

Cultivo protegido de hortaliças em solo e em substrato

Ítalo Morais Rocha Guedes¹, Juscimar da Silva², Marcos Brandão Braga³,
Cláudio Augusto Rodrigues da Silva⁴, Flávio Fernandes Júnior⁵

Resumo - No Brasil, o cultivo de hortaliças em estufas é essencial, para reduzir os efeitos de condições climáticas adversas e assegurar a produção constante, especialmente em zonas de clima tropical. A utilização de técnicas como fertirrigação e filmes de polietileno, resistentes aos raios ultravioletas, permite aos agricultores produzir fora da época e melhorar a qualidade e a quantidade de hortaliças. Contudo, esta abordagem enfrenta desafios, como a salinização do solo, em razão das práticas inadequadas de irrigação e fertilização excessiva. Assim, adaptações importantes no manejo das culturas são necessárias, incluindo rotação de culturas e análises do solo, para evitar a degradação e o acúmulo de nutrientes. O cultivo em substratos surge como uma alternativa viável, trazendo benefícios, como a diminuição de doenças nas raízes e uma melhor gestão da umidade do solo, sendo adequado para plantas que precisam de suporte e as que não toleram variações rápidas de umidade. É crucial monitorar a condutividade elétrica no solo e nos substratos, para um manejo eficiente dos nutrientes e prevenção da salinização, influenciando decisões sobre fertirrigação e irrigação. Este método de cultivo é um pilar para a segurança alimentar e a sustentabilidade, alinhado às demandas por práticas agrícolas sustentáveis, que permitem melhor reciclagem de água e nutrientes e reduzem doenças do solo. Avanços em tecnologias, como a agricultura digital e a automação, sinalizam melhorias futuras em eficiência e sustentabilidade na agricultura de ambientes protegidos.

Palavras-chave: agricultura protegida; tecnologia de estufa; manejo de cultura; eficiência hídrica; manejo da adubação; cultivo sem solo; cultivo hidropônico.

Greenhouse soil and soilless vegetable production

Abstract - Greenhouse horticulture in Brazil is key to overcoming adverse weather and ensuring consistent vegetable yields, particularly in tropical regions. Utilizing fertigation and ultraviolet rays resistant polyethylene film, growers can produce high-quality crops year-round. However, this method introduces challenges such as soil salinization due to inadequate irrigation and excessive fertilization, necessitating refined crop management adaptations like crop rotation and soil testing to prevent soil degradation and nutrient overload. Substrate cultivation offers an alternative, reducing root disease incidence and allowing for better soil moisture control, ideal for staked crops like tomatoes, peppers, and cucumbers, or those sensitive to rapid moisture changes. Monitoring soil and substrate electrical conductivity is essential for efficient nutrient management and salinization prevention, guiding fertigation requirements. The practice contributes to food security and environmental sustainability, aligning with the push for sustainable agricultural practices by enhancing nutrient and water recycling and reducing soil-borne diseases. The integration of cutting-edge technologies, such as digital farming and automation, promises to further increase agricultural efficiency and sustainability in protected environments.

Keywords: greenhouse agriculture; greenhouse technology; crop management; water efficiency; fertilizer management; soilless agriculture; hydroponic cultivation.

¹Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Hortaliças, Brasília, DF, italo.guedes@embrapa.br.

²Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Hortaliças, Brasília, DF, juscimar.silva@embrapa.br.

³Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Hortaliças, Brasília, DF, marcos.braga@embrapa.br.

⁴Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Bolsista Apoio à Inovação EMBRAPAII/EMBRAPA Hortaliças, Brasília, DF, claudioaugusto.silva@colaborador.embrapa.br.

⁵Engenheiro-agrônomo, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Hortaliças, Brasília, DF, flavio.fernandes@embrapa.br.

Submissão: 05.04.2024 - Aprovação: 03.05.2024

INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças em ambientes protegidos representa um avanço significativo nas práticas agrícolas, visando mitigar a influência das condições climáticas adversas e garantir uma produção estável ao longo do ano. No Brasil, onde grande parte das hortaliças cultivadas é composta por espécies originárias de climas temperados ou subtropicais, o cultivo em ambientes protegidos torna-se ainda mais crucial, em virtude dos desafios impostos pelo clima tropical predominante em muitas regiões do País, como Centro-Oeste, algumas áreas litorâneas do Nordeste e a Região Amazônica.

De acordo com Romanini *et al.* (2010), o cultivo em ambiente protegido oferece uma série de benefícios produtivos e comerciais, incluindo o aumento da produtividade, a possibilidade de colheita durante a entressafra, a melhoria da qualidade dos produtos e um controle mais eficaz das condições ambientais. Além disso, essa prática permite um manejo mais eficiente de pragas e doenças, melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e maior competitividade dos produtores no mercado.

