81, 2007.

POORTER, H.; NIINEMETS, U.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; VILLAR, R. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis **New Phytologist**, v.182, p. 565-588, 2009.

POZO, A. D.; PÉREZ, P.; MORCUENDE, R.; ALONSO, A.; MARTÍNEZ-CARRASCO, R. Acclimatory responses of stomatal conductance and photosynthesis to elevated CO<sub>2</sub> and temperature in wheat crops grown at varying levels of N supply in a Mediterranean environment, **Plant Science**, v.169, p.908-916, 2005.

SANTANA, M. J. DE.; MANCIN, C. A.; RIBEIRO, A. A.; Evapotranspiração e coeficientes de cultura para o alface e a rúcula cultivadas em Uberaba-MG. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, p. 7-13, n. 2, 2016.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORIANO, H. S. RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar photosynthetic pigments and spad index as descriptors of water deficit stress intensity in sugar cane, **Biosciencie Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SCHAAP, M. G. Rosetta (versão 1.1), **US Salinity Laboratory**, USDA, ARS: Riverside, CA, USA. 2003.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, Agriculture Handbook, n. 60, 2012, 159p.

RIPLEY, B. S, GILBERT, M. E, IBRAHIM, D. G, OSBORNE, C. P. Restrições à seca na fotossíntese C<sub>4</sub>: limitações estomáticas e metabólicas nas subespécies C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> de *Alloteropsis semialata*. **Journal Experimental Botany**, v.58, n.6, p.1351-1363, 2007.

ROJAS, A.; MORENO, L.; MELGAREJO, L. M.; RODRÍGUEZ, M. A. Physiological response of *Gmelina arborea* Roxb. to hydric conditions of the Colombian Caribbean. **Agronomía Colombiana**, v. 30, n. 1, p. 52-58, 2012.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, M. I; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. [S. l.]: Artmed editora, 2017. 858 p.

VERYSER, L., WYNENDAELE, E., TAEVERNIER, L., VERBEKE, F., JOSHI, T., TATKEB, P.; SPIEGELEER, B. N-alkylamides: From plant to brain. *Funct. **Functional Foods in Health & Disease***, v.4, n.6, p: 264–275, 2014.

VIANA, C. S.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; LIMA NETO, B. P.; SAMPAIO, I. M. G.; HENDGES, A. R. A. A.; RABELO, J. S. Intercropping arugula with aromatic condiment species affords better yields, biological efficiency and financial return. ***Research, Society and Development***, v. 10, p. e21910313237-13, 2021.

WANG SHU-GUANG, JIA SHOU-SHAN, SUN DAI-ZHEN, FAN HUA, CHANG XIAO-PING, JING RUI-LIAN. Mapping QTLs for stomatal density and size under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). ***Journal of Integrative Agriculture***, v.15, n.9, 2016.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. ***Journal of Plant Physiology***, v.144, p.307-313, 1994.

XU, B.C.; LI, F. M.; SHAN, L. Switchgrass and milkvetch intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China: aboveground biomass and water use efficiency. ***European Journal Agronomy***, v.28, p. 485-492, 2008.

ZHANG, F.; GUO, S.; ZHANG, C.; GUO, P. An interval multiobjective approach considering irrigation canal system conditions for managing irrigation water. ***Journal of Cleaner Production***, v. 211, p. 293-302, 2019.

## 16 CAPÍTULO III: A consorciação rúcula:jambu combinada com regimes hídricos afeta a qualidade pós colheita e modula o metabolismo enzimático e produção de espilantol no jambu

**Resumo:** Compreender o comportamento das culturas em resposta a consorciação e a regimes hídricos é fundamental para enfrentar possíveis estresses hídricos e efeitos competitivos entre suas culturas componentes. Os efeitos dos regimes hídricos e da consorciação sobre o pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascobato (APX) e peroxidase do guaiacol (G-POD) da rúcula e do jambu e o teor de espilantol, no jambu, foram investigados. Para este propósito foram conduzidos vinte tratamentos (2 + 1 + 1) x 5 e quatro repetições. As parcelas foram constituídas de tratamentos de irrigação, ID50: Irrigação de déficit com 50% da Evapotranspiração da cultura (ETc); ID75: Irrigação de déficit com 75% da ETc; IT100: Irrigação Total com 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso com 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso com 150% da ETc. As subparcelas foram formadas pelo sistema consorciado e monocultivo de rúcula e jambu: 1) rúcula consorciada; 2) jambu consorciado; 3) rúcula em monocultivo; 4) jambu em monocultivo. Os resultados indicaram que a rúcula em monocultivo e submetida às irrigações ID50, ID75 e IT100 apresentou maior pH. Essa mesma cultura em consórcio e submetida às irrigações ID50 e ID75 apresentou maior conteúdo de sólidos solúveis, sendo a relação SS/AT e a acidez titulável, maiores sob a irrigação ID50. Quanto ao jambu as plantas apresentaram maior pH em sistema consorciado e quando submetidas às irrigações ID50, ID75 e IT100, enquanto nas ID50 e ID75 apresentaram maior teor de sólidos solúveis. A acidez titulável do jambu foi maior quando as plantas foram submetidas ao sistema consorciado e ao regime hídrico ID50. No entanto, suas plantas apresentaram maior relação SS/AT quando aplicada a irrigação IE125. Para a rúcula a atividade das enzimas G-POD e APX foi maior no monocultivo associado ao regime hídrico ID50, enquanto a CAT apresentou maior atividade no regime hídrico IE150. Para o jambu a atividade das enzimas G-POD e APX foram maiores no consórcio combinado aos regimes hídricos ID50 e ID75, enquanto a CAT e a SOD apresentaram maior atividade no regime hídrico ID50. A consorciação combinada com a irrigação ID75, promoveram aumento em 26,60 % no teor de espilantol no jambu. Diante do exposto, pode-se concluir que a consorciação rúcula:jambu combinada com irrigações de déficit impactam positivamente na qualidade pós-colheita das culturas e na produção de espilantol.

**Palavras-chave:** *Acmella oleracea* (L.) R. K Jansen. *Eruca sativa* Mill. Sistema consorciado. Escassez hídrica.

## 17 INTRODUÇÃO

A *Acmella oleracea* (L.) R. K Jansen, popularmente conhecido como jambu, pertence à família Asteraceae. Nativa da região amazônica, essa hortaliça não convencional é bastante apreciada, principalmente, em estados do norte do Brasil, onde é utilizada para a confecção de pratos típicos, como tacacá e pato no tucupi (BARBOSA *et al.*, 2016). As folhas e as inflorescências dessa espécie apresentam sabor picante, causando também aumento da salivação, formigamento e leve dormência da boca e da língua (BORGES *et al.*, 2012).

O jambu também apresenta potencial para a indústria farmacêutica, já que diversas doenças (sialoga, gripe, reumatismo, anemia, dentre outras) podem ser tratadas com preparos feitos a partir de suas plantas. Tal sucesso parece decorrer da existência de compostos bioativos em seus tecidos, sendo o mais conhecido o espilantol. Essa substância é a principal molécula que compõem o óleo essencial do jambu, sendo um alcalóide que apresenta a seguinte composição química (2E, 6Z, 8E) – N-Isobutil-2,6,8-decatrienamida (GILBERTO; FAVORETO, 2010).

Apesar da grande aplicabilidade da cultura, o jambu não é muito conhecido (NASCIMENTO *et al.*, 2013), o que torna seu cultivo pouco difundido ocorrendo em pequena escala. Isso faz com que esta cultura seja pouco estudada agronomicamente, sendo necessário se utilizar de informações de produção de outras culturas mais tradicionais, como a alface (*Lactuca sativa* L.), para tentar estabelecer seu cultivo. No entanto, tal condição não possibilita um cultivo mais eficiente do jambu já que, apesar de pertencer à mesma família da alface, possui características morfofisiológicas distintas, sendo que suas formas de cultivo também podem variar de acordo com o objetivo da produção, que no caso do jambu pode ser para uso “in natura” e ou para a extração do óleo essencial.

Além disso, tem se observado nas últimas décadas, em diversos países, um relativo aumento com a preocupação em relação a proteção do meio ambiente. Isso tem levado produtores a optarem por modificações na forma de se cultivar para reduzir os impactos ambientais (BLANCO *et al.*, 2018). Tais modificações implementadas tem como objetivo estimular o desenvolvimento sustentável, em que se buscam alternativas que evitem ou minimizem o desgaste no uso da terra, bem como a melhoria na utilização dos recursos naturais utilizados nos sistemas produtivos (BANIK; SHARMA, 2009).

Dentro deste contexto, entre os sistemas de cultivo existentes, a consorciação tem ganhado especial destaque (OLIVEIRA *et al.*, 2017; GUIMARÃES *et al.*, 2020), já que é conhecida como uma técnica agrícola que se propõem a cultivar mais de uma cultura no mesmo espaço (PANKOU *et al.*, 2021). Os cultivos múltiplos são uma importante estratégia, simples e atrativa, que influencia a produtividade das plantas por proporcionar diversos benefícios. São bons exemplos a redução na aplicação de pesticidas, fertilizantes, infestação por ervas daninhas (PANKOU *et al.*, 2021), além de possibilitar a melhoria da fertilidade do solo (NYOKI; NDAKIDEMI, 2018).

A consorciação pode ser desenvolvida através da combinação de inúmeras espécies de plantas, dentre essas combinações, a rúcula (*Eruca sativa* Mill), da família Brassicaceae, tem

sido uma espécie muito utilizada, sendo que, todos os estudos envolvendo essa espécie, como cultura componente em sistemas consortes, apresentaram elevada eficiência biológica e produtiva (OLIVEIRA *et al.*, 2017; GUIMARÃES *et al.*, 2020).

O que torna a rúcula uma das principais espécies usadas em consorciação são seu ciclo curto e porte reduzido. Além disso, figura entre as principais hortaliças folhosas consumidas no mundo. De forma geral, apresenta como características a planta ser herbácea anual e suas folhas apresentarem sabor picante peculiar e forte (TRIPODI *et al.*, 2017).

Além da forma de se cultivar e das culturas que irão integrar qualquer sistema de cultivo, a disponibilidade adequada dos recursos ambientais é fundamental para o sucesso da produção. Em regiões de clima semiárido, o principal fator limitante para qualquer produção é a disponibilidade de água com qualidade e quantidade. Sendo assim, a combinação de sistemas de cultivos mais eficazes com práticas agrícolas que possibilitem o aumento da eficiência produtiva, é crucial para se buscar produções mais sustentáveis.

Uma das formas de se obter respostas do comportamento das plantas frente as diferentes condições e combinações de práticas e sistemas de cultivo, é através da avaliação do que acontece internamente na planta, ou seja, avaliando o estímulo a produção das chamadas enzimas antioxidantes e dos chamados óleos essenciais. As enzimas antioxidativas tem papel fundamental em resposta aos estresses abiótico e biótico, geralmente, enfrentado pelas plantas. Pesquisadores já demonstraram que o estresse no solo prejudica o crescimento e desenvolvimento das plantas causando uma série de problemas metabólicos como, por exemplo, o chamado estresse oxidativo que é ocasionado pela superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs) (GILL;TUTEJA, 2010). Para reduzir tais danos, as plantas geralmente aumentam a produção de enzimas antioxidantes, como a catalase, dismutase de superóxido, peroxidase de ascorbato e guaiacol para minimizar seus efeitos nos tecidos (FOYER; NOCTOR, 2005).

Outro ponto a ser considerado dentro do contexto já apresentado, é que a irrigação reduzida pode melhorar a qualidade dos vegetais (PATANÈ; COSENTINO, 2010), portanto, torna-se importante investigar se a consorciação pode afetar a qualidade das culturas e se tal efeito pode ser anulado ou não através do fornecimento de água por irrigação reduzida.

Tais inferências são importantes no que se refere às culturas em estudo, já que nada se sabe, até o presente momento, quanto ao comportamento da rúcula e do jambu em condições de cultivo consorciado combinado com regimes hídricos. Sendo assim, o objetivo deste estudo

foi avaliar o efeito de sistemas de cultivo e lâminas de irrigação no conteúdo de enzimas antioxidantes e na pós-colheita da rúcula e do jambu, bem como no teor do espilantol em jambu.

## 18 MATERIAL E MÉTODOS

### 18.1 Área de estudo

O estudo em campo foi realizado durante os meses de setembro a novembro de 2018 e 2019 na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Pentecoste, semiárido do Ceará, Brasil, com coordenadas geográficas 3°48'35.86" de latitude sul e 39°19'31.55" de longitude oeste e altitude de 34 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima do local é caracterizado como BSw'h' (quente e semiárido, com chuvas irregulares). Os dados da umidade relativa média foram 57% em 2018 e 52% em 2019 e temperatura máxima do ar de 37°C e mínima de 23°C em 2018 e 38°C e 24°C em 2019, respectivamente.

As características físico-químicas do solo (média) do local, em 2018 e 2019, foram: P: 110 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>: 460 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>: 6,86 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 3,51 cmolc dm<sup>-3</sup>; Fe: 161,2 mg dm<sup>-3</sup>; Cu: 0,9 mg dm<sup>-3</sup>; B: 0,6 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 5,5 mg dm<sup>-3</sup>; Mn: 156,4 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup>: 0,0 cmolc dm<sup>-3</sup>; H + Al: 0,99 cmolc dm<sup>-3</sup>; SB: 11,55 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC (t): 11,55 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC (T): 12,54 cmolc dm<sup>-3</sup>; MO: 3,9 dag kg<sup>-1</sup>; pH: 7,2; V: 92,1%; m: 0,0 %; CE: 0,16 dS m<sup>-1</sup>; Areia grossa: 20 g kg<sup>-1</sup>; Areia Fina: 515 g kg<sup>-1</sup>; Silte: 141 g kg<sup>-1</sup>; Argila: 164 g kg<sup>-1</sup>; Argila natural: 131 g kg<sup>-1</sup>; Textura: Franco arenosa. Capacidade de campo: 0,361 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>); Ponto de murcha permanente: 0,545 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>); condutividade hidráulica do solo saturado: 9,5 (mm h<sup>-1</sup>) e densidade do solo: 1,32 (g cm<sup>-3</sup>) (SCHAAP, 2003).

