



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA

NICHOLAS RIBEIRO SILVA

**TROCAS GASOSAS EM RÚCULA (*Eruca sativa* Miller) PRODUZIDA EM SISTEMA
HIDROPÔNICO NFT COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO
NUTRITIVA.**

FORTALEZA
2019

NICHOLAS RIBEIRO SILVA

**TROCAS GASOSAS EM RÚCULA (*Eruca sativa* Miller) PRODUZIDA EM SISTEMA
HIDROPÔNICO NFT COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO
NUTRITIVA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva.

Coorientadora: Eng. Agrícola e Ambiental Jennyfer da Silva Gomes Santos.

FORTALEZA

2019

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)

- S581t Silva, Nicholas Ribeiro.
Trocas gasosas em rúcula (*Eruca Sativa* Miller) produzida em sistema hidropônico Nft com diferentes concentrações de solução nutritiva / Nicholas Ribeiro Silva. – 2019.
29 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva.
Coorientação: Profa. Jennyfer da Silva Gomes Santos..
1. Nutrição de Plantas. 2. Olericultur. 3. Tecnologia. I. Título.

CDD 630

NICHOLAS RIBEIRO SILVA

**TROCAS GASOSAS EM RÚCULA (*Eruca sativa* Miller) PRODUZIDA EM SISTEMA
HIDROPÔNICO NFT COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO
NUTRITIVA.**

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo

Aprovada em: 22/11/2019.

BANCA EXAMINADORA

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

Eng. Agrícola e Ambiental Jenyffer da Silva Gomes Santos (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M. Sc. José Arnaldo Farias Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC)

M. Sc. Maria da Saúde de Sousa Ribeiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Ana Elizandra e Sousa, e aos amigos por todo apoio, carinho e incentivo durante todo o percurso até aqui.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará e ao Centro de Ciências Agrárias, por propiciarem minha graduação.

Ao Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva e Jenyffer da Silva Gomes Santos, pela excelente orientação, disponibilidade, ensinamentos e paciência.

Aos participantes da banca examinadora, José Arnaldo Farias Sales e Maria da Saúde de Sousa Ribeiro pelo tempo dedicado, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas do GPEAS, por auxiliarem na manutenção do sistema, sempre com bom humor.

Aos tutores e cotutores do Programa de Educação Tutorial (PET) do curso de Agronomia, Prof.^a Dr.^a Rosilene Oliveira Mesquita, Prof.^a Dr.^a Cândida Herminia Campos de Magalhães e Prof. Dr. Ervino Bleicher, pelos exemplos de excelentes pessoas, pelos incentivos e ensinamentos durante todo meu tempo neste grupo.

Aos colegas PET Agronomia, Sabrina, Caio, Gleison, Laís, Jarlane, Mariane, Carol e todos os outros que participarem dessa extensa história, pela excelente experiência no grupo, por me fazer encontrar meus caminhos no curso e por me fazer acreditar em um futuro melhor.

A família que formei na UFC, em especial a Valeska, William e Yago por me tolerarem durante todo este tempo, por tornar Fortaleza minha casa e deixar a minha vida muito mais aconchegante, além, claro, das boas reflexões, críticas e sugestões compartilhadas.

Aos meus familiares por todo auxílio durante toda essa jornada.

Aos meus pais, simplesmente por serem os melhores pais que um ser humano pode ter em toda sua vida.

“Inteligência é a habilidade de se adaptar às mudanças.”

Stephen Hawking

RESUMO

A hidroponia se mostra como uma valorosa ferramenta para a produção dos mais diferentes vegetais, inclusive em áreas que seriam consideradas não propícias para a agricultura. No entanto, ainda há necessidade de adequação deste sistema aos mais diferentes meios de produção. Este trabalho se propôs a utilizar trocas gasosas como um parâmetro para determinar uma diluição de uma solução nutritiva padrão que seja ideal para a produção de rúcula hidropônica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com dois equipamentos diferentes para controle do período de irrigação, um protótipo (Equipamento 1) e um comercial (Equipamento 2), com tratamentos consistindo em diluições da solução nutritiva proposta por Furlani (1997), em doses de 100, 80, 60, 40 e 20%. Foram avaliadas trocas gasosas na interface planta-atmosfera com um analisador de gases por infravermelho (IRGA), como fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i) e transpiração foliar (E), que teve seu máximo de $4,31 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Com isso, foi possível constatar que não houve diferença significativa para a maioria dos parâmetros ao analisar as diferentes soluções nutritivas, excetuando-se a transpiração foliar. Além disso, um dos equipamentos utilizados para a regulação do período de irrigação demonstrou melhor potencial para controle de temperatura foliar, importante característica para plantas mais sensíveis.

Palavras-chave: Nutrição de plantas. Olericultura. Tecnologia.

ABSTRACT

Hydroponics proves to be a valuable tool for the production of the most diverse vegetables, including in areas that would be considered unfit for agriculture. However, there is still a need to adapt this system to the most different means of production. This study proposed to use gas exchange as a parameter to determine a dilution of a standard nutrient solution that is ideal for hydroponic arugula production. The experiment was conducted in a greenhouse, using a randomized complete block design in split-plot scheme with two different irrigation period control equipment, a prototype (Equipment 1) and a commercial one (Equipment 2), with treatments consisting of dilutions of the nutrient solution proposed by Furlani (1997), in doses of 100, 80, 60, 40 and 20%. Gas exchange was evaluated at the plant-atmosphere interface with an infrared gas analyzer (IRGA), such as photosynthesis (A), stomatal conductance (g_s), internal CO_2 concentration (C_i) and leaf transpiration (E), which had its maximum of $4.31 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Thus, it was found that there was no significant difference for most parameters when analyzing the different nutrient solutions, except for leaf sweating. Also, one of the equipment used to regulate the irrigation period demonstrated better potential for leaf temperature control, an important feature for more sensitive plants.