A água utilizada para a irrigação, em ambos os anos, foi classificada como C3S1, tendo apresentado, em média, as seguintes características de qualidade, pH: 6,80; CE: 0,75 dS m<sup>-1</sup>; RAS: 1,60; Ca<sup>2+</sup>: 2,0 mmolc L<sup>-1</sup>; Mg<sup>2+</sup>: 2,60 mmolc L<sup>-1</sup>; Na<sup>+</sup>: 3,4 mmolc L<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup>: 0,2 mmolc L<sup>-1</sup>; Cl<sup>-</sup>: 7,8 mmolc L<sup>-1</sup> (RICHARDS, 2012).

Com base nos resultados obtidos na análise de água, pode-se verificar que para a cultura da rúcula e do jambu, os valores de RAS e pH da água foram considerados normais segundo Cordeiro (2001). A condutividade elétrica apresentou valor de salinidade aceitável, em termos de tolerância. A salinidade máxima tolerada pela rúcula é de 2,75 dS m<sup>-1</sup> (SILVA *et al.*, 2013) e 3,3 dS m<sup>-1</sup> para o jambu (HOAGLAND; ARNON, 1938), sendo ambas as culturas classificadas como moderadamente sensíveis.

## 18.2 Projeto experimental de campo

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo de parcelas subdivididas, com vinte tratamentos  $(2 + 1 + 1) \times 5$  e quatro repetições. As parcelas foram constituídas de cinco tratamentos de irrigação, ID50: Irrigação de déficit, 50% da evapotranspiração da cultura (ETc); ID75: Irrigação de déficit, 75% da ETc; IT100: Irrigação total, 100% da ETc; IE125: Irrigação de excesso, 125% da ETc; IE150: Irrigação de excesso, 150% da ETc e as subparcelas foram constituídas por sistemas de cultivo de rúcula e jambu: Rúcula:Jambu consorciado, Rúcula em monocultivo e Jambu em monocultivo.

A parcela experimental teve como área  $8,4 \text{ m}^2$  ( $1,0 \text{ m} \times 8,4 \text{ m}$ ) com área útil de  $1,68 \text{ m}^2$  (42 plantas). Já as subparcelas foram de  $2,8 \text{ m}^2$  ( $1,0 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}$ ), com área útil de  $0,56 \text{ m}^2$  (14 plantas). Nos cultivos solteiros e consorciado os espaçamentos foram de 0,2 m entre plantas e 0,2 m entre linhas de cultivo.

Foram utilizadas sementes de rúcula (*Eruca sativa* Mill) ‘Folha Larga’ (Topseed Garden). As sementes (aquênios) do jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K Jansen) utilizadas, foram da variedade de flor roxa. Essas sementes foram obtidas na principal região produtora do estado do Pará. Suas coordenadas geográficas são:  $1^\circ 27' 31''$  de latitude sul e  $48^\circ 26' 04.5''$  de longitude oeste.

As mudas de rúcula e jambu foram produzidas em bandejas de polietileno rígido de 200 células, com volume de  $18 \text{ cm}^3$  por célula. Estas foram preenchidas com substrato contendo 90% de húmus de minhoca e 10% de vermiculita. Após a semeadura, as bandejas foram alocadas em abrigo coberto com sombrite 30% onde permaneceram até apresentarem de 3 a 4 folhas definitivas. Após esse período as mudas foram transplantadas para o campo.

Para a irrigação foi utilizado o sistema por gotejamento do tipo fita gotejadora com 16 mm de diâmetro e emissores espaçados a cada 0,3 m, com vazão nominal de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$ , pressão de serviço de 10 mca, de modo a formar uma faixa molhada. A aplicação de água, às culturas, foi realizada diariamente às 08:00 h e 16:00 h.

## 18.3 Determinação da evapotranspiração da cultura

A determinação da necessidade hídrica das culturas foi realizada através da determinação da evapotranspiração de referência (ETo) com medições realizadas por leituras da evaporação medida no tanque classe “A” (ECA) com distância de 1500 m da área do experimento na fazenda experimental Vale do Curu – FEVC. O coeficiente do tanque (Kt) foi proposto por Bernardo *et al.* (2019). E o valor da evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtido

pelo produto do valor da ETo e coeficiente da cultura (Kc), conforme Santana *et al.* (2016). O tempo de aplicação da água, na irrigação, foi calculado conforme a equação de Bernardo *et al.* (2019).

#### **18.4 Resposta do consórcio e dos regimes hídricos na qualidade pós colheita da rúcula e do jambu**

Para as análises de pós-colheita as amostras sólidas das folhas de rúcula e parte aérea do jambu, foram pesadas em balança analítica de precisão, sendo quantificados 5 g do material vegetal para cada amostra. Após, as amostras foram maceradas em almofariz e em seguida o extrato foi diluído em água na proporção de 1:5 (amostra:água destilada) sendo então quantificados:

1. Sólidos solúveis (SS) - quantificado através da homogeneização completa da solução que, após filtrada, foi avaliada colocando uma a duas gotas diretamente sobre o refratômetro (modelo Wilwaukee), expresso em °Brix (%).
2. Acidez titulável (AT) - a solução foi filtrada para reter partículas grosseiras do vegetal e, após, foram adicionadas de 2 a 3 gotas de fenolftaleína a cada amostra, sendo então tituladas com a solução de NaOH 0,1N até a coloração vinho (Instituto Adolfo Lutz, 2005), expresso em % de ácido málico para rúcula (JARDINA *et al.*, 2017) e em % de ácido oxálico para o jambu (AOAC, 2005).
3. Relação SS/AT - sólidos solúveis sobre a acidez titulável.
4. Determinação do pH - Realizado com um peagâmetro portátil modelo Extech, previamente calibrado em soluções de pH 4, 7 e 10, analisado diretamente na solução das culturas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005).

#### **18.5 Atividade das enzimas antioxidantes no consórcio rúcula:jambu em regimes hídricos**

Para análise das enzimas antioxidantes, aos 70 dias após a semeadura (DAS), foram selecionadas aleatoriamente, em campo, cinco folhas totalmente expandidas por planta de cada cultura, sendo então rapidamente envolvidas em papel alumínio, liofilizadas e armazenadas em freezer -20°C.

A preparação do extrato para determinação da atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase, peroxidase do guaiacol e peroxidase do ascorbato foi obtida a partir da maceração de 0,5 g da folha fresca em almofariz, com 3 mL da solução-tampão fosfato de potássio a 100 mM, pH 7, contendo EDTA a 0,1 mM. O macerado foi filtrado em tecido de

náilon, de malha fina e centrifugado a  $12.000 \times g$ , por 15 min. Todos os procedimentos foram realizados a  $4^{\circ}\text{C}$  e o sobrenadante (extrato) foi coletado e utilizado para as análises.

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi determinada de acordo com o método de Beauchamp e Fridovich (1971), onde uma alíquota de  $50 \mu\text{L}$  do extrato diluído, foi adicionado a  $1450 \mu\text{L}$  da mistura da reação formada por metionina a  $19,5 \text{ mM}$ , azul de p-nitrobluetetrazólio (NBT) a  $750 \mu\text{M}$ , EDTA a  $0,1 \text{ mM}$  e riboflavina a  $10 \mu\text{M}$ , todos em solução tampão de fosfato de potássio a  $50 \text{ mM}$  e  $\text{pH } 7,8$ . As amostras nos tubos revestidos com papel alumínio foram alocadas em uma câmara iluminada por lâmpadas fluorescentes a  $20 \text{ W}$  durante  $15 \text{ min}$  (GIANNOPOLITIS; RIES, 1975). Em seguida, foi determinado em espectrofotômetro com absorvância a  $560 \text{ nm}$  e os resultados foram expressos em  $\text{U g}^{-1} \text{ MF}$ .

A Catalase (CAT) foi determinada de acordo com a metodologia de Havir e McHale (1987), onde foi adicionado  $150 \mu\text{L}$  do extrato a um meio contendo  $790 \mu\text{L}$  de uma solução tampão-fosfato de potássio a  $100 \text{ mM}$ , em  $\text{pH } 7$ , contendo EDTA a  $0,1 \text{ mM}$  e  $60 \mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a  $0,5 \text{ M}$ . A atividade foi determinada em espectrofotômetro ( $240 \text{ nm}$ ) pelo monitoramento da variação da absorção do peróxido de hidrogênio. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ , usando como base o coeficiente de extinção molar do  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $\epsilon = 36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ).

A peroxidase do guaiacol (G-POD) foi analisada conforme Kar e Mishra (1976),  $50 \mu\text{L}$  do extrato diluído foi adicionado a mistura de  $950 \mu\text{L}$  de solução-tampão fosfato de potássio a  $100 \text{ mM}$ ,  $\text{pH } 7$ , contendo EDTA a  $0,1 \text{ mM}$ ,  $500 \mu\text{L}$  de guaiacol a  $20 \text{ mM}$  e  $500 \mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a  $60 \text{ mM}$ . Determinada em absorvância de  $470 \text{ nm}$  e os resultados expressos em  $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ .

A peroxidase do ascorbato (APX) foi determinada de acordo com Nakano e Asada (1981), na qual foi adicionado  $300 \mu\text{L}$  do extrato enzimático, com mistura de  $50 \mu\text{L}$  de ascorbato  $15 \text{ mM}$  e  $50 \mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a  $30 \text{ mM}$ , em  $1.100 \mu\text{L}$  de solução tampão de fosfato de potássio a  $50 \text{ mM}$ ,  $\text{pH } 6$ , contendo EDTA a  $0,05 \text{ mM}$ . A leitura foi realizada em absorvância a  $290 \text{ nm}$ . Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ , usando o coeficiente molar do ascorbato ( $\epsilon = 0,0028 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ).

## **18.6 Resposta do sistema de cultivo e regimes hídricos no teor do espilantol em jambu**

Para a extração e quantificação do espilantol o material foi coletado, higienizado e seco em estufa com circulação forçada de ar até a obtenção da massa constante, o que durou em média  $72 \text{ h}$ . Em seguida as amostras foram moídas em moinho de faca Willye (Fortinox-

STAR FT-50) com peneira de malha com 10 mesh, 1,7 mm. As amostras foram pesadas em balança analítica (0,0001g) e, em seguida, armazenadas em sacos Kraft.

A preparação do extrato da parte aérea do jambu foi conduzida no laboratório de Ensino de Química da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Campus de Belém/PA. O material vegetal foi macerado com solução contendo etanol/água, na proporção 7:3, 20 mL, como solvente. Após, foram pesados 300 mg de cada amostra e adicionado o solvente, tendo permanecido em descanso por 72 horas em temperatura ambiente ou até a evaporação completa do solvente para obter o extrato hidroetanólico. A avaliação analítica para curva de calibração foi realizada de acordo com a metodologia de Balieiro *et al.* (2020).

As análises cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas da Faculdade de Química da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – Unifesspa, utilizando o cromatógrafo Dionex modelo Ultimate 3000, que possui uma coluna analítica Acclaim® 120 RP-C18 de 250 mm × 4,6 mm, 5 µm tamanhos de partícula e tamanho de poro de 120 Å. A eluição foi realizada em modo isocrático com 35% de água ultrapura e 65% de acetonitrila grau HPLC. Em seguida as amostras foram diluídas em metanol grau HPLC (Jt Baker®) e, após, foram filtradas em membranas de nylon com poros de 0,45 µm, da marca Millipore (Tullagreen, Carrigtwohill, Irlanda). O volume de cada amostra injetada foi de 20 µL, com temperatura da coluna fixada em 30°C e fluxo de 1,0 mL min<sup>-1</sup>.

Os dados foram coletados utilizando o software Chromeleon, versão 6.80, com uma frequência de aquisição de espectros de 10 Hz. Essas condições foram utilizadas para alcançar uma melhor resolução, assimetria e fator de retenção do pico do espilantol.

### **18.7 Análise de dados estatísticos**

A análise estatística foi realizada utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2011). Avaliou-se de todas as variáveis as pressuposições de normalidade, homogeneidade e aditividade. A análise de variância para cada uma das variáveis estudadas em cada ciclo foi feito pelo teste F. Quando identificou-se significância das variáveis, aplicou-se o teste de Scott-Knott ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ), para identificação do(s) melhor(es) sistema(s) de cultivo e irrigação.

## **19 RESULTADOS**

### **Efeitos da consorciação na qualidade das folhas de rúcula e jambu sob regimes hídricos**

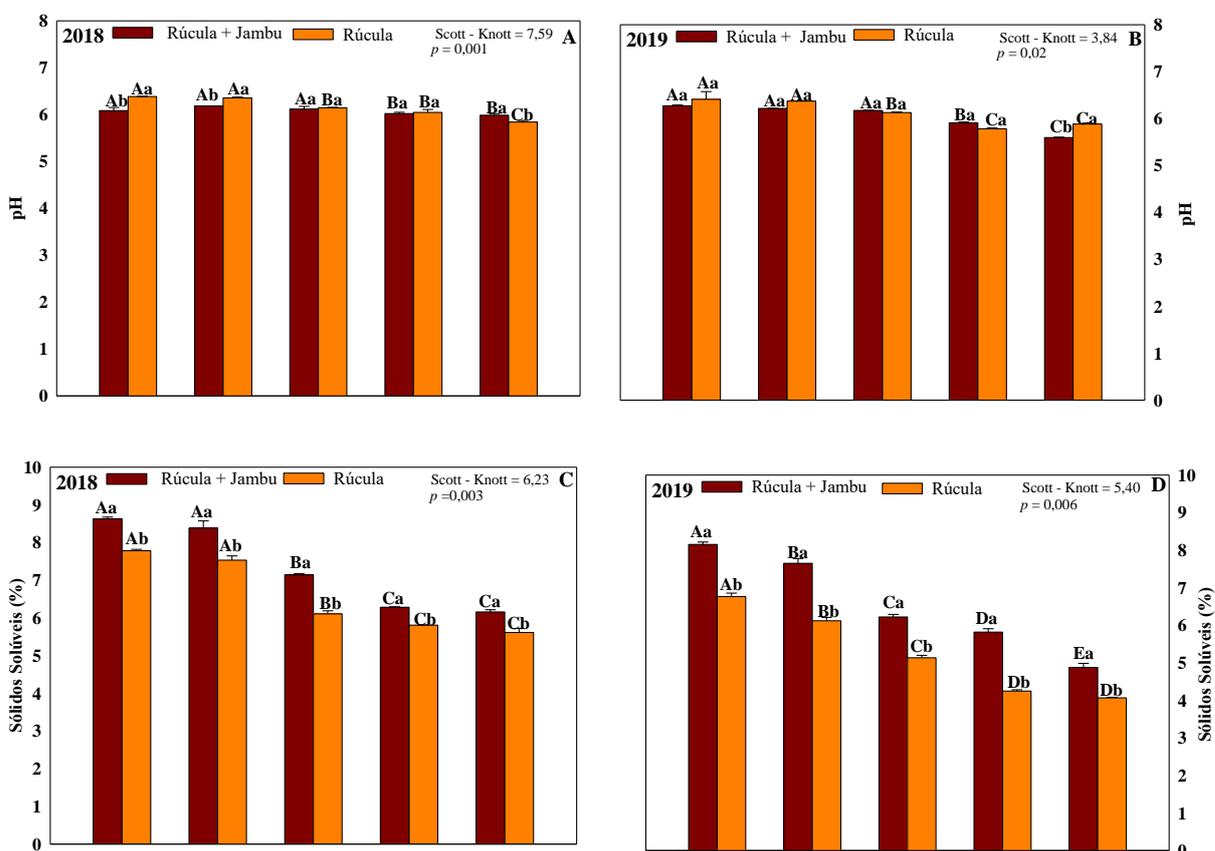
Os atributos de qualidade das folhosas rúcula e jambu, foram afetados pelos regimes hídricos e pelo sistema de cultivo, tendo havido interação entre os fatores.

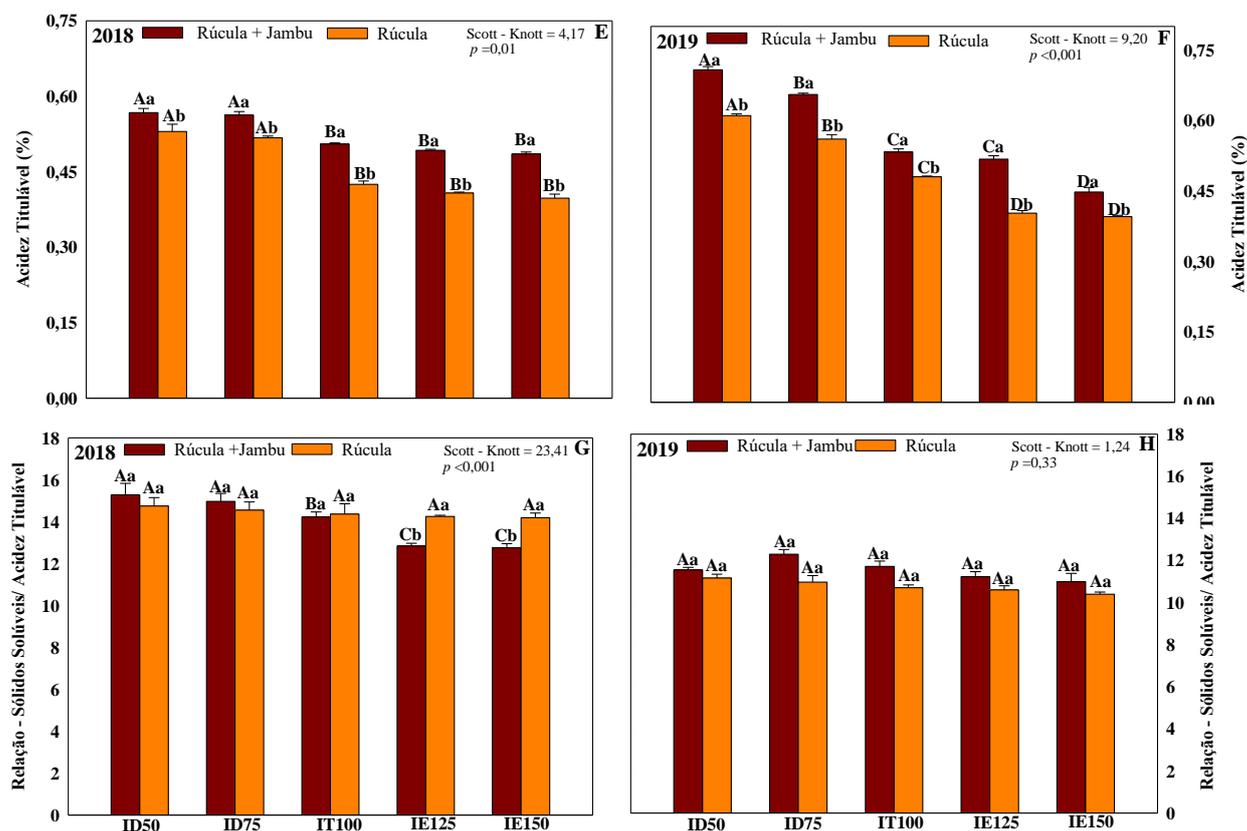
De forma geral, as plantas de rúcula monocultivadas e submetidas ao déficit hídrico ID50 e ID75 apresentaram maior pH na solução em 2018 ( $p=0,001$ ) e 2019 ( $p<0,02$ ) (Figura 1a e 1b).

A rúcula cultivada em consórcio apresentou maior conteúdo de sólidos solúveis (SS) quando comparada a seu monocultivo. Entre os regimes de irrigação, a irrigação ID50 e ID75 acarretaram em um conteúdo de SS maior na parte aérea da rúcula em 2018 ( $p=0,003$ ) independente do sistema de cultivo. Já em 2019 ( $p=0,006$ ) a irrigação ID50 proporcionou maior concentração de SS comparado com os demais tratamentos (Figura 1c e 1d).

A acidez titulável da rúcula consorciada foi maior para irrigação ID50 em 2019 ( $p<0,001$ ) entre os regimes hídricos aplicados. No entanto, em 2018 ( $p=0,01$ ) não houve diferença da acidez titulável quando foram aplicados os regimes hídricos de déficit (ID50 e ID75) (Fig. 1e e 1f).

Para a relação SS/AT em 2018 ( $p<0,001$ ), a rúcula apresentou maior valor quando as plantas foram cultivadas sob os regimes hídricos ID50 e ID75 e sob cultivo consorciado. No sistema em monocultivo não houve alteração da relação SS/AT entre os regimes hídricos aplicados. No entanto, em 2019 a relação SS/AT não foi afetada ( $p=0,33$ ).





**Figura 1:** pH 2018 (A) - 2019 (B); Sólidos solúveis (%) - 2018 (C) - 2019 (D); Acidez Titulável (%) - 2018 (E) - 2019 (F); Relação SS/AT - 2018 (G) - 2019 (H) da rúcula em sistema consorciado com o jambu e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação. Letras maiúsculas comparam as diferentes lâminas de irrigação dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

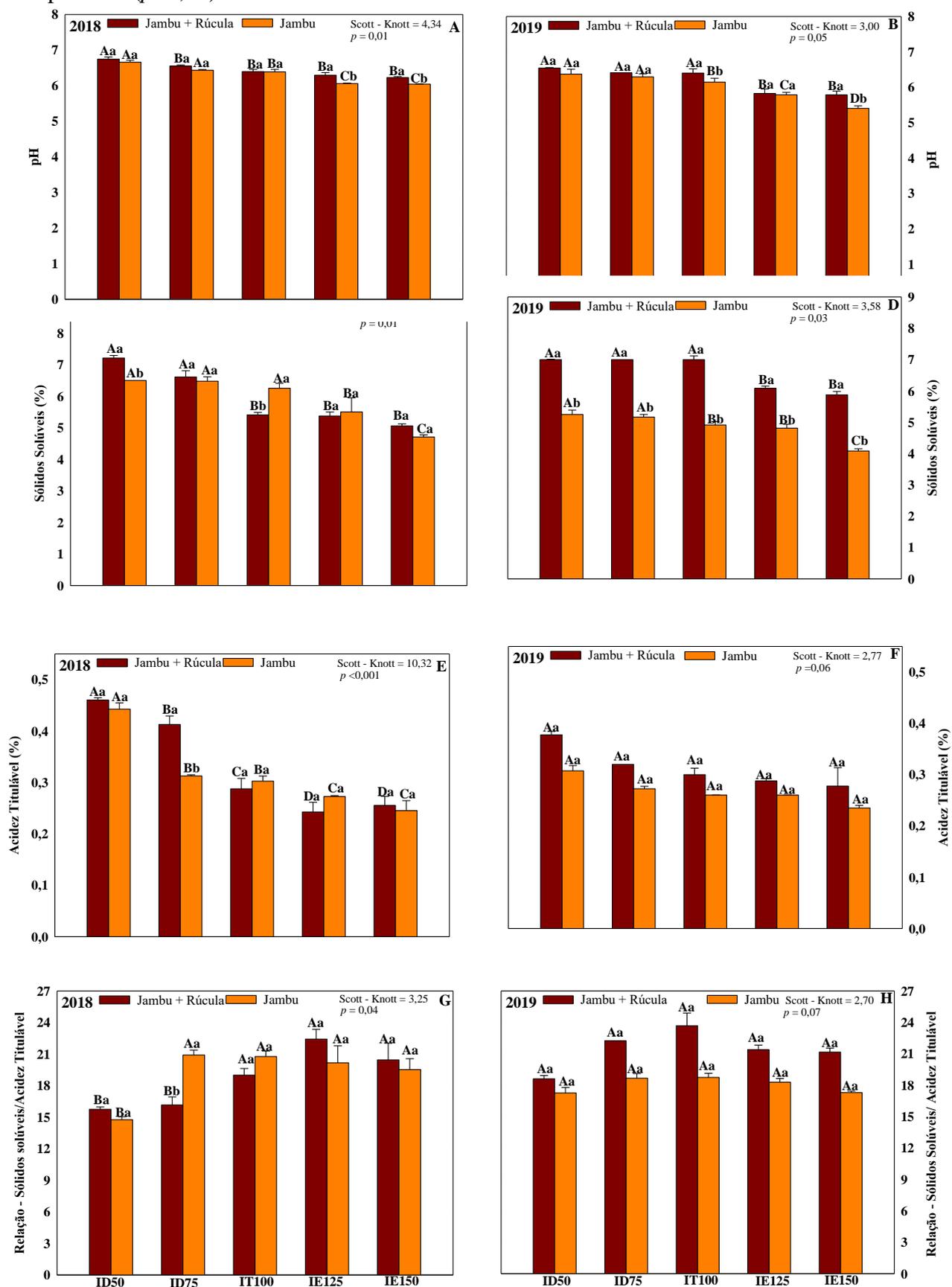
As plantas de jambu apresentaram maior pH em sistema consorciado e quando submetidas a irrigação ID50 em 2018 ( $p=0,01$ ) e ID50, ID75 e IT100 em 2019 ( $p=0,05$ ), mas quando submetidas aos regimes hídricos ID50 e ID75 não foram afetadas quanto ao sistema de cultivo (Fig. 2a e 2b).

Quando o jambu foi submetido aos regimes hídricos ID50 e ID75 em 2018 ( $p=0,01$ ) e ID50, ID75 e IT100 em 2019 ( $p=0,03$ ), em sistema consorciado, apresentou maior teor de sólidos solúveis (Fig. 2c e 2d).

As plantas de jambu apresentaram maior acidez titulável em sistema consorciado e sob o regime hídrico ID50 em 2018 ( $p < 0,001$ ). No entanto, em 2019 a acidez titulável não foi afetada pelos tratamentos aplicados ( $p=0,06$ ) (Fig. 2e e 2f).

Por outro lado, as plantas de jambu em 2018 apresentaram maior relação SS/AT quando submetidas a irrigação IT100, IE125 e IE150 independentemente do sistema de cultivo

( $p=0,04$ ). Em 2019, a relação SS/AT não apresentou diferença significativa entre os tratamentos aplicados ( $p=0,07$ ).