Keywords: Plant nutrition. Olericulture. Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão geral da estrutura.	19
Figura 2. Croqui com distribuição e estrutura experimental.	20
Figura 3. Representação esquemática do perfil.	21
Figura 4. Valores médios das variações diárias de CE ao longo do ciclo de rúcula nos equipamentos analisados.	23
Figura 5. Valores médios das variações diárias de pH ao longo do ciclo de rúcula nas diluições avaliadas.	24
Figura 6. Concentração interna de CO ₂ (C _i), assimilação de Co ₂ , Condutância estomática (g _s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C _i) em folhas de rúcula aos 30 DAT.	26
Figura 7. Variação de temperatura foliar nos diferentes blocos e equipamentos utilizados (A e B) e diferença na transpiração de acordo com a solução utilizada (C) em rúcula aos 30 DAT.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Recomendação de fertilizantes para o preparo de 1000L de solução nutritiva utilizados como fonte de macro e micronutriente para hidroponia de hortaliças folhosas (FURLANI, 1997).	20
Tabela 2. Resumo da análise de variância aplicada à temperatura foliar, concentração interna de CO ₂ , transpiração, condutância estomática, fotossíntese líquida e eficiência instantânea de carboxilação água em função dos equipamentos e diferentes diluições de solução nutritiva. .	25

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Fotossíntese ou taxa de assimilação de CO ₂
CE	Condutividade elétrica
dS/m	Decisiemens por metro
E	Transpiração foliar
EiC	Eficiência instantânea de carboxilação
<i>gs</i>	Condutância estomática ao vapor d'água
pH	Potencial hidrogeniônico
<i>Tleaf</i>	Temperatura na superfície foliar
Ci	Concentração interna de CO ₂

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Rúcula: Origem e importância.....	16
2.2 Hidroponia: histórico e desenvolvimento.....	16
2.3 Solução nutritiva.....	17
2.4 Tucas gasosas.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

A olericultura, no Brasil, gera um número expressivo de empregos. Estima-se que a atividade gere 2,2 milhões de empregos diretos, movimentando cerca de 23,2 bilhões de reais no ano de 2017 (CNA, 2017). No entanto, ainda pode-se distribuir melhor as novas tecnologias dos centros de pesquisa para o produtor rural.

Dentre as diversas hortaliças cultivadas, a rúcula tem mostrado grande potencial, inclusive se comparada a outras folhosas (KALLIANY et al., 2009). Segundo o IBGE (2019), no Brasil, haviam, em 2006 cerca de 11257 unidades produtoras de rúcula, juntas, eram responsáveis pela produção de cerca de 25 mil toneladas de rúcula, movimentando em torno de 37 milhões de reais. Apesar disso, seu consumo é mais expressivo na região sul e sudeste, porém este tem se expandido por todo o país, com possibilidade de consumo em saladas, massas, molhos e sopas (PAULA JÚNIOR; VENZON, 2007). Embora o consumo e cultivo desta hortaliça se mostre em expansão no Nordeste, ainda são escassas as informações sobre seus aspectos produtivos.

Apesar das diversas formas de produção, uma opção para atender esta demanda crescente pode ser encontrada na hidroponia. Esta técnica se define como o cultivo de plantas sem a utilização de solo, suprimindo sua necessidade nutricional por meio de uma solução nutritiva, possibilitando, desta maneira, a produção de quaisquer vegetais, em especial os de pequeno porte, como hortaliças, condimentares e ornamentais (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012). Além da diversidade de vegetais possíveis de se produzir, com a hidroponia é possível utilizar áreas que seriam consideradas impróprias para o cultivo, como áreas alagadas desertos e montanhas (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012).

Como uma tecnologia relativamente nova, a hidroponia ainda necessita de muitos avanços para seu melhor uso. Ao se tratar de composição da solução nutritiva, FURLANI (1997) propõe um solução nutritiva padrão para hortaliças folhosas, no entanto, o mesmo autor salienta que a composição da solução pode ser afetada por diversos fatores, que vão desde a própria concentração de nutrientes e ainda permeiam até o tipo de sistema utilizado, espécie vegetal, cultivar da planta, idade das plantas e fatores ambientais. Mesmo havendo diversas propostas de solução nutritiva na literatura, elas divergem principalmente na concentração de macronutrientes, uma vez que as concentrações de micronutrientes apresentam menores diferenças.

Logo, para uma melhor adequação e avaliação de uma solução nutritiva ideal para um sistema hidropônico, deve-se levar em conta o que foi levantado pelo autor, mas também a

própria composição nutricional da planta, além de buscar fatores fisiológicos que corroborem com o seu melhor desempenho produtivo.

Há, no entanto, a necessidade de mais estudos para adequar as soluções nutritivas às mais diversas culturas que podem ser produzidas em hidroponia. Este trabalho tem, portanto, o objetivo de avaliar diferentes diluições da solução nutritiva de FURLANI (1997) para propiciar o melhor resultado de cultivo da rúcula no litoral do estado do Ceará.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rúcula: Origem e importância

A rúcula é uma espécie anual pertencente à família *Brassicaceae*. A espécie é conhecida desde a antiguidade, sendo conhecida por seu pequeno porte, sendo bastante consumida na região do mediterrâneo, seu centro de origem e domesticação, por suas características organolépticas (PADULOSI e PIGNONE, 1997; BORGES et al., 2014). Seu ciclo é relativamente rápido, de 30 a 45 dias e seu consumo se dá pela utilização de suas folhas, principalmente em saladas.

Apesar de ser considerada uma hortaliça de clima ameno, Pegado (2004) informa que há possibilidade de produção em todo país, sendo uma opção atrativa aos produtores brasileiros, inclusive de áreas quentes e úmidas. Além da parte produtiva, a rúcula se mostra como uma das mais nutritivas hortaliças folhosas, Porto et al. (2013) destacam na sua constituição minerais como potássio, enxofre e ferro, se mostrando, também, fonte das vitaminas A e C. Segundo o Censo Agropecuário (2019), no ano de 2006 foram produzidos cerca de 25 mil toneladas de rúcula, tal mercado movimentou em torno de 37 milhões de reais, demonstrando o potencial da cultura no país.

Apesar de seu recente ingresso na cultura brasileira, há vários estudos que se propõem a melhorar seu cultivo nos mais diversos ambientes brasileiros, inclusive via hidroponia (JESUS et al., 2015; LUZ et al., 2011; PURQUERIO et al., 2008; SILVA et al., 2012). Todo este cenário promove melhor desempenho da cultura, possibilitando maior acesso a toda a população, e, possivelmente, maior consumo.

2.2 Hidroponia: histórico e desenvolvimento

Ao se analisar, etimologicamente, hidroponia significaria trabalho com água (*hydro* = água e *ponos* = trabalho), no entanto, Bezerra Neto e Barreto (2012) a definem como uma técnica de cultivo de plantas com o fornecimento dos minerais em uma solução nutritiva. Apesar de ser considerada uma técnica nova, a elaboração de fórmulas de solução nutritiva data de 1830, por Sachs e Knop, mas os primeiros relatos na literatura datam do século anterior (FURLANI, 2004; BATAGLIA, 2006).

Há sistemas hidropônicos passivos e ativos. Os primeiros consistem em mecanismos como a capilaridade, absorção ou gravidade para o fornecimento da solução nutritiva, já nos meios ativos há um mecanismo que faz este papel. As técnicas principais de

hidroponia são: *Nutrient Film Technique*, *Drip-Irrigation* ou *Micro-Irrigation*, *Aeroponics* ou *Deep Water Culture*, *Flood & Drain (EBB and Flow)*, *Water Flows*. (SAAID, et al., 2013)

No Brasil, o NFT (*Nutrient Film Technique*) mostra-se como o sistema mais utilizado e há maior preferência dos produtores pelo cultivo de folhosas (FURLANI, 1997). Este sistema consiste em um sistema fechado que dispõe de um fluxo contínuo de solução nutritiva que pode apresentar pequenos turnos de funcionamento. Douglas (2001) ainda destaca que o sistema hidropônico propicia maiores vantagens como a utilização de espaços que não seriam utilizados por cultivos convencionais, plantas de melhor qualidade e menores custos, já Potrich, Pinheiro e Schimidt (2012) destacam o menor uso de água e fertilizantes, menor número de operações e antecipação da colheita. Diante disso, percebe-se uma crescente utilização de hidroponia no Brasil. Assim, têm-se cerca de 50 a 70 mil hectares de cultivo hidropônico no país (LIMA, 2014).

2.3 Solução nutritiva

Na hidroponia, um dos principais fatores a se considerar é a solução nutritiva, uma vez que esta influencia na biomassa e qualidade do produto. Cometti et. al. (2018) definem solução nutritiva como um sistema homogêneo que apresenta nutrientes em quantidade e proporção adequadas e presença de O₂. Esta solução deve ser composta pelo menos pelos elementos essenciais para o crescimento vegetal, ou seja, elementos que são componente intrínsecos e na estrutura ou metabolismo da planta, cuja ausência leva ao impedimento do ciclo de vida vegetal (TAIZ et al., 2017).

Apesar dos primeiros relatos sobre solução nutritiva datarem de antes do século XIX, somente no século XX seu desenvolvimento se tornou mais expressivo (COMETTI et al, 2018). Os autores ainda trazem que é consenso que não há uma solução nutritiva tida como ideal para todas as culturas, dado os diversos fatores bióticos (espécie, estado fenológico) e abióticos (época do ano, luminosidade, pH, força iônica) que influenciam sua constituição.

Os elementos que são fornecidos via solução nutritiva na forma de sais, devem ser facilmente dissolvidos em água, apresentar baixo custo e ser facilmente encontrado no comércio local. Junto a isso, com a modernização dos sistemas hidropônicos, foi possível a diminuição da CE da água, facilitando a absorção de água pela planta e promovendo equilíbrio entre a absorção hídrica e iônica (COMETTI et al, 2018).

2.4 Trocas gasosas

Condições de estresse em plantas interferem diretamente em diversos parâmetros nas plantas, a saber: metabolismo, fisiologia e morfologia. Estes aspectos em conjunto contribuem para reduzir a taxa fotossintética da planta e seu crescimento vegetativo (TAIZ et al., 2017). Há diversas respostas ao estresse, em especial o hídrico, que podem ser identificados através de uma análise de troca de gases na interface planta-atmosfera, uma vez que o estresse hídrico leva ao fechamento estomático, reduzindo a captação de CO₂ (TAIZ et al., 2017)

Assim, sistemas de análise dessas trocas gasosas foram projetados para quantificar os efeitos do ambiente na produção instantânea de uma planta. Na folha, estes equipamentos analisam a fotossíntese pela troca de vapor de água e CO₂ entre a planta e a atmosfera, além disso, há o controle de diversos fatores nesta interface, a saber: fluxo de gases, temperatura da folha e nível incidente de luz (LONG; FARAGE; GARCIA, 1996).

Dentre os fatores analisados, a taxa fotossintética é estimada com uma taxa de assimilação de CO₂ em um fluxo no sistema, dada pela diferença na concentração do gás no início e fim do sistema, relacionada com a área foliar. A taxa de transpiração é medida pela diferença de concentração de vapor d'água também no início e fim do sistema, multiplicada pelo fluxo do sistema, com o produto dividido pela área foliar. Já a condutância pode ser considerada como o inverso da resistência a difusão na folha, podendo ser correlacionada com a abertura estomática. Com posse destes dados, pode-se calcular diversos índices como a taxa de assimilação de CO₂, eficiência de carboxilação, eficiência do uso da água, por exemplo, que auxiliam na avaliação do estado da planta (LONG; FARAGE; GARCIA, 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no município de Fortaleza, na área da Estação Agrometeorológica, localizada na latitude $3^{\circ} 44' 43,273''$ S e longitude $38^{\circ} 34' 56,650''$ W. O experimento foi realizado em casa de vegetação, com dimensões 6,25 m de largura, 12,0 m de comprimento e 4,0 de pé direito, sua cobertura em arco simples era constituída por filme de polietileno de baixa densidade de 0,1 mm de espessura. Além do filme, a casa de vegetação dispunha de uma manta sombrite de 30 %, junto a isso, o piso também foi revestido com manta geotêxtil Bidin visando a redução de poeira no sistema e evitar a proliferação de plantas invasoras (Figura 1).