**Figura 2:** pH 2018 (A) - 2019 (B); Sólidos solúveis (%) - 2018 (C) - 2019 (D); Acidez Titulável (%) - 2018 (E) - 2019 (F); Relação Sólidos solúveis/Acidez Titulável - 2018 (G) - 2019 (H) do jambu em sistema consorciado com a rúcula e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação. Letras maiúsculas comparam as diferentes lâminas de irrigação dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

### Efeitos da consorciação na atividade de enzimas antioxidantes em regimes hídricos

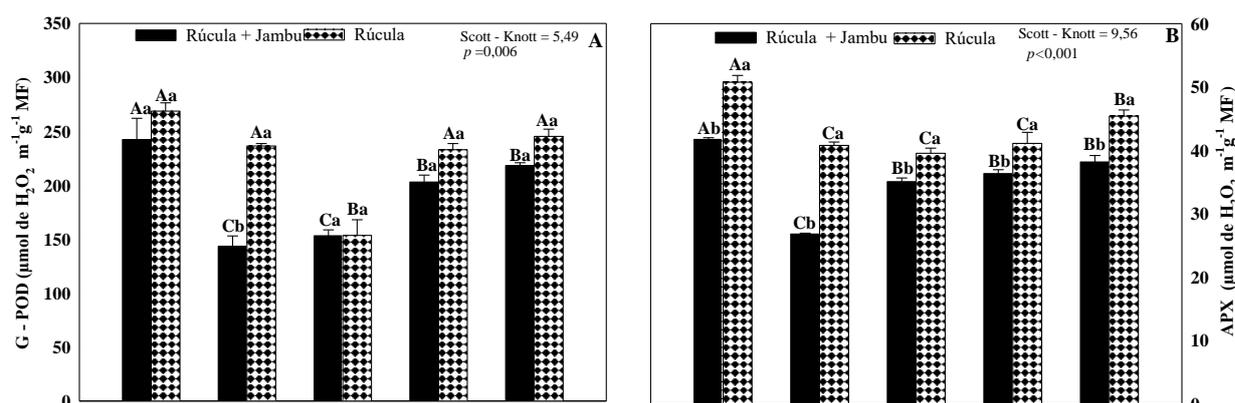
O efeito do consórcio e da irrigação na atividade das enzimas peroxidase do guaicol (G-POD), peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT) e superóxido desmutase (SOD) nas folhas de rúcula são mostrados na Figura 3. Houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e os regimes hídricos para quase todas as enzimas antioxidantes analisadas, à exceção da SOD.

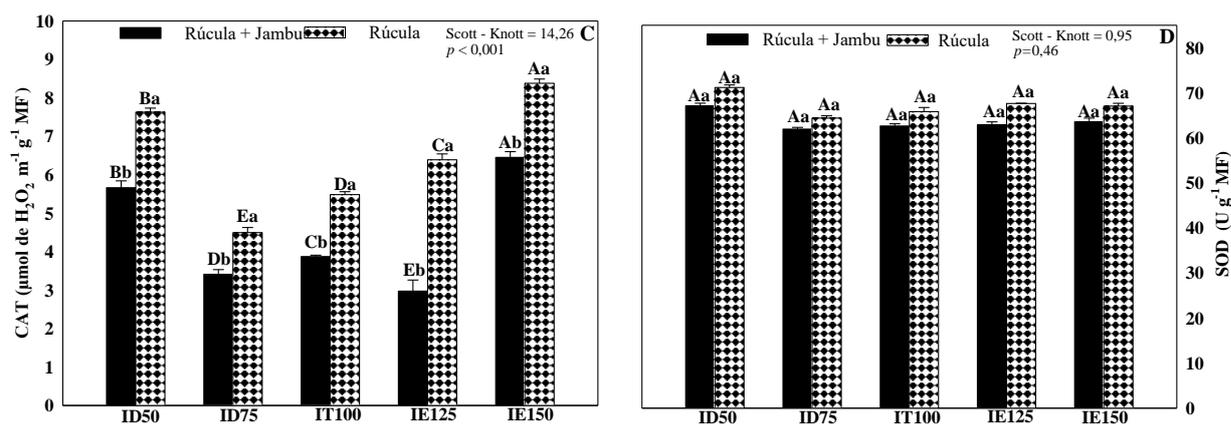
A atividade da G-POD nas folhas de rúcula foi significativamente maior no monocultivo em todas os regimes hídricos, à exceção de quando foi aplicada a irrigação total. No sistema consorciado o regime hídrico ID50 apresentou maior conteúdo da G-POD ( $268,60 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-1}\text{g}^{-1} \text{MF}$ ) enquanto no sistema de monocultivo as irrigações ID50, ID75, IE125 e IE150 tiveram comportamento semelhante entre si (Fig. 3a;  $p=0,006$ ).

Em condições de monocultivo houve aumento da APX nas folhas de rúcula em comparação a consorciação. Além disso, a irrigação de déficit (ID50) tendeu a aumentar os níveis de APX nas folhas de rúcula, tanto no sistema consorciado, como em monocultivo, se comparado aos demais tratamentos de irrigação (Fig. 3b;  $p<0,001$ ).

Os resultados obtidos também indicaram que o conteúdo de CAT nas folhas de rúcula, em sistema de monocultivo, foi maior nos regimes hídricos de maior estresse, IE150 ( $8,38 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-1}\text{g}^{-1} \text{MF}$ ) e ID50 ( $7,62 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-1}\text{g}^{-1} \text{MF}$ ) se comparado às irrigações aplicadas (Fig. 3c;  $p<0,001$ ).

A SOD nas folhas de rúcula foi maior para plantas submetidas a irrigação ID50 independentemente do sistema de cultivo realizado, embora não tenham apresentado resposta significativamente diferente para os tratamentos avaliados (Fig. 3d;  $p=0,46$ ).





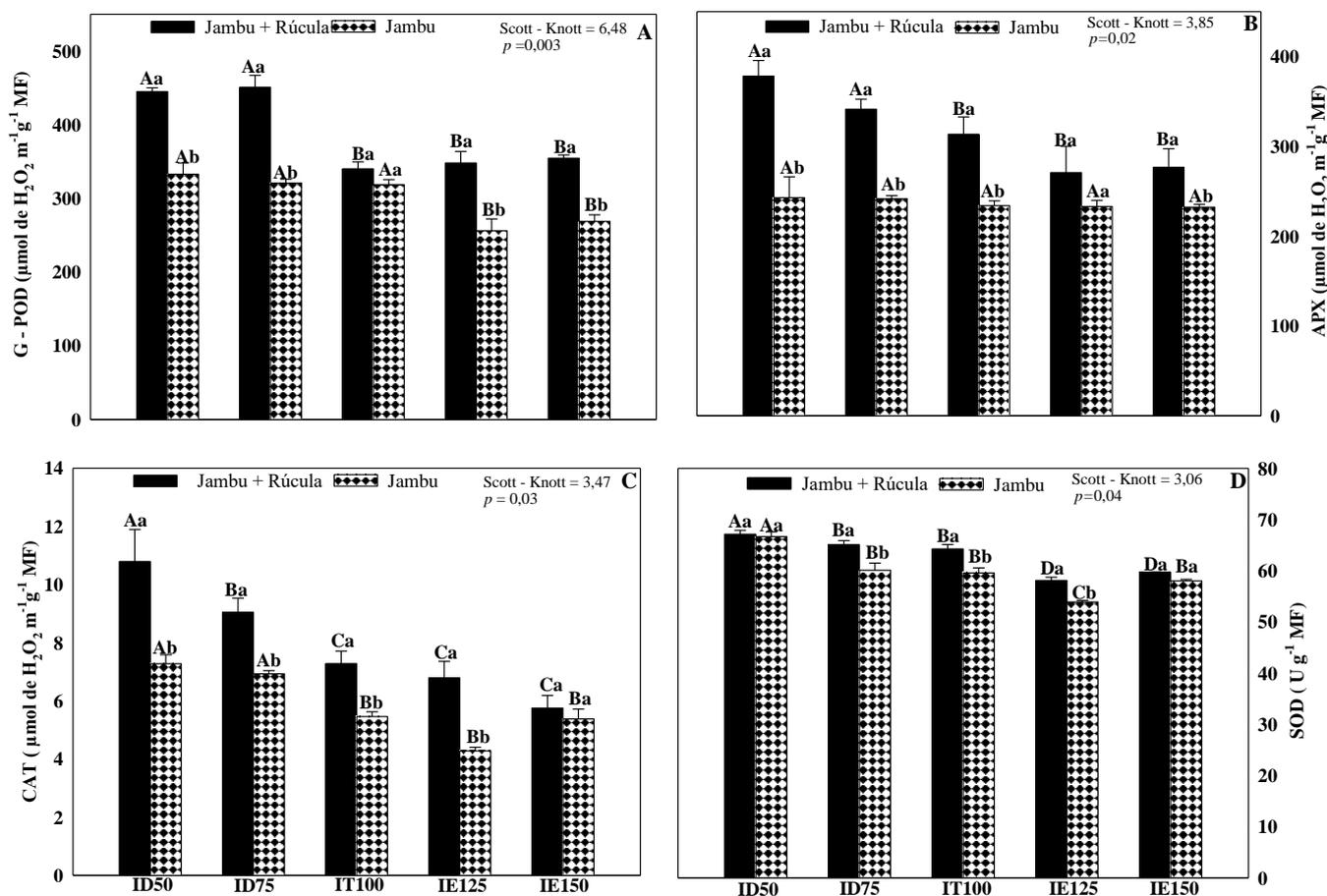
**Figura 3:** Peroxidase do Guaiacol (G-POD) (A); Peroxidase do Ascorbato (APX) (B); Catalase (CAT) (C); Superóxido Dismutase (SOD) (D) da rúcula em sistema consorciado com o jambu e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação. Letras maiúsculas comparam as diferentes lâminas de irrigação dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

A Figura 4, mostra diferentes comportamentos da atividade enzimática nas folhas de jambu. Houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e os regimes hídricos. Os resultados mostraram que as plantas de jambu em sistema consorciado e submetidas aos regimes hídricos ID50 e ID75 apresentaram maior atividade da enzima G-POD (Fig. 4a;  $p=0,003$ ).

Comportamento semelhante ocorreu com a APX. As plantas de jambu em sistema consorte e sob as irrigações ID50 e ID75 apresentaram maior atividade da enzima. No entanto quando cultivadas em sistema de monocultivo não apresentaram diferença entre as irrigações aplicadas (Fig. 4b;  $p=0,02$ ).

Também a consorciação combinada a irrigação de déficit (ID50) foi a que ocasionou a maior atividade da CAT nas folhas de jambu ( $10,79 \mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ). Enquanto para o sistema em monocultivo, as irrigações ID50 e ID75 proporcionaram maior atividade dessa enzima (Fig. 4c;  $p=0,03$ ).

Para o jambu a irrigação de estresse (ID50) foi aquela que possibilitou a obtenção de maior atividade da SOD, independente do sistema de cultivo utilizado, havendo redução da atividade enzimática quando ocorreu a aplicação das demais irrigações (Fig. 4d;  $p=0,04$ ).

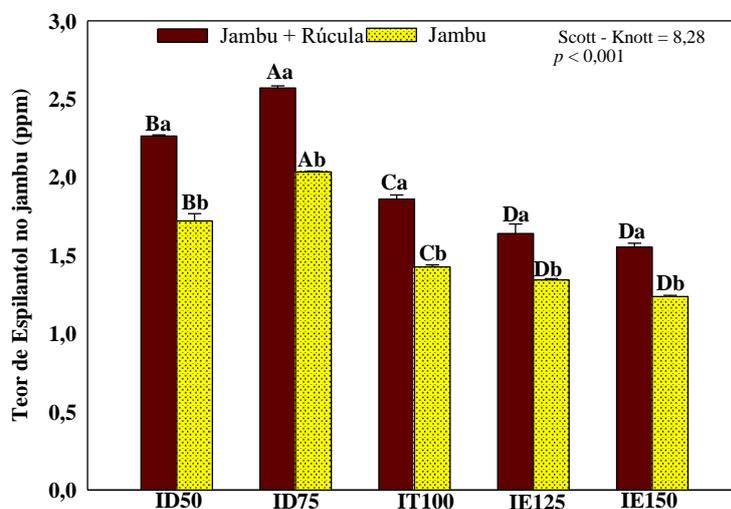


**Figura 4-** G-POD (A); APX (B); CAT (C); SOD (D) do Jambu em sistema consorciado com a rúcula e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação. Letras maiúsculas comparam as diferentes lâminas de irrigação dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

#### Efeitos da consorciação e da irrigação na produção de espilantol no jambu

Foram observadas diferenças ( $p < 0,001$ ) entre a irrigação e o sistema de cultivo, bem como suas interações no teor de espilantol nas folhas do jambu. Com base nos resultados obtidos, a consorciação desempenhou uma importante influência no aumento do espilantol no jambu. Quando foi aplicada a irrigação ID75, houve um aumento de 26,60 % (2,57 ppm), desse componente, se comparado às plantas produzidas em sistema de monocultivo (2,03 ppm).

Os valores obtidos, foram em média, 2,26; 2,57; 1,86; 1,64 ppm nos sistemas de cultivo consorciado e 1,72; 2,03; 1,43; 1,34 e 1,23 ppm em monocultivo, nas irrigações ID50, ID75, IT100, IE125 e IE150, respectivamente.



**Figura 5:** Teor de espilantol do Jambu em sistema consorciado com a rúcula e em monocultivo com diferentes tratamentos de irrigação. Letras maiúsculas comparam as diferentes irrigações dentro da mesma condição de cultivo. Letras minúsculas comparam os dois sistemas de cultivo dentro da mesma lâmina de irrigação. Os valores médios seguidos pela mesma letra em cada fator não são significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) de acordo com o teste de Scott Knott. Erro padrão das médias ( $n = 4$ ).

## 20 DISCUSSÃO

### Efeitos da consorciação na qualidade das folhosas sob regimes hídricos

Os atributos de qualidade da rúcula e do jambu relacionado ao pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT foram influenciadas pelo consórcio e pelos regimes hídricos (Figura 1).

Quanto ao pH da rúcula, ambos os sistemas de cultivo ocasionaram pH ácido. Nesse estudo verificou-se média de 6,03 no sistema consorciado e 6,11 em monocultivo em 2018 e 6,07 e 6,15 em 2019, respectivamente. Diferente de estudos anteriores, em que não foi verificada diferença entre os sistemas de cultivo, estes autores observaram o pH na parte aérea da rúcula “cv. Cultivada”, com valor médio de 5,55 em cultivo consorciado e 5,59 em cultivo solteiro (SILVA *et al.*, 2014).

Para haver bom aproveitamento dos nutrientes e vitaminas nos vegetais o ideal é que o pH seja ácido. Tal condição também ajuda na preservação do alimento, já que dependendo

do nível de acidez pode-se propiciar uma maior ou menor atividade de microrganismos no vegetal (FRANCO, 1966).