Figura 1. Visão geral da estrutura.

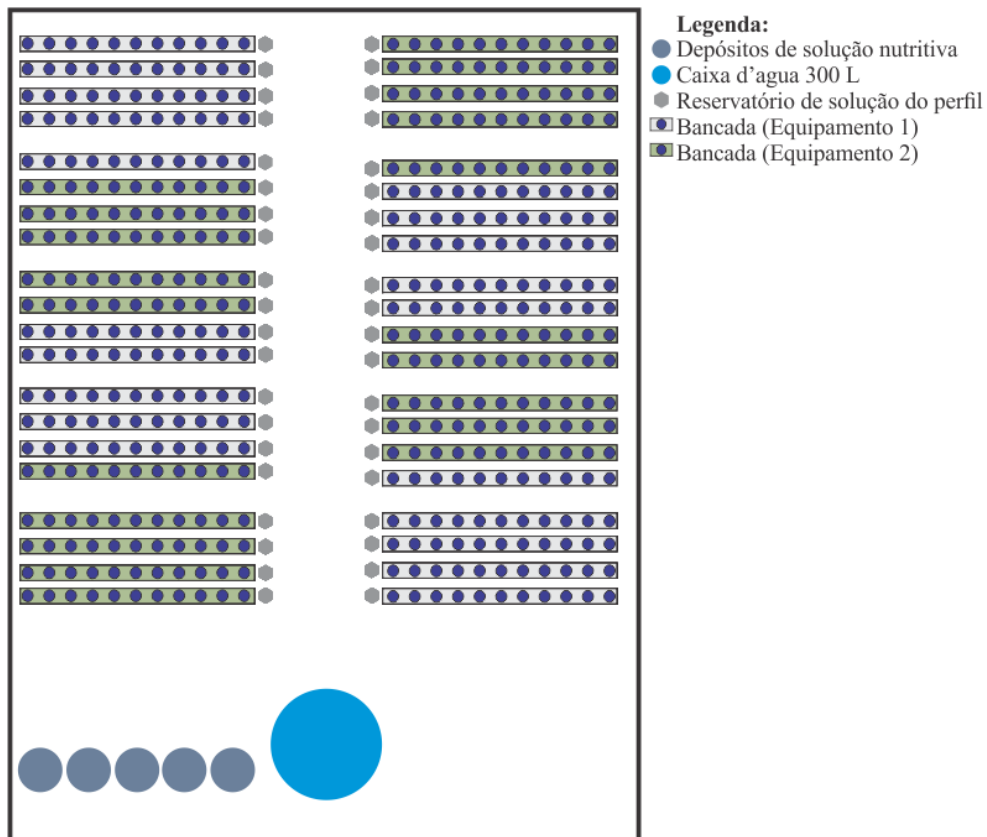


Os tratamentos foram dispostos em Delineamento em Blocos ao Acaso, dispondo de 4 blocos, com cada bloco sendo constituído de 10 perfis hidropônicos, além disso, utilizou-se esquema de parcelas subdivididas, com os dois equipamentos utilizados para controle de período de irrigação controlando 5 perfis em cada bloco (Figura 2). Foram utilizados como tratamentos diferentes níveis de diluição 100% (T1); 80% (T2); 60% (T3); 40% (T4) e 20% (T5) da dose de macronutrientes recomendada por Furlani (1997) (Tabela 1), permanecendo inalteradas as doses de micronutrientes. Além disso, cada perfil hidropônico representa uma unidade experimental com 8 plantas. Em todos os tratamentos buscou-se manter o nível de solução nos reservatórios, para tal, o volume foi repostado com a respectiva solução.

Tabela 1. Recomendação de fertilizantes para o preparo de 1000L de solução nutritiva utilizados como fonte de macro e micronutriente para hidroponia de hortaliças folhosas (FURLANI, 1997).

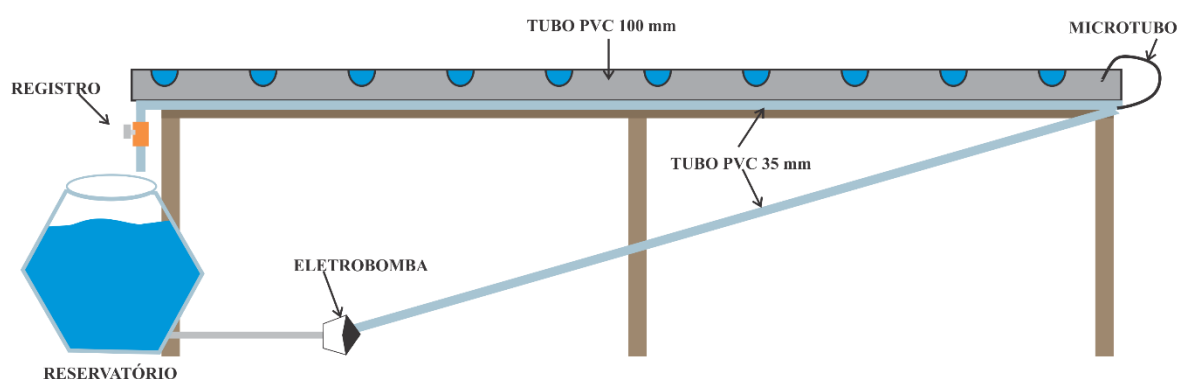
Sal/Fertilizante	g 1000L ⁻¹
Nitrato de Cálcio	750,0
Nitrato de Potássio	500,0
Fosfato monoamônio (MAP)	150,0
Sulfato de magnésio	400,0
Sulfato de cobre	0,15
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de manganês	1,50
Ácido bórico ou	1,50
Bórax	2,30
Molibdato de sódio ou	0,15
Molibdato de amônio	0,15
Tenso-Fe® (FeEDDHMA-6% Fe) ou	30,0
Dissolvine® (FeEDTA-13%Fe) ou	13,8
Ferrilene® (FeEDDHA-6%Fe) ou	30,0
FeEDRANA ₂ (10mg.mL ⁻¹ de Fe)	180 mL

Figura 2. Croqui com distribuição e estrutura experimental.



O cultivo se iniciou com a semeadura em bandejas de polietileno com 162 células, preenchidas com substrato a base de fibra de coco e casca de arroz, na proporção de 3:1, respectivamente, distribuindo-se 3 sementes de rúcula variedade “Cultivada” por célula, numa profundidade de 0,5 cm. Nas semanas seguintes as bandejas foram irrigadas com água doce. Após três semanas as mudas foram transplantadas para o sistema hidropônico, transplantando-se uma muda por orifício do perfil. A estrutura do sistema é composta por 40 perfis independentes compondo um sistema hidropônico NFT, sendo constituídos de: um reservatório plástico de 50 litros; uma eletrobomba de 35 watts de potência; mangueiras em silicone de 35 mm, perfil hidropônico em PVC de diâmetro 100 mm, comprimento de 3 m e orifícios de 5 cm de raio com espaçamento de 25 cm entre eles, possuindo uma inclinação de 3%, adaptando o modelo proposto por SOARES et al. (2009) (Figura 3).

Figura 3. Representação esquemática do perfil.



Para o controle dos períodos de irrigação do sistema, foram utilizados dois equipamentos, um consistindo por um controlador mecânico comercial (Equipamento 2), programado para funcionar em turnos de 15/15 (ligado/desligado) minutos durante o dia e 15/30 minutos durante a noite, o outro equipamento teste (Equipamento 1) programado para variar os turnos de irrigação de acordo com as características ambientais, variando em turnos de 10/30; 15/15 e 30/30. Diariamente foram realizadas leituras de condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) da solução nutritiva por um medidor de pH/Condutividade ExStick EC500 (Extech).

O fim do ciclo da cultura (30 dias após transplante), foram analisadas 2 plantas em posições aleatórias em cada perfil, destas foram avaliadas a assimilação líquida de CO_2 (A) em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; transpiração foliar (E) em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; condutância estomática de vapor d'água (gs) em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; concentração interna de CO_2 (Ci) em $\mu\text{mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$; temperatura foliar (*Tleaf*), em °C; além disso foi calculada a eficiência instantânea de

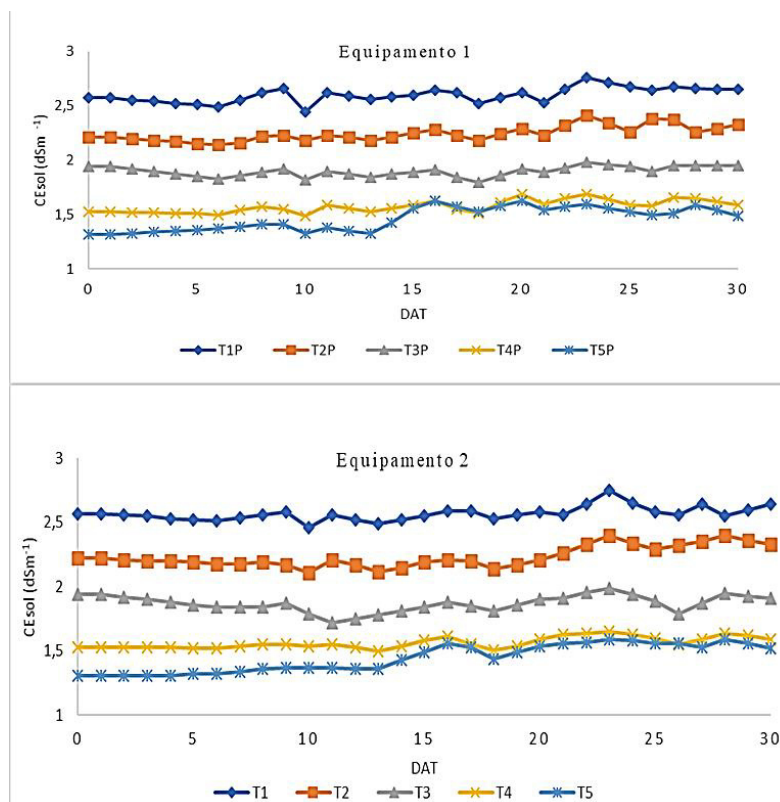
carboxilação, em $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$. As leituras foram realizadas sob luz saturante ($1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), com concentração de CO_2 constante (400 ppm) e temperatura ambiente). Para tal, utilizou-se de um analisador de gases por infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT (LICOR).

Os dados das variáveis resposta foram submetidos a análise de variância pelo teste de médias Fisher (LSD), com 5% de probabilidade de erro e análise de regressão para as concentrações da solução.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 4, encontram-se os valores de condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva durante o ciclo da cultura (30 DAT) em função das diferentes concentrações de solução nutritiva e do equipamento utilizado.