No presente estudo foi verificado que o cultivo consorciado e o déficit hídrico (ID50) proporcionaram, juntos, condição para o aumento dos sólidos solúveis da parte aérea da rúcula (Fig. 1c e 1d) e do jambu (Fig. 2c e 2d). Pesquisadores observaram comportamento semelhante desse fator, verificando maiores valores de sólidos solúveis quando a rúcula foi cultivada consorciada (SILVA *et al.*, 2014).

O teor de sólidos solúveis é um fator essencial para a qualidade das hortaliças, pois envolve todos os sólidos dissolvidos, incluindo açúcares, ácidos, aminoácidos, minerais e outras substâncias solúveis (BALIBREA *et al.*, 2006). Além disso é um importante parâmetro para avaliar a vida útil dos vegetais (SILVA *et al.*, 2011), já que seu aumento indica correlação positiva com maior tempo de prateleira (REIS *et al.*, 2014), ou seja, maior prazo para consumo.

Além disso, o estudo mostra que houve um aumento da acidez titulável da parte aérea da rúcula (Fig. 1f e 1g) e do jambu (Fig. 2c e 2d) quando as plantas foram cultivadas em consórcio e sob irrigação reduzida (ID50), não obstante, esses valores estão dentro do recomendado por Chitarra; Chitarra, (2005). Segundo esses pesquisadores, os ácidos orgânicos constituintes dos produtos hortícolas não só contribuem para a acidez, mas também são responsáveis por conferir o aroma característico dos vegetais.

De forma geral os maiores valores encontrados para o pH, sólidos solúveis, acidez titulável e relação de sólidos solúveis e acidez titulável foi para a rúcula e jambu em condição de irrigação reduzida. Essa menor disponibilidade de água pode ter proporcionado uma menor absorção pelos vegetais que, conseqüentemente, possibilitaram que os compostos ficassem mais concentrados em seus tecidos (CHEN *et al.*, 2013). Quanto ao consórcio, pesquisadores tem citado que quanto mais denso o cultivo de hortaliças componentes de um consórcio, mais elevado tende a ser os atributos de qualidade dos vegetais envolvidos (SILVA *et al.*, 2014).

Avaliações quanto a qualidade do vegetal podem contribuir para a seleção de variedade, tempo de colheita, aspectos na produção, abrangendo regime hídrico manipulação pós-colheita e nutrição (KLEINHENZ; BUMGARNER, 2012). De modo geral, no presente estudo os melhores resultados para as características de qualidade das culturas foram obtidos para as plantas conduzidas em consórcio com a irrigação ID50 e ID75.

### **Efeitos da consorciação na atividade de enzimas antioxidantes em regimes hídricos**

A rúcula, de modo geral, apresentou aumento nas atividades das enzimas G-POD, APX, CAT e SOD quando cultivada em monocultivo. Provavelmente, a rúcula em cultivo único apresentou maior estresse nas plantas entre os regimes hídricos aplicados, enquanto a consorciação, possivelmente, amenizou o estresse sofrido pelas plantas dessa espécie, uma vez que apresentaram menores atividades enzimáticas quando foram expostas ao cultivo conjunto com outra espécie.

No consórcio em estudo, as plantas de jambu apresentaram maior atividade enzimática em sistema consorciado. Isso pode indicar que o dano a membrana celular, devido ao aumento de ROS gerado pelo estresse hídrico em plantas consorciadas, parece ter sido mais proeminente nas plantas de jambu. Tal resultado é similar à observação feita por Ahmad *et al.* (2013) que citaram o consórcio como fator de estímulo às atividades de enzimas antioxidantes, sendo as maiores atividades observadas para a CAT e a SOD.

Entre os diferentes estresses ambientais, como radiação UV, baixa ou alta temperatura, injúrias mecânicas, herbicidas, inundações e salinidade, o estresse hídrico tem sido classificado como o que mais tem contribuído para limitar a produção agrícola em muitas locais do mundo (FLEXAS *et al.*, 2016).

De modo geral, tanto para rúcula quanto para o jambu, independente do sistema de cultivo, as irrigações de déficit e de excesso aumentaram a atividade das enzimas. O estresse hídrico aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), como peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), radical hidroxila ( $OH^\cdot$ ) e superóxido ( $O_2^\cdot$ ) (ALHOSHAN *et al.*, 2019).

Estudos mostram que tanto a CAT (COSTA *et al.*, 2010; KNEESHAW *et al.*, 2017), quanto a APX (ZHANG *et al.*, 2011) tem um papel fundamental no processo de remoção do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) gerado a partir do estresse no tecido vegetal. Além disso, a SOD, a CAT, APX e a G-POD desempenham importantes funções para modular o equilíbrio entre a produção e a eliminação de radicais livres nas culturas (LIN *et al.*, 2006; PLACIDE *et al.*, 2013).

### **Efeitos da consorciação e da irrigação na produção de espilantol no jambu**

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que o estresse hídrico e a consorciação podem desempenhar um papel crítico no teor do óleo essencial em plantas de jambu. Foi verificado efeito significativo da interação do sistema de cultivo com a irrigação, em que as plantas de jambu consorciadas e sob condição de irrigação de déficit (ID75) apresentaram aumento no teor do espilantol.

Estudos anteriores demonstraram que a consorciação também ocasionou o aumento no teor do óleo da semente de abóbora (*Cucurbita pepo*) à medida que houveram incrementos nos intervalos de irrigação das culturas (KOOCHKEKI *et al.*, 2019). Rezaei-Chiyaneh *et al.* (2021a) também verificaram aumento no óleo essencial do bálsamo da Moldávia (*Myroxylon peruiferum*) e de seus constituintes, geraniol e acetato de geranila, quando consorciada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em comparação com o cultivo solteiro.

Sabe-se que o espilantol é o principal princípio ativo presente no jambu. Esta substância é classificada quimicamente como uma alquilamida e pode ser encontrada no óleo essencial extraído da planta, estando presente em todos os tecidos que a compõem, principalmente nas inflorescências (BORGES *et al.*, 2012b; PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2013).

O aumento no teor de espilantol, em condições de baixa quantidade de água, provavelmente, pode estar relacionado a um mecanismo fisiológico ligado ao ajuste osmótico que melhora a regulação da pressão osmótica e facilita a absorção de água em condições de seca (YAVUZ *et al.*, 2015b). Já se sabe que o ajuste osmótico está relacionado com respostas adaptativas ao estresse hídrico (DICHIO *et al.*, 2005).

No entanto, deve-se notar que o teor de espilantol sob a irrigação de estresse severo (ID50) foi significativamente reduzido, o que sugere que o estresse hídrico severo pode ter limitado os processos das rotas metabólicas de produção do óleo pelas glândulas endógenas, sugerindo que a produção do espilantol depende tanto da disponibilidade de água no solo como da severidade do estresse, sendo que o extremo de ambas as condições pode ser prejudicial ao acúmulo do óleo.

## **21 CONCLUSÃO**

Através do estudo da consorciação rúcula:jambu pode se observar que este sistema de cultivo combinado com irrigações de déficit impactam positivamente na qualidade das culturas e na produção de espilantol. Além disso, pode-se observar também que essa consorciação beneficia as plantas de rúcula já que as mesmas apresentam menores acúmulos de enzimas relacionadas ao estresse oxidativo, sendo o oposto verificado para o jambu.

## REFERÊNCIAS

- ABCSEM. **O Mercado de Folhosas: Números e Tendências**. 2015. Disponível em: [http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O\\_mercado\\_de\\_folhosas\\_\\_Numeros\\_e\\_Tendencias\\_-\\_Steven.pdf](http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- ABD EL-GAWAD, A. M. Chemical constituents, antioxidant and potential allelopathic effect of the essential oil from the aerial parts of *Cullen plicata*. **Industrial Crops and Products**. v. 80, p.36-41, 2016.
- ABDULLAHI, S.; PRADHAN, B. Land-use change modeling and the effect of compact city paradigms: integration of GIS based cellular automata and evidence weight techniques. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, p. 251, 2018.
- AGRIOS, G. N; **Plant Pathology**, 5 ed, Florida, 2005. 992p.
- AHMAD, IMRAN, CHENG, ZHIHUI.; MENG, H.; LIU, T.; NAN, W. C.; KHAN, W. A.; WASILA, H.; , M. A.; KHAN1 WASILA, A. R. Effect of intercropped garlic (*allium sativum*) on chlorophyll contents, photosynthesis and antioxidant enzymes in pepper. **Pakistan Journal of Botany**, v.45, p.1889-1896, 2013.
- AKHTAR, S.S.; LI, G.; ANDERSEN, M.N.; LIU, F. Biochar enhances yield and quality of
- ALBIN, K. C.; SIMONS. C.T. Psychophysical Evaluation of a Sanshool Derivative (Alkylamide) and the Elucidation of Mechanisms Subserving Tingle. **PLoS One**, v. 5 2010.
- ALBUQUERQUE, J. A. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A.; UCHÔA, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 532-538, 2012.
- ALHOSHANA, M.; ZAHEDIB, M.; A. A. RAMINA, A. A.; SABZALIANB, M. R. Effect of Soil Drought on Biomass Production, Physiological Attributes and Antioxidant Enzymes Activities of Potato Cultivars. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 66, p. 265–277, 2019.
- ALINIAEIFARD, S.; MEETEREN, U.V. Stomatal characteristics and desiccation response of leaves of cut chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) flowers grown at high air humidity. **Scientia Horticulturae**, v.205, 84-89, 2016.
- ALMEIDA, A. E. S.; BEZERRA NETO, F.; COSTA, L. R.; SILVA, M. L.; LIMA, J. S. S.; BARROS JÚNIOR, A. P. Eficiência agronômica do consórcio alface-rúcula fertilizado com flor-de-seda. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 79–85, 2015.
- ALVES, C. Z.; SÁ, M. E.; Avaliação do vigor de sementes de rúcula pelo teste de lixiviação de potássio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p.108-116, 2010.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official Methods of Analysis**. Gaithersburg. 18 ed. 2005.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v.55, p.373-399, 2004.
- BALIBREA, M. E.; MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; CUARTERO, J.; BOLARÍN, M. C.; PÉREZ-ALFOCEA, F. The high fruit soluble sugar content in wild *Lycopersicon* species and their hybrids with cultivars depends on sucrose import during ripening rather than on sucrose metabolism. **Functional Plant Biology**, v.33, p.279–288, 2006.

- BALIEIRO, O. C.; PINHEIRO, M. S. S.; SILVA, S. Y. S.; OLIVEIRA, M. N.; SILVA, S. C.; GOMES, A. A.; PINTO, L. Analytical and preparative chromatographic approaches for extraction of spilanthol from *Acmella oleracea* flowers. **Microchemical Journal**, v. 157, 2020.
- BANDELL, M.; STORY, G. M.; HWANG, S. W.; VISWANATH, V.; EID, S. R.; PETRUS, M. J.; EARLEY, T. J.; Patapoutian, A. Noxious cold ion channel TRPA1 is activated by pungent compounds and bradykinin, **Neuron**, v. 41, p. 849-857, 2004.
- BANIK, P.; SHARMA, R. C. Yield and Resource Utilization Efficiency in Baby Corn-Legume-Intercropping System in the Eastern Plateau of India, **Journal of Sustainable Agriculture**, v.33, n.4, p.379-395, 2009.
- BARBOSA, A. F.; SILVA, K. C.; OLIVEIRA, M. C.; CARVALHO, M. G. D.; SRUR, A. U. Efeitos do extrato metanólico de *Acmella oleracea* e frações na enzima tirosinase. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.26, p. 321-325, 2016.
- BAŞER K. H. C. Roka (*Eruca sativa* Mill.), **BağBahçe**, v. 68, p: 26-27, 2016.
- BATISTA, M. A. V.; BEZERRA NETO, F.; SILVA, M. L.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; CUNHA, J. L. X. L. Atributos de solo-planta e de produção de beterraba influenciados pela adubação com espécies da Caatinga. **Horticultura Brasileira**, v.34, n. 1, p. 12-19, 2016.
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, p. 276-287, 1971.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019, 545p.
- BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; OLIVEIRA, A. M. Produtividade biológica em sistemas consorciados de cenoura e alface avaliada através de indicadores agroeconômicos e métodos multicritério. **Horticultura Brasileira** (Impresso), v. 25, p. 193-198, 2007.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G.H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.
- BLANCO, V. S. F.; MICHALAK, B.; ZELIOLI C. A. M.; OLIVEIRA, A. S. S.; RODRIGUES, M. V. N.; FERREIRA, A. G.; GARCIA, V. L.; CABRAL, F. A.; BEIJO, A. K.; RODRIGUES, R. A. F. Isolamento de epilantol de *Acmella oleracea* com base na Química Verde e avaliação de sua atividade antiinflamatória in vitro. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.140, p. 372-379, 2018.
- BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v.112, p. 119-123, 2012.
- BORGES, L. S.; GUERRERO, A. G.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013a.
- BORGES, L. D. S.; VIEIRA, M. A.; MARQUES, M. O.; VIANELLO, F.; LIMA, G. P. Influência da fertilização orgânica e mineral do solo no óleo essencial de *Spilanthes oleracea* cv. Jambuarana. **American Journal of Plant Physiology**, v.7, p. 135-142, 2012.