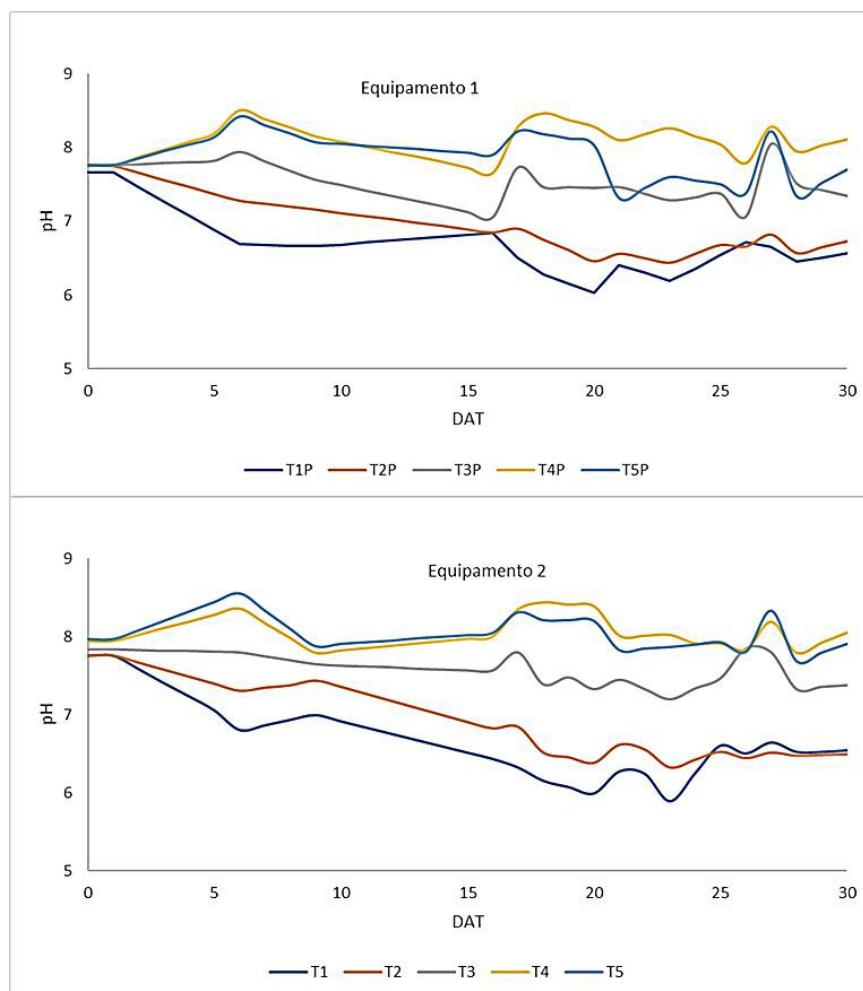
Figura 4. Valores médios das variações diárias de CE ao longo do ciclo de rúcula nos equipamentos analisados.



Pode-se verificar que independentemente do tratamento utilizado houve tendência a manutenção da CE ao longo do ciclo, ficando os tratamentos de 1 a 5 com CE média de 2,6; 2,3; 1,9; 1,6 e 1,4 dS m⁻¹, respectivamente. As maiores alterações ocorreram principalmente no tratamento 5, que apresentou maior aumento ao final do ciclo. Este comportamento provavelmente deve-se a menor absorção de nutrientes, dado que a água utilizada para a formulação da solução provinha de poço, com constituição química variável, afetando as relações de absorção entre os nutrientes.

O comportamento padrão da CE da solução é o decréscimo, visto que à medida que as plantas absorvem os nutrientes deve ocorrer a diminuição da condutividade, como observado por Soares (2018). A manutenção dos seus níveis, no entanto, se justifica pela utilização de uma solução formulada para a reposição dos níveis dos reservatórios de cada perfil, mantendo, assim, a condutividade da solução.

Figura 5. Valores médios das variações diárias de pH ao longo do ciclo de rúcula nas diluições avaliadas.



No caso do potencial hidrogeniônico (Figura 5), observou-se a manutenção dos seus níveis acima do recomendado por Furlani (1997) e Fernandes et al. (2018), que indicam uma faixa de pH variando de 5,5 a 6,5. Os maiores valores de pH foram encontrados nos tratamentos 4 e 5, chegando até a 8,42, os menores se encontraram nos tratamentos 1 e 2, que, em alguns períodos, chegaram a 6,03.

Esta situação pode ser explicada pela água utilizada para a formulação da solução que é proveniente de poços profundos, com característica de ser alcalina. A queda no pH das soluções mais concentradas pode ter se dado devido a absorção de nutrientes pela planta, tal processo leva a liberação de íons de hidrogênio no meio, acidificando a solução. Ao 5 dia houve uma tentativa de correção do pH com solução ácida de ácido clorídrico, no entanto a solução se mostrou muito tamponada, elevando os níveis de pH nos tratamentos mais concentrados, e, portanto, não corrigindo o pH para a faixa considerada como adequada. Além disso, sua utilização foi suspensa dada a possibilidade de fitotoxidez por cloro nas plantas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância aplicada à temperatura foliar, concentração interna de CO₂, transpiração, condutância estomática, fotossíntese líquida e eficiência instantânea de carboxilação água em função dos equipamentos e diferentes diluições de solução nutritiva.