- BORGES, L. S. VIEIRA, M. A. R.; MARQUES, M. O. M.; VIANELLO, F.; LIMA, G. P. P. Influence of organic and mineral soil fertilization and essential oil of *Spilanthes oleracea*. **American Journal of Plant Physiology**, v.7, n. 3, p. 135-142, 2012.
- BORGES, L. S.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Índices morfo-fisiológicos e produtividade de cultivares de jambu influenciadas pela adubação orgânica e mineral. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1768-1778, 2014a.
- BORGES, L. S.; GUERRERO, A. G.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013a.
- BROOKER, R. W.; BENNETT, A. E.; WEN-FENG C.; TIM J. D.; GEORGE, T. S.; HALLETT, P. D. HAWES, C.; IANNETTA, PIETRO P. M.; JONES, HAMLYN G.; KARLEY, A. J.; LI, LONG.; MCKENZIE, BLAIR M. PAKEMAN, ROBIN J.; PATERSON, ERIC. SCHÖB, C.; SHEN, J.; SQUIRE, G.; WATSON, C. A.; ZHANG, C.; ZHANG, F.; ZHANG, J.; WHITE. P. J. Improving intercropping a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, v. 206, p.107-117, 2015.
- BRYANT, B. P.; MEZINE, I. Alkylamides that produce tingling paresthesia activate tactile and thermal trigeminal neurons, **Brain research**, v. 842, p.452-460, 1999.
- CAMPOS, E. V. R.; PROENÇA, P. L. F.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: future perspectives. **Ecological Indicators**, v. 87, p.1-13, 2018.
- CARVALHO, K. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVEIRA, M. H. D.; CABRAL, C. E. A.; LEITE, N. Rúcula submetida à adubação nitrogenada via fertirrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15; p. 1545-1553, 2012.
- CAVERZAN, A.; PASSAIA, GISELE.; ROSA, S.; B.; RIBEIRO, C. W.; LAZZAROTTO, F.; PINHEIRO, M. M. Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, p.1011-1019, 2012.
- CECÍLIO FILHO, A. B.; BIANCO, M. S.; TARDIVO, C.T.; PUGINA, G. C. M. Agronomic viability of New Zealand spinach and kale intercropping. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.89, n.4 2017.
- CECILIO FILHO, A. B.; COSTA, C. C.; REZENDE, B. L. A.; LEEUWEN, R. Viabilidade produtiva e econômica do consórcio entre chicória e rúcula em função da época de plantio. **Horticultura Brasileira**, v.26, p. 316-320, 2008.
- CHAVES, J. FLEXAS, C. PINHEIRO, Photosynthesis under drought and salt stress:regulationmechanisms from whole plant to cell, **Annals of Botany**, v.103, p. 551-560, 2009.
- CHEN, G.; CHAI, Q.; HUANG, G.; YU, A.; FENG, F.; MU, Y.; XUEFU K.; HUANG, P. Belowground interspecies interaction enhances productivity and water use efficiency in maize-pea intercropping systems. **Crop Science**, v. 55, p.420-428, 2015.
- CHEN, J.; KANG, S.; DU, T.; QIU, R.; GUO, P.; CHEN, R. Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages. **Agricultural Water Management**, v.129, p.152–162, 2013.

- CHEPKEMOI, J.; ONWONGA, R. N.; KARUKU, G. N.; KATHUMO, V. M. Efficiency and interactive effects of tillage practices, cropping systems and organic inputs on soil moisture retention in semi-arid Yatta sub-county, Kenya. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, v.3, p.145-156, 2014.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Editora UFLA, 2005.
- CORDEIRO, G. G. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação (Conceitos básicos e práticos)**. Embrapa, Petrolina, PE, 2001.
- CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea*, L.) submetido a déficit hídrico. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 7, 2004.
- COSTA, S. S.; ARUMUGAM, D.; GARIPPEY, Y.; ROCHA, S. C. S.; RAGHAVEN, V. Spilanthal extraction using microwave: calibration curve for gas chromatography. **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 1783-1788, 2013.
- COSTA, A.; DRAGO I.; BEHERA, S.; ZOTTINI, M.; PIZZO, P.; SCHROEDER, J. I.; POZZAN, T.; SCHIAVO, F. L. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in plant peroxisomes: an in vivo analysis uncovers a Ca (2+) - dependent scavenging system. **Plant Journal**, v. 62, p.760– 772, 2010.
- COSTA, D.S.M.; MEOTTI, F. C.; ANDRADE, E. L.; LEAL, P. C.; MOTTA, E. M.; CALIXTO, J. B. The involvement of the transient receptor potential A1 (TRPA1) in the maintenance of mechanical and cold hyperalgesia in persistent inflammation, **Pain**, v.148, p. 431-437, 2010.
- DICHIO, B. C.; XILOYANNIA, A.; SOFO, G. MONTANARO. Osmotic regulation in leaves and roots of olive trees during a water deficit and rewatering, **Tree Physiology**, v.26, p. 179 – 185, 2005.
- DORAN, J. C. Commercial sources, uses, formation, and biology. In: BOLAND, D. J.; BROPHY, J. J.; HOUSE, A. P. N. **Eucalyptus leaf oils, use, chemistry, distillation and marketing**. Melbourne: Inkata, 1991. p.11-28.
- DUBEY, S.; MAIDADE, S.; SINGH, M.; SARAF, S. A.; SAHA, S. Phytochemistry, pharmacology and toxicology of Spilanthes Acmella: a review. **Advances in Pharmacological Sciences**, v.2013, p:1-9, 2013.
- DUFOUR, L.; METAY, A.; TALBOT, G.; DUPRAZ, C. Assessing light competition for cereal production in temperate agro forestry systems using experimentation and crop modelling. **Journal of agronomy and Crop Science**, v.199, n.3, p.217–227, 2013.
- DURAZZO, A.; AZZINI, E.; LAZZÈ, M. C.; RAGUZZINI, A.; PIZZALA, R.; MAIANI, G. Italian wild rocket [*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.]: influence of agricultural practices on antioxidant molecules and on cytotoxicity and antiproliferative effects. **Agriculture**, v.3, p. 285-298, 2013.
- DUTRA, F. A.; MELO, A. S. DE.; DUTRA, W. F.; GONÇALVES, F. Agronomic performance and profitability of castor bean (*Ricinus communis* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping in the Brazilian semiarid region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 120-126, 2015.

- EKREN, S.; SÖNMEZ, C.; ÖZÇAKAL, E.; KURTTAŞ, Y. S. K.; GÜRGÜLÜ, E. B. H. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). **Agricultural Water Management**, v.109, p.155-161, 2012.
- ELAHI, E. L.; ZHANG, M.; ABID; ALTANGEREL, O.; KHUDA, B.; UYANGA, B.; AHMED, U.; HAN, X. Impact of the use of fertilizer balance on wheat efficiency in Pakistan's wheat cultivation system. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v.3, p. 1470 -1474, 2015.
- ESKANDARI H; GHANBARI A. Environmental resource consumption in wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) intercropping: comparison of nutrient uptake and light interception. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 2; p:100-103, 2010.
- FAN, X. X.; XU, Z. G.; LIU, X.Y.; TANGA, C. M.; WANG, L. W.; HAN, X. L. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, v.153, p.50–55, 2013.
- FAN, X.; CAO, X.; ZHOU, H.; HAO, L.; DONG, W.; HE, CA.; XUD, M.; WU, H.; WANG, L.; CHANG, Z.; ZHENG, Y. Carbon dioxide fertilization effect on plant growth under soil water stress associates with changes in stomatal traits, leaf photosynthesis, and foliar nitrogen of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) **Environmental and Experimental Botany**, v.179, p.104203, 2020.
- FAN, Z.; AN, T.; WU, K.; ZHOU, F.; ZHOU, F.; ZI, S.; YANG, Y.; XUE, G.; WU, B. Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. **Agricultural Water Management**, v.166, p. 9-16, 2016.
- FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 29-34, 2015.
- FERREIRA, D. F. 2011. **SISVAR - Sistemas de análises estatísticas**. Versão 5.3. Lavras: Departamento de Ciências Exatas, UFLA.
- FIAZ, K.; MALIK, S. A.; YOUNIS, U.; DANISH, S.; RAZA SHAH, M. H.; NIAZ, S. Drought impact on Pb/ Cd toxicity remediated by biochar in Brassica campestris. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 4, p. 845-854, 2014.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2008.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMES, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBO, M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress, **Physiologia Plantarum**. V. 127, p. 343–352, 2006.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Rome, 2017, p.180.
- FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell & Environment**, v. 31, 2005.
- FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, v.119, p.355-364, 2003.

- FRANCIS, C. A. Biological efficiencies in multiple-cropping systems. **Advances in Agronomy**, v. 42, p. 1-43, 1989.
- FRANCO, B.; MELO, D. G. **Microbiologia de alimentos**, Atheneu, São Paulo, 1996.
- GAO, Y.; DUAN, A.; SUN, J.; LI, F.; LIU, Z.; LIU, H.; LIU, Z. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip Intercropping. **Field Crops Research**, v.111, p. 65-73, 2009.
- GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases. **Annual review of biochemistry**, v. 44, n. 1, p. 147-159, 1975.
- GILBERTO, B.; FAVORETO, R. Estado da arte / estado da arte *Acmella oleracea* (L.) RK Jansen. **Revista Fitos**, v.5, p. 83 – 91, 2010.
- GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 48, n.12, p. 909–930, 2010.
- GITARIA, H. I.; GACHENEA, C. K.K.; KARANJAA, N. N.; KAMAUA, S.; NYAWADEA, S.; SHARMAB, K.; SCHULTE-GELDERMANN, E. Optimizing yield and economic returns of rain-fed potato (*Solanum tuberosum* L.) through water conservation under potato-legume intercropping systems. **Agricultural Water Management**, v. 208, n. 30, p.59-66, 2018.
- GREGER, H. Alkamides: a critical reconsideration of a multifunctional class of unsaturated fatty acid amides, **Phytochemistry reviews**. v.15, p. 729-770, 2016.
- GUERRA, A. M. N. de M.; COSTA, A.C. M.; TAVARES, P. R. de F. Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sombreamento. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 125-132, 2017.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; DEL PELOSO, M. J.; OLIVEIRA, J. P. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.15, n.7, p. 649-656, July 2011.
- GUIMARÃES, M. A.; LIMA NETO, B. P.; LEMOS NETO, H. S.; HENDGES, A. R. A. A.; VIANA, C. S.; RABELO, J. S. Agronomic performance of arugula/nira intercropping in different cultivation arrangements. **Horticultura Brasileira**, v. 38, p. 329-333, 2020.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia (*Acmella oleracea*): Características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. EDUFRA, 1ª ed., 2013, 135 p.
- HALL, M. K. D.; JOBLING, J. J.; ROGERS, G. S. Some perspectives on rocket as a
- HATAMI, M.; GHORBANPOUR, M. Defense enzyme activities and biochemical variations of *Pelargonium zonale* in response to nanosilver application and dark storage, **Turkish Journal of Biology**, v.38, n.1, 130-139, 2014.
- HAVIR, E. A; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant physiology**, Rockville, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987.
- HENDGES, A. R. A. A.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MESQUITA, R. O. Physiological performance and competitive ability in kale (*Brassica oleracea* var. *acephala* -

Manteiga da Georgia?) intercropped with important aromatic species and herbs. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p. 1181-1187, 2017.

HENDGES, A. R. A. A.; GUIMARÃES, M. A.; SILVA, J. C. V.; LIMA NETO, B. P. . Agronomic performance and biological efficiency of kale intercropped with spice species. **Revista Caatinga** , v. 32, p. 7-15, 2019.

HIMMELSTEIN, J.; ARES, A.; GALLAGHER, D.; MYERS, J. A meta-analysis of intercropping in Africa: impacts on crop yield, farmer income, and integrated pest management effects. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v.15, p.1-10, 2017.

HIND, N.; BIGGS, N. Plate 460. *Acmella oleracea* compositae. **Curtis's Botanical Magazine**, v. 20, n. 1, p. 31-39, 2003.

HOAGLAND, D. R; ARNON. The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experiment Station**, Circular. 347, 1938.

HOU, H. Z.; ZHANG, X. C.; TANG, Y. F.; FANG, Y. J.; MA, Y. F. Effects of potato-faba bean intercropping on crop productivity and soil water under a plastic mulch and ridge-furrow planting system in a semi arid área, **Acta Prataculturae Sinica**, v.25, n. 6, p.71-80, 2016.

impacts of co-products. **Journal of Cleaner Production**, v.73, p.80-87, 2014.

induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4 ed. São Paulo: IAL. 2008, 1020p.

JAHANSOOZ, M. R.; YUNUSA, I. A. M; COVENTRY, D. R.; PALMER, A. R; AMUS, D. Radiation and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. **European Journal of Agronomy**, v.26, p 275-282, 2007.

JAKSE, M.; HACIN, J.; KACJAN, N. Production of rocket (*Eruca sativa* Mill.) on plug trays and on a floating system in relation to reduced nitrate content. **Acta Agriculture Slovenica**, v.101, p:59-68, 2013.

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A. G.; ARAÚJO JÚNIOR, P.V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em Sistema semihidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n.1, p.78-82, 2017.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase Activities during Rice Leaf Senescence, **Plant Physiology**, v. 57, n.2, p.315-319, 1976.

KEESSTRA, S.; NUNES. J.; NOVARA, A.; FINGERE, D.; DAVID.; ZAHRA, K.; CERDÀH, A. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of The Total Environment**, v.610, p.997-1009, 2018.

KLEINHENZ, M. D.; BUMGARNER, N. R. U. **Using °brix as an indicator of vegetable quality: an overview of the practice**. Fact Sheet Agriculture and Natural Resources. The Ohio State University, 2012.

KOEFENDER, J.; SCHOFFEL, A.; MANFIO, C. E.; GOLLE, D. P.; SILVA, A. N.; HORN, R. C. Consorciação entre alface e cebola em diferentes espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 580-583, 2016.

- KOOCHEKI, A.; MOGHADDAM, P. R.; SEYYEDI, S. M. Saffron-pumpkin/watermelon: A clean and sustainable strategy for increasing economic land equivalent ratio under limited irrigation, **Journal of Cleaner Production**, v.208, p.1327-1338, 2019.
- KÖPPEN, W. Grundris der Klimakunde Walter de Gruyter. **Berlin, Germany**, 1931, 388p.
- KUMAR, A. L. I. C.; PORTIS JÚNIOR, A. R. Arabidopsis thaliana expressing a thermostable chimeric Rubisco activase exhibits enhanced growth and higher rates of photosynthesis at moderately high temperatures. **Photosynthesis Research**, v.100, p.143-153, 2009.
- LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. Springer, New York, New York, USA, Ed. 2. 2008.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. In: A Planta Sob Estresses. São Carlos: Rima, p. 341-448, 2004.
- LEE, S.H.; TEWARI, R.K.; HAHN, E.J.; PAEK, K.Y.; Photon flux density and light quality of *Withania Somnifera* (L.) Dunal plantlets. **Journal Plant Cell Tiss**, v. 90, p.141–151, 2007.
- LENNERTZ, R. C.; TSUNOZAKI, M.; BAUTISTA, D. M.; STUCKY, C. L. Physiological Basis of Tingling Paresthesia Evokedby Hydroxy-Sanshool. **Journal of Neuroscience**, v.30, p. 4353-4361, 2010.
- LI, L.; TILMAN, D.; LAMBERS, H.; ZHANG, F. S. Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. **New Phytologist**, v.203, p.63-69, 2014.
- LI, L.; YANG, S.; LI, X.; ZHANG, E.; CHRISTIE, P. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. **Plant Soil**, v. 212, p. 105-114, 1999.
- LI, L.; ZHANG, L.; ZHANG, F. Crop mixtures and the mechanisms of overyielding. **Encyclopedia of Biodiversity**, v. 2, p. 382-395, 2013.
- LI, L.; LI, S. M.; SUN, J. H.; ZHOU, L. L.; BAO, X. G.; ZHANG, H. G.; ZHANG, F. S. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 27, p. 11192-11196, 2007.
- LIAO, X.; SU, Z.; LIU, G.; ZOTARELLI, L.; CUI, Y.; SNODGRASS, C. Horticultural impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. **Agriculture Water Management**, v.165, p. 230-236, 2016.
- LILI MAO, L.; ZHANG, L.; LI, W.; WERFD, W. V. D.; SUNC, J.; SPIERTZD, H.; LI, L. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop, **Field Crops Research**, v. 138, p. 11-20, 2012.
- LIMA, J. S. S.; BEZERRA NETO, F. ; NEGREIROS, M. Z.; RIBEIRO, M. C. C.; BARROS JÚNIOR, A. P. Productive performance of carrot and rocket cultivars in strip-intercropping system and sole crops. **Agrociencia** (Montecillo), v. 44, p. 561, 2010.
- LIN, K. H.; CHAO, P.Y.; YANG, C. M.; CHENG, W.C.; LO, H. F.; AND CHANG, T. R.; The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves, **Botanical Studies**, v. 47, p. 417- 426, 2006.

- LIU, J.; LIU, Q.; YANG, H. Avaliando a escassez de água considerando simultaneamente os requisitos de fluxo ambiental, a quantidade de água e a qualidade da água **Indicadores Ecológicos**, v.60, p. 434 – 441, 2016.
- LOPES, L. S.; MARQUES, R. B.; FERNANDES, H. B.; PEREIRA, S. S.; AYRES, M. C.; CHAVES, M. H. ALMEIDA, F.R. Mechanisms of the antinociceptive action of (-) Epicatechin obtained from the hydroalcoholic fraction of *Combretum leprosum* Mart & Eic in rodents **Journal Biomedical Science**, v. 19, p. 68, 2012.
- LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**, Viçosa, MG : Ed UFV, 2015. 492p.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002. 396 p.
- LORENZI, H; MATOS, F.J.A. **Plantas Mediciniais no Brasil: nativas e exóticas**. 2.ed. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2008. 544p.
- MACÊDO, M. L.; COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do cajueiro-anão precoce na agricultura familiar. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 55-71, 2018.
- MACHADO DIAS, J. R. M. Cultivo consorciado de olerícolas em sistema agroecológico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 54, n. 1, p. 12-19, 2011.
- MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; PAULINO, M. A. O.; BARBOSA, F. S.;
- MAKOI; J. H. J. R.; CHIMPHANGO, S. B. M. DAKORA, F. D. Photosynthesis, water-use efficiency and  $\delta^{13}C$  of five cowpea genotypes grown in mixed culture and at different densities with sorghum, **Photosynthetica**, v. 48, n.1, p.143-155, 2010.
- MALOLEPSZA, U.; ROZALSKA, S. Nitric oxide and hydrogen peroxide in tomato resistance: Nitric oxide modulates hydrogen peroxide level in o-hydroxyethylrutin-induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 43, n. 6, p. 623–635, 2005.
- MANAVALAN, L.P.; GUTTIKONDA, S.K.; TRAN, L.S.P.; NGUYEN, H.T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant e Cell Physiology**, v. 50, p. 1260-1276, 2009.
- MARTINS, E. R.; COSTA, C.A. Uma leitura sobre a perspectiva do cultivo consorciado. **Unimontes Científica**, Montes Claros, v. 12, p. 9-14, 2010.
- MARTINS, M. B. G. Estudos de Microscopia óptica e de microscopia eletrônica de varredura em folhas de *Mentha spicata* e de *Menthaspicata* X *suaveolens* (Lamiaceae). **Bragantia**, v.61, p.205-218, 2002.
- MARWAT, S. K.; REHMAN, F.; KHAN, A. A. Phytochemistry and pharmacological values of rocket *Eruca sativa* Miller. **International Journal of Horticulture**, p. 1-7. 2016.
- MATYUSHIN, A. A.; EVDOKIMOVA, O. V. *Acmella oleracea*: A Comprehensive Study of Anatomical and Diagnostic Characteristics. **Journal of Pharmaceutical Sciences and Research; Cuddalore**, v. 9, ed.8, p. 1358-1362, 2017.
- MCGILCHRIST, C. A.; TRENBATH, B. R. A revised analysis of plant competition experiments. **Biometrics**, v.27, p.659-671, 1971.

- MOGHBELI, T.; BOLANDNAZAR, S.; PANAHANDE, J.; RAEI, Y. Evaluation of yield and its components on onion and fenugreek intercropping ratios in different planting densities. **Journal of Cleaner Production**, v.213, p.634–664, 2018.
- MONCLUS, R.; DREYER, E.; VILLAR, M.; DELMOTTE, F.M.; DELAY, D.; PETIT, J.M.; BARBAROUX, C.; LE THIEC, D.; BRÉCHET, C.; BRIGNOLAS, F. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *Populus nigra*. **New Phytologist**, v.169, p. 765-777, 2005.
- MONTEZANO, E. M; PEIL, R. M. N. Sistema de consórcio na produção de hortaliças. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, p. 129-132, 2006.
- MORRIS, R. A.; GARRITY, D. P. Resource capture and utilization in intercropping: water. **Field Crops Research**, v.34, p.303-317, 1993.
- MOTA, J. H.; VIEIRA, M. C.; CARDOSO, C. A. L. Alface e jateikaá em cultivo solteiro e consorciado: Produção e atividade antioxidante. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 551-557, 2010.
- MOUSAVI S. R.; ESKANDARI, H. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. **Journal of Applied Environmental and Biological Sciences**. v. 1, p. 482-486, 2011.
- MUSHAGALUSA, G. N.; LEDENT, J. F.; DRAYE, X. Shoot and root competition in potato/maize, intercropping effects on growth and yield. **Environmental and Experimental Botany**, v.64, p.180-188, 2008.
- MUTHURIA, C. W.; ONG, C. K.; CRAIGON, J.; MATIA, B. M.; NGUMI, V. W.; BLACK, C. R. Gas exchange and water use efficiency of trees and maize in agroforestry systems in semi-arid Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.129, p.497-507, 2009.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.
- NAMOI, N. L.; ONWONGA, R. N.; KARUKU, G. N.; ONYANGO, C. M.; KATHUMO, V. M. Influence of selected ecological farming practices on soil moisture retention and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench) and cassava (*Manihot esculanta* Crantz) in semi-arid Yatta sub-county, Kenya. **Journal Agricultural Science**, v. 6, p. 214-231, 2014.
- NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, L. M.; BAGGIO, C. H.; WERNER, M. F.; MARIA-FERREIRA, D.; SILVA, L. M.; CIPRIANI, T. R. Gastroprotective effect and structure of a rhamnogalacturonan from *Acmella oleracea*. **Phytochemistry**, v. 85, 137–142, 2013.
- NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, S. L. M.; BAGGIO, C. H.; WERNER, M. F. P. FERREIRA, D. M.; SILVA L. M. G. L.; GORIN, P. A. J. ; IACOMINI, M.; CIPRIANI, R. T. Efeito gastroprotetor e estrutura de um ramnogalacturonan de *Acmella*. **Fitoquímica**, v. 85, p.137-142, 2013.
- NASCIMENTO, M. V.; SILVA JUNIOR, R. L.; FERNANDES, L. R.; XAVIER, R. C.; BENNETT, K. S. S.; SELEGUINI, A.; BENNETT, C. G. S. Manejo da adubação nitrogenada nas culturas de alface, repolho e salsa. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 65-71, 2017.

- NAUDIN, C.; VAN DER WERF, H. M. G.; JEUFFROY, M. H.; CORRE-HELLOU, G. Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: a new method for handling the
- NING, C.; QU, J.; HE, L.; YANG, R.; CHEN, Q.; LUO, S.; CAI, K. Improvement of yield, pest control and Si nutrition of rice by rice-water spinach intercropping. **Field Crop**, v. 208, 34-43, 2017.
- NORRIS, S. L.; BLACKSHAW, R. P.; CRITCHLEY, C. N. R.; DUNN, R. M.; SMITH, K. E.; WILLIAMS, J.; RANDALL, N. P.; MURRAY, P. J. Intercropping flowering plants in maize systems increases pollinator diversity. **Agricultural and Forest Entomology**, v.20, p.246-254, 2018.
- NTARE, B. R.; WILLIAMS, J. H. Response of cowpea cultivars to planting pattern and date of sowing in Intercrops with pearl millet in Niger. **Experimental Agriculture**, v.28, n.1, p.41- 48, 1992.
- NTARE, B. R.; WILLIAMS, J. H.; DOUGBEDJI, F. Evaluation of groundnut genotypes for heat tolerance under field conditions in a Sahelian environment using a simple physiological model for yield. **Journal Agricultural Science**, v.136, p.81-88, 2001.
- NUNES JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S. F.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Ambiente & Água – An interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.12, n.1, 2017.
- NUNES, C. J. S.; SOUZA, M. L.; FERREIRA, R. L. F. Qualidade e pós-colheita da rúcula orgânica armazenada sob refrigeração. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, p. 2231-2240, 2013.
- NYOKI, D.; NDAKIDEMI, A. Yield Response of intercropped soybean and maize under rhizobia (*Bradyrhizobium japonicum*) inoculation and P and K fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, p.1168-1185, 2018.
- ODO, P. E. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the sudan savanna of Nigeria: Land Equivalent Ratio, Grain Yield and system productivity index. **Experimental Agriculture**, v.27, n.4, p.435-441, 1991.
- OKSMAN-CALDENTEY, K. M.; INZE, D. Plant cell factories in the post-genomic era: newways to produce designer secondary metabolites. **Trends in Plant Science**, v. 99, 2004.
- OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.
- OLIVEIRA, E. Q.; SOUZA, R. J.; CRUZ, M. C. M.; MARQUES, V. B.; FRANÇA, A. C. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 36-40, 2010.
- OLIVEIRA, L. J.; BEZERRA NETO, F.; LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, E. Q.; MOREIRA, J. N.; SILVA, I. N. Viability of polycultures of arugula-carrot-coriander fertilized with hairy woodrose under different population densities. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 611-617, 2017.
- OLIVEIRA, S. G; ALVES, L. F; TEIXEIRA, D. A; SILVA, H. E. R; BONFIM, F. P. G. Efeito alelopático do capim cidreira sobre a germinação e desenvolvimento de mudas de rúcula. **Revista Mirante**, v. 11, p. 1-17, 2018.

- PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.
- PANDEY, R.; CHACKO, P. M.; CHOUDHARY, M.L.; PRASAD, K.V.; PAL, M. Higher than optimum temperature under CO<sub>2</sub> enrichment influences stomata anatomical characters in rose (*Rosa hybrida*). **Science Horticulture**, v.113, p.74–81, 2007.
- PANKOU, C.; LITHOURGIDIS, A.; DORDAS, C. Efeito da irrigação em sistemas consorciados de trigo (*Triticum aestivum* L.) com ervilha (*Pisum sativum* L.). **Agronomy**, v.11, p. 283, 2021.
- PATANÈ, C.; COSENTINO, S. L. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. **Agricultural Water Management**. v.97, p.131–138, 2010.
- PAULRAJ, J.; GOVINDARAJAN, R.; PALPU, P. The genus *Spilanthes* ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacological properties: a review. **Advances in Pharmacological Sciences**, v.2013, p:1-22, 2013.
- PECZE, L.; PELSOCI, P.; KECSKÉS, M.; WINTER, Z.; PAPP, A.; KASZÁS, K.; LETOHA, T.; VIZLER, C.; OLÁH, Z. Resiniferatoxin mediated ablation of TRPV1+ neurons removes TRPA1 as well. **Canadian Journal of Neurological Sciences**, v.36, p. 234-241, 2009.
- PENG, X.; PU, T.; YANG, F.; YANG, W.; WANG, X. Effects of irrigation time and ratio on yield and water use efficiency of maize under monoculture and intercropping, **Scientia Agricultura Sinica**, 2019.
- PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**, Seropédica: Edur, 1998.
- PINTO, C. M.; PINTO, O. R. O. Avaliação da eficiência biológica e habilidade competitiva nos sistemas de consorciação de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p.105-122, 2012.
- PINTO, C. M.; PINTO, O. R. O.; PITOMBEIRA, J. B. Mamona e girassol no sistema de consorciação em arranjo de fileiras: eficiência biológica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.2, n.1, p.41-52, 2012.
- PINTO, C. M.; SIZENANDO FILHO, F. A.; CYSNE, J. R. B.; PITOMBEIRA, J. B. Produtividade e índices de competição da mamona consorciada com gergelim, algodão, milho e feijão caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.2, p.75-85, 2011.
- PLACIDE, R.; SHIMELIS, H.; LAING, M.; GAHAKWA, D. Physiological mechanisms and conventional breeding of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) to drought-tolerance, **African Journal Agricultural Research**, v. 8, p. 1837-1846. 2013.
- POORTER, H.; NIINEMETS, U.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; VILLAR, R. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. **New Phytologist**, v.182, p. 565-588, 2009.
- PORTO, R. A.; SILVA, E. M. B.; SOUZA, D. S. M.; CORDOVA, N. R. M.; POLYZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. Adubação potássica em plantas de rúcula: produção e eficiência no uso da água. **Revista Agro@mbiente**, v. 7, n. 1, p. 28-35, 2013.