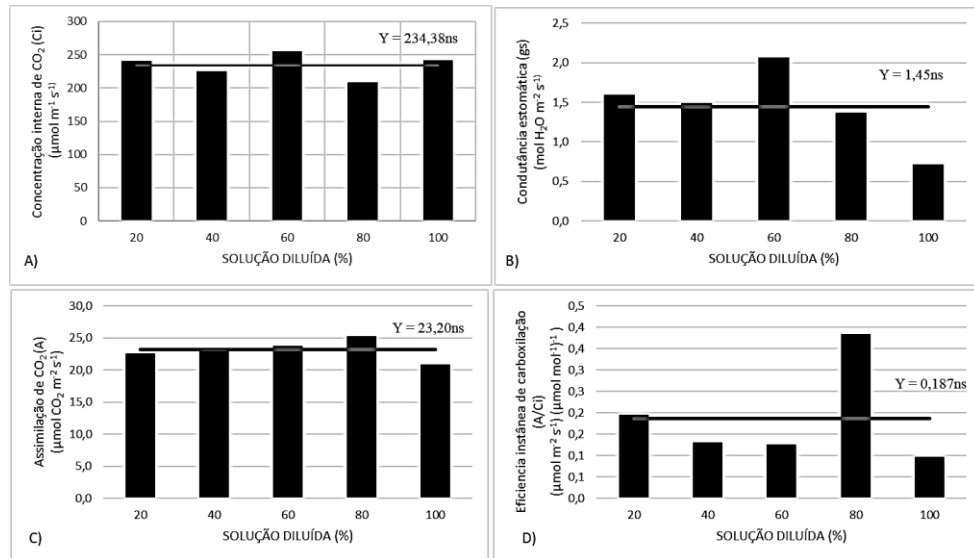
Rúcula aos 30 DAT							
Quadrado médio							
F.V	GL	Tleaf	Ci	E	g _s	A	EiC
BLOCO	3	4,51**	37474,21 ^{ns}	27,3 ^{ns}	12,38 ^{ns}	20,16 ^{ns}	0,13 ^{ns}
EQUIPAMENTO	1	12,17*	25964,37 ^{ns}	25,28 ^{ns}	36,50 ^{ns}	24,30 ^{ns}	0,04 ^{ns}
RESÍDUO 1	3	10,220	123.877,650	73,860	31,980	211,370	0,28
SOLUÇÃO	4	0,42 ^{ns}	18617,44 ^{ns}	6,84**	2,73 ^{ns}	38,28 ^{ns}	0,19 ^{ns}
EQUIPAMENTO x SOLUÇÃO	4	0,56 ^{ns}	5977,44 ^{ns}	89,870 ^{ns}	14,92 ^{ns}	19,02 ^{ns}	0,12 ^{ns}
RESÍDUO 2	23	331,820	3.386,350	1,720	1,590	33,400	0,10
CV 1 (%)		2,44	116,35	257,84	170,83	62,73	281,71
CV 2 (%)		6,68	23,82	39,35	103,05	24,94	167,21

** e *, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Tleaf - Temperatura foliar; Ci - Concentração interna de CO₂; g_s - Condutância estomática; A - Fotossíntese líquida, EiC (A/Ci) - Eficiência instantânea de carboxilação.

Verifica-se que os diferentes tratamentos utilizados não demonstraram diferença significativa nos parâmetros avaliados, excetuando-se a temperatura foliar, mostrando diferença significativa para os blocos e equipamentos utilizados a 5% e 1%, e a transpiração, com diferenças significativas para as diferentes soluções a 1%.

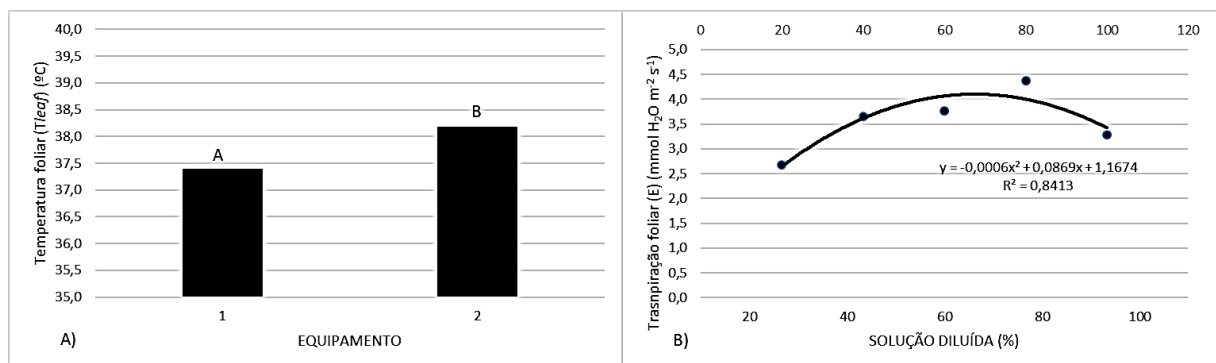
A figura 6 compila todos os parâmetros que não demonstraram diferença significativa na análise de variância. A concentração interna de CO₂ (Ci) média deu-se em torno de 234,38 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$, já para a assimilação de CO₂ (A) e condutância estomática (g_s) foram obtidos valores de 23,14 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ e 1,40 $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$. Tais valores se mostraram diferentes aos encontrados por JESUS et al. (2018), com 249,6 a 256,2 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ para concentração interna de CO₂; 14,14 a 15,2 $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ para assimilação de CO₂ e 0,39 $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ para condutância estomática. Tais diferenças podem ter se dado devido as diferenças nos fatores ambientais, dado que os trabalhos foram realizados em locais e períodos diferentes.

Figura 6. Concentração interna de CO₂ (C_i), assimilação de CO₂, Condutância estomática (g_s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) em folhas de rúcula aos 30 DAT.



Além disso, a taxa de carboxilação também não demonstrou diferença significativa, estando, em média de $0,187 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$. O conjunto destes fatores mostra que mesmo a utilização da maior diluição de solução nutritiva propiciou desempenho fisiológico semelhante nas plantas, junto a isso a possível diferença pode ter se dado devido a leitura com o IRGA ter se dado ao fim do ciclo da cultura, época em que seu metabolismo se prepara para a fase reprodutiva.

Figura 7. Variação de temperatura foliar nos diferentes blocos e equipamentos utilizados (A e B) e diferença na transpiração de acordo com a solução utilizada (C) em rúcula aos 30 DAT.



Já na figura 7, pode-se observar os parâmetros que demonstraram diferença significativa. Os diferentes equipamentos de controle de período de irrigação também demonstraram diferença no desempenho térmico da cultura, enquanto regulador comercial propiciou temperatura de 38,2 °C, no regulador desenvolvido para o ensaio obteve-se uma

diferença 0,8 °C (37,4 °C), demonstrando sua eficácia. Este efeito é importante, dado o impacto do estresse térmico em plantas C₃, principalmente em sua fotossíntese (SUZUKI et al. (2014). Este efeito também é mostrado por KILLI et al. (2017) que aponta os efeitos danosos do estresse térmico em plantas C₃, que se intensifica a partir do 28 °C. Desta maneira, o regulador desenvolvido pode se mostrar como melhor opção, principalmente para plantas mais sensíveis ao calor.

No quesito transpiração foliar (E), as maiores taxas foram encontradas entre as diluições de 80% e 60%, obtendo seu máximo estimado na concentração de 72,42 % com valor de 4,31 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, se mostrando bem próximos aos encontrados por JESUS et al. (2018). Apesar da diferença entre os níveis, não houve impacto nas outras variáveis analisadas.

5 CONCLUSÃO

Não houve distinção nos aspectos fisiológicos da produção de rúcula nas diferentes diluições de solução nutritiva utilizadas neste trabalho, excetuando-se a transpiração, mostrando a diluição de 20 % como melhor opção.

O equipamento teste utilizado para regular o período de irrigação do sistema se mostrou um desempenho semelhante ao equipamento comercial, obtendo-se como vantagem um melhor desempenho térmico da planta. Serão necessários mais testes para comprovar sua eficácia, e mais ajustes, dadas as pequenas falhas de funcionamento durante o ensaio.

Sugere-se a repetição do trabalho, com maiores níveis de diluição da solução e melhor adequação do sistema, visando melhor contato da planta com a solução e com pelo menos uma análise de gases no meio do período reprodutivo da cultura, visando avaliar melhor seu potencial produtivo.

Sugere-se, ainda, a análise da água utilizada para a formulação da solução a fim de prevenir sua interação na relação quantitativa dos nutrientes utilizados e correção de seu pH antes de sua utilização para formulação, aumentando a disponibilidade dos nutrientes e, por conseguinte, o desempenho da planta.

REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O. C. Nutrição mineral de plantas: a contribuição brasileira. **O Agrônomo**. Campinas, v. 55, n. 1, p. 40–43, 2006.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife-PE, v. 8, n. 9, p. 107–137, 2012.
- CENSO Agropecuário: Tabela 818 - Produção, Venda e Valor da produção na horticultura por produtos da horticultura, condição do produtor em relação às terras, grupos de atividade econômica e grupos de área total. [S. l.]: **IBGE**, 13 set. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/818>. Acesso em: 13 set. 2019.
- CNA. **Hortalicas - Balanço 2017**. Disponível em: https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/hortalicas_balanco_2017.pdf. Acesso em 07 set. 2019.
- COMETTI, N. N.; FURLANI, P. R.; RUIZ, H. A.; FILHO, E. I. F. Soluções Nutritivas: Composição, Formulação e aplicações. *In*: **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. 432p.
- DOUGLAS, J. S. Hidroponia: cultura sem terra. **NBL Editora**, 164 p. 2001.
- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. de.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2. Ed, 670 p. Viçosa, MG: UFV, 2018.
- FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. *In*: Kerbaiy, G.B. **Fisiologia Vegetal**. v. 1. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan. 2004.
- FURLANI, P. R. Instruções para Cultivo de Hortalicas de Folhas pela técnica de hidroponia NFT. **Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n.168, 30p. 1997.
- JESUS, C. G.; SILVA JUNIOR, F. J.; CAMARA, T. R.; SILVA, E. F. F.; WALLADINO, L. Production of rocket under salt stress in hydroponic systems. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 493–497, 2015.
- LIMA, J. E. L. **Sistema de comunicação e controle para hidroponia**. 2014. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecatrônica) Universidade do Minho, 2014.
- LONG, S. P.; FARAGE, P. K.; GARCIA, R. L. Measurement of leaf and canopy photosynthetic CO₂ exchange in the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 11, p. 1629–1642, 1996.
- LUZ, J. M. Q.; COSTA, C. C.; GUERRA, G. M. P.; SILVA, M. A. D. da.; HABER, L. L. Efeito da variação da solução nutritiva no cultivo hidropônico de rúcula. **Revista Verde**, v. 6, n. 3, p. 76–82, 2011.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. **101 Culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG. 800 p, 2007.

PEGADO, D. S.; GUSMÃO, S. A. L. de; SILVESTRE, W. V. D.; LOPES, P. R. de A.; GUSMÃO, M. T. A. de; SILVA, C. L. P. da; FERREIRA, S. G.; SANTANA, L. F. da S. Densidade de plantio de rúcula, em sistemas de cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, 2004.

PADULOSI, S.; PIGNONE, D. **Rocket: a Mediterranean crop for the world**. IPGRI, p. 13-14. 1996.

PORTO, R. D. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, D. S. M.; CORDOVA, N. R. M.; POLYZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. da. Adubação potássica em plantas de rúcula : produção e eficiência no uso da água. **Revista Agroambiente Online**, v. 7, n. 1, p. 28–35, 2013.

POTRICH, A.; PINHEIRO, R.; SCHMIDT, D. Alface hidropônica como alternativa de produção de alimentos de forma sustentável. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 36–48, 2012.

PURQUERIO, L. F. V.; DEMANT, L. A. R.; GOTO, R.; BOAS, R. L. V. Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 464–470, 2008.

SAAID, M., YAHYA, N., MZH, N. MEGAT, A. M. **A Development of an Automatic Microcontroller System for Deep Water Culture (DWC)**. s.l., s.n., pp. 328-332. 2013.

SILVA, A. O. da.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SANTOS, A. N.; KLAR, A. E. CONSUMO HÍDRICO DA RÚCULA EM CULTIVO HIDROPÔNICO NFT UTILIZANDO REJEITOS DE DESSALINIZADOR EM IBIMIRIM-PE. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 114–125, 2012.

SOARES, T. M. EXPERIMENTAL STRUCTURE FOR EVALUATION OF BRACKISH WATER USE IN LETTUCE HYDROPONIC PRODUCTION. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 102–114, 2009.

SOARES, H. R. **Cultivo de couve-flor em sistema hidropônico nft utilizando águas salobras**. 2018. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SUZUKI, N.; RIVERO, R.M.; SHULAEV, V.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v.203, p.32-43, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora. 6 ed. 2017.