POZO, A. D.; PÉREZ, P.; MORCUENDE, R.; ALONSO, A.; MARTÍNEZ-CARRASCO, R. Acclimatory responses of stomatal conductance and photosynthesis to elevated CO<sub>2</sub> and temperature in wheat crops grown at varying levels of N supply in a Mediterranean environment, **Plant Science**, v.169, p.908-916, 2005.

PRACHAYASITTUKAL, V.; PRACHAYASITTUKAL, S.; RUCHIWARAT, S.; PRACHAYASITTUKAL, V. High therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: a review. **Experimental and clinical Science Journal**, v. 12, p. 291-312, 2013.

RAMAKRISHNA, A.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling and Behavior**, v. 6, n.11, p.1720–1731, 2011.

RAMSEWAK, R. S.; ERICKSON, A. J.; NAIR, M. G. Bioactive N-isobutylamides from the flower buds of *Spilanthes acmella*. **Phytochemistry**, v. 51, p.729-732, 1999.

RAO, B.R.R. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium species*) as influenced by row spacings and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L.f. *piperascens* Malinv. ex Holmes). **Industrial Crops and Products**, v. 16, n. 2, p. 133-144, 2002.

REIS, H. F.; MELO, C. M.; MELO, E. P.; SILVA, R. A.; SCALON, SILVANA, P. Q. Conservação pós-colheita de alface crespa, de cultivo orgânico e convencional, sob atmosfera modificada. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 303-309, 2014.

REN Y.; LIU J.; WANG Z.; ZHANG, S. Planting density and sowing proportions of maize-soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p.70-79, 2016.

REZAEI-CHIYANEH, E.; AMIRNIA, R.; SATAR FOTOHI CHIYANEH, S.; MAGGI, F.; BARIN, M.; RAZAVI, B. S. Improvement of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) yield quality through a coupled intercropping system and vermicompost application along with maintenance of soil microbial activity. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 9, p. 2833-2848, 2021.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, Agriculture Handbook, n. 60, 2012, 159p.

RIPLEY, B. S, GILBERT, M. E, IBRAHIM, D. G, OSBORNE, C. P. Restrições à seca na fotossíntese C4: limitações estomáticas e metabólicas nas subespécies C3 e C4 de *Alloteropsis semialata*. **Journal Experimental Botany**, v.58, n.6, p.1351-1363, 2007.

RODRÍGUEZ-CALZADA, T.; QIAN, M.; STRID, A.; NEUGART, S.; SCHREINER, M.; TORRES-PACHECO, I.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R.G. Effects of UV-B radiation on morphology, phenolic compound production, gene expression, and subsequent drought stress responses in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 134, p.94-102, 2019.

ROJAS, A.; MORENO, L.; MELGAREJO, L. M.; RODRÍGUEZ, M. A. Physiological response of gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) to hydric conditions of the Colombian Caribbean. **Agronomía Colombiana**, v. 30, n. 1, p. 52-58, 2012.

SAKURADA, T.; MATSUMURA, T.; MORIYAMA, T. C.; SAKURADA, C.; UENO, S.; SAKURADA, S. Differential effects of intraplantar capsaizine and ruthenium red on

capsaicin-induced desensitization in mice. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v.75, p.115-121, 2003.

SAMPAIO, I. M. G. ; GUIMARÃES, M. A. ; LEMOS NETO, H. S. ; MAIA, C. L. ; VIANA, C. dos S. ; GUSMAO, S. A. L. . Recipientes e densidades de semeadura combinados com o tempo na produção de mudas de jambu. **Amazonian journal of agricultural and environmental sciences / revista de ciências agrárias**, v. 62, p. 1-10, 2019.

SAMPAIO, I. M. G. GUIMARÃES, M. A; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu? **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences / Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-8, 2018.

SANTANA, M. J. DE.; MANCIN, C. A.; RIBEIRO, A. A.; Evapotranspiração e coeficientes de cultura para o alface e a rúcula cultivadas em Uberaba-MG. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, p. 7-13, n. 2, 2016.

SANTANA, M. J.; VIEIRA, T. A.; BARRETO, A. C. Efeito dos níveis de reposição de água no solo na produtividade do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.1378-1384, 2009.

SANTOS, E. R.; GENTIL, D. F. O. Propagação de jambu por estaquia. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p.26-32, 2015.

SCHAAP, M. G. Rosetta (versão 1.1), **US Salinity Laboratory**, USDA, ARS: Riverside, CA, USA. 2003.

SHARMA, V.; BOONEN, J.; CHAUHAN, N. S.; THAKUR, M.; SPIEGELEER, B.; DIXIT, V. K. Spilanthes acmella ethanolic flower extract: LC-MS alkylamide profiling and its effects on sexual behavior in male rats. **Phytomedicine**, v.18, n.13, p.1161-1169, 2011.

SILVA, E. M. N. C. P.; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; TAVELLA, L. B; SOLINO, A. J. S. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**. v. 29 n.2, 2011.

SILVA, F. S. O.; LIMA, R. K. B S.; SANTOS, E. C. dos.; FERREIRA, L. L.; OLIVEIRA, N. P. S.; MIGUEL, L. C. O.; SILVA, T. T. F. da.; SILVA, V. L. F. da. Componentes de qualidade no coentro, cenoura e rúcula em função de sistema de cultivo e densidades populacionais. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, n. 1, p. 150-155, 2014.

SILVA, F. V.; DUARTE, S. N.; LIMA, C. J. G. S.; DIAS, N. S. SANTOS, R. S. S.; Medeiros, P. R. F. Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina, **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.476-482, 2013.

SILVA, L. P; SILVA, M. M. CORREA, M. M; SOUZA, F. C. D; SILVA, Ê. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.16, n.5, p.480-486, 2012.

SILVA, M .A.; SANTOS, C. M.; VITORIANO, H. S. RHEIN , A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em canade-açúcar photosynthetic pigments and spad index as descriptors of water deficit stress intensity in sugar cane, **Biosciencie Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

- SOUZA, J. P.; MACEDO, M. A. S. Análise de viabilidade agroeconômica de sistemas orgânicos de produção consorciada. **ABCustos Associação Brasileira de Custos**, v.2, p.57-78, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, M. I.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**. [S. l.]: Artmed editora, 2017.
- TANG, J. Z.; WANG, J.; WANG, E. L.; YU, Q.; YIN, H.; HE, D.; PAN, X. B. Identifying key meteorological factors to yield variation of potato and the optimal planting date in the agro-pastoral ecotone in North China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256-257, p.283-291, 2018.
- TJØLSEN, A.; BERGE, O. G.; HUNSKAAR, S.; ROSLAND, J. H.; HOLE K. The formalin test: an evaluation of the method, **Pain**, v. 51, p. 5-17, 1992.
- tomato under reduced irrigation. **Agriculture Water Management**, v.138, p.37–44, 2014.
- TRIPODI, P.; FRANCESE, G.; MENNELLA, G. Rocket salad: crop description, bioactive compounds and breeding perspectives. **Horticultural Science**, v.31, n.2, p:107-113, 2017.
- United State Department of Agriculture (USDA). **National Nutrient Database for Standard Reference Release Legacy**. April, 2018 Basic Report. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/302457?manu=&fgcd=&ds=SR&q=Arugula,%20raw>. Acesso em: 12 agosto 2021.
- URANKAR, M.; DESAI, A.; BHAT, R. Review on medicinal herb genus spilanthus and its applications in oral hygiene. **Universal Journal of Pharmacy**, v.2, n.6, p. 25-33, 2013, v.9,150p.
- VANHAM, D; HOEKSTRA, AY; WADA, Y; BOURAOUI, F; ROO, DE A; MEKONNEN DE, M. M. Métricas físicas de escassez de água para monitorar o progresso em direção à meta dos ODS 6.4: Uma avaliação do indicador 6.4.2 “Nível de estresse hídrico”, **A ciência do ambiente total**, p. 218 – 232, 2018.
- VASCONCELOS, M. C. C. A.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S. Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 01-06, 2012.
- VERYSER, L., WYNENDAEL, E., TAEVERNIER, L., VERBEKE, F., JOSHIB, T., TATKEB, P.; SPIEGELEER, B. N-alkylamides: From plant to brain. **Functional Foods in Health & Disease**, v.4, n.6, p: 264-275, 2014.
- VIANA, C. S.; GUIMARAES, M. A. ; LEMOS NETO, H. S.; LIMA NETO, B. P. ; SAMPAIO, I. M.G.; HENDGES, ANA, R. A. A.; RABELO, J. S. Intercropping arugula with aromatic condiment species affords better yields, biological efficiency and financial return. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1-14, 2021.
- VILLACHICA, H.; CARVALHO, J.; MULLER, H.; DIAZ, C. **Frutales y hortalizas promissórios de la Amazônia**. Lima: TCA; Secretaria Protempore, p. 322-327, 1996.
- VILLATORO-PULIDO M, FONT R, SAHA S, OBREGON-CANO S, ANTER J, MUNOZ-SERRANO A, HARO-BAILÓN, A.; ALONSO-MORAGAE, A.; DEL RÍO-CELESTINO,

M. In vivo biological activity of rocket extracts (*Eruca vesicaria* subsp. *Sativa* (Miller) Thell) and sulforaphane. **Food and Chemical Toxicology**, v.50, n. 5, p.1384-1392, 2012.

VOGELER, I.; MACKAY, A.; VIBART, R.; RENDEL, J.; BEAUTRAIS, J.; DENNIS, S. Effect of inter-annual variability in pasture growth and irrigation response on farm productivity and profitability based on biophysical and farm systems modelling. **Science of The Total Environment**, v.565, p. 564–575, 2016.

WANG SHU-GUANG, JIA SHOU-SHAN, SUN DAI-ZHEN, FAN HUA, CHANG XIAO-PING, JING RUI-LIAN. Mapping QTLs for stomatal density and size under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Integrative Agriculture**, v.15, n.9, 2016.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.307-313, 1994.

WILCOCK, R. J.; NASH, D.; SCHMIDT, J.; LARNED, S.T.; RIVERS, M. R.; FEEHAN, P. Inputs of nutrients and fecal Bacteria to freshwaters from irrigated agriculture: case studies in Australia and New Zealand. **Environ Manage**, v.48, p.198-211, 2011.

WILLEY, R. W. Intercropping: its importance and research needs. Part 1: Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n.1, p.1-10, 1979.

WILLEY, R. W.; RAO, M. R. A. Competitive ratio for quantifying competition between intercrops. **Experimental Agriculture**, v. 16, n.2, p.117-125, 1980.

XINCHUN, C.; MENGYAN, W.; XIANGPING, G.; YALIAN, Z.; YAN, G.; NAN, W.; WEIGUANG, W. Assessing water scarcity in agricultural production system based on generalized water resources and water footprint framework. **Science of the Total Environment**, v. 609, p.587-597, 2017.

XU, B. C.; LI, F. M.; SHAN, L. Switchgrass and milkvetch intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency, **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 485-492, 2008.

XU, Z. H.; VU, N. T.; KIM, S. H.; KIM, L. S. Breeding of Salad Rocket (*Eruca sativa* Miller.) Varieties for Healthy Functional Properties. **Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences**, v. 26, n.1, p. 24-30, 2014.

YAVUZ, D.; YAVUZ, N.; SEYMEN, M.; TURKMEN, O. Evapotranspiration, crop coefficient and seed yield of drip irrigated pumpkin under semi-arid conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 197, n.14, p.33-40, 2015.

York, New York, USA, Ed. 2. 2008.

ZENG, L.; LIN, X, ZHOU, F.; QIN, J.; LI, H. Biochar and crushed straw additions affect cadmium absorption in cassava-peanut intercropping system. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 167, p. 520-530, 2019.

ZHANG C.; LI, M.; GUO, P. An interval multistage joint-probabilistic chanceconstrained programming model with left-hand-side randomness for crop area planning under uncertainty. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, n. 20, p.1276-1289, 2017.

ZHANG, F.; GUO, S.; ZHANG, C.; GUO, P. An interval multiobjective approach considering irrigation canal system conditions for managing irrigation water. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 293-302, 2019.

ZHANG, H-X., D-C. CHI, Q. WANG, J. FANG AND X-Y. FANG. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under sub surface drip irrigation in solar greenhouse. **Agronomic Science**, v. 10, p. 921-930, 2011.

ZHANG, S.; JIANG, H.; PENG, S.; KORPELAINEN, H.; LI, CHUNYAN. Diferenças relacionadas ao sexo nas respostas morfológicas, fisiológicas e ultraestruturais de *Populus cathayana* ao frio. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 675-686, 2011.

ZHANG, W. P.; LIU, G. C.; SUN, J. H.; FORNARA, D.; ZHANG, LI. Z.; ZHANG, F. F.; LI, L. Temporal dynamics of nutrient uptake by neighbouring plant species: evidence from intercropping. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 469-479, 2016.