O Brasil, com sua vasta diversidade de climas e solos, é capaz de praticar a produção de hortaliças em ambiente protegido em uma extensa faixa territorial. As motivações para adotar práticas de agricultura protegida podem variar conforme a região, mas incluem o crescente interesse associado ao aumento da renda dos consumidores, a urbanização da população brasileira e uma crescente preocupação com alimentos seguros e o uso racional de insumos, como redução do uso de agroquímicos.

Dois fatores fundamentais impulsionaram o cultivo protegido em escala comercial, tanto no Brasil quanto em outras regiões tropicais do mundo. Primeiramente, houve uma melhor compreensão das necessidades nutricionais das plantas e das formas de absorção de nutrientes, possibilitando o desenvolvimento de técnicas como a fertirrigação e a hidroponia. Em segundo lugar, o desenvolvimento de

filmes de polietileno de baixa densidade, resistentes à radiação ultravioleta (UV), na década de 1930, permitiu a substituição do vidro por materiais plásticos, tornando os custos de construção e manutenção de estufas mais acessíveis e viáveis para os produtores.

No cultivo em solo sob ambiente protegido, tendência natural da produção de hortaliças atualmente, as técnicas utilizadas na produção convencional em campo aberto foram mantidas quase sem adaptação. Contudo, a maioria dos problemas enfrentados nesse contexto decorre da concepção equivocada de que a cobertura plástica apenas protege os cultivos da chuva, sem alterar o ambiente interno. As mudanças ambientais, mesmo que em pequena escala, promovidas pela cobertura plástica, exigem adaptações significativas no manejo das culturas e do ambiente de cultivo. Exemplos disso incluem a salinização dos solos em estufas, rara em áreas de cultivo aberto, e a ocorrência de pragas e doenças típicas de períodos ou regiões secas, como ácaros, afídeos e oídio.

A salinização do solo em cultivo protegido geralmente ocorre em razão do uso de lâminas de irrigação subótimas e da fertirrigação por gotejamento com adubações excessivas, além da falta de projeto de drenagem artificial, quando necessário. Segundo Andriolo (2020), a inversão do fluxo de lixiviação de sais em direção à superfície do solo, como consequência do fluxo subterrâneo de água do exterior para o interior do ambiente protegido, também pode contribuir para a salinização. Esse fenômeno pode levar à intoxicação das plantas, dificultar a absorção de água e nutrientes e degradar a estrutura do solo. A degradação da estrutura é exacerbada pelo uso excessivo de implementos, como enxadas rotativas no preparo de canteiros, e pelos baixos teores de matéria orgânica (MO) nos solos sob cultivo protegido.

As dificuldades no manejo do cultivo em solo sob ambiente protegido, a resistência à adoção de Boas Práticas Agrícolas (BPA), como rotação de culturas, ma-

nejo da adubação com base em análises químicas do solo e manejo correto da irrigação, aliadas à pressão da sociedade e do mercado por maior eficiência no uso de recursos naturais, com redução no uso de pesticidas, têm favorecido a expansão do cultivo de hortaliças em Sistemas de Produção sem solo. Há alguns exemplos de sucesso de produtores que utilizam rotação com plantas de cobertura, como o milheto, espécie de crescimento rápido e formadora de considerável biomassa.

A produção em substratos é mais comum em espécies que requerem tutoramento, como tomate, pimentão e pepino, ou em espécies não adaptadas a mudanças bruscas de umidade nas raízes dos sistemas de cultivo hidropônicos sem substrato, como o morangueiro. Atualmente, considerado uma técnica de produção hidropônica, o cultivo em substrato praticamente elimina a incidência de doenças de raiz, proporciona uma fixação mais eficiente das plantas, variações mais graduais na umidade da zona das raízes e menor probabilidade de perda total da produção, em caso de falhas no sistema, como a falta de energia elétrica. Isso contrasta com o sistema nutrient film technique (NFT). Anteriormente restrita aos polos tradicionais de produção em cultivo protegido, a produção em substrato expandiu-se por todo o País.

CULTIVO PROTEGIDO

O manejo de cultivos, solo e nutrição mineral em ambientes protegidos deve ser meticulosamente considerado, levando-se em conta as nuances do sistema, para evitar que o empreendimento torne-se economicamente inviável. No cultivo protegido de hortaliças em ambientes tropicais emprega-se o denominado “efeito guarda-chuva”, em contraste com o “efeito estufa” utilizado em climas temperados, para proteção das plantas. Nesse contexto tropical, as estruturas de cultivo protegido desempenham principalmente o papel de evitar a entrada de água da chuva, sendo crucial que a água no sistema seja exclusivamente proveniente da irrigação.

Cultivo em solo

Técnicas de irrigação localizada são de uso comum, especialmente o gotejamento, que se destaca pela precisão na entrega da água e pela facilidade na aplicação de nutrientes via fertirrigação. Para atender à grande demanda por nutrientes das hortaliças, são adicionadas quantidades frequentemente elevadas de adubos, e, assim, há uma propensão ao acúmulo de sais na superfície do solo, resultando no aumento da condutividade elétrica (CE) da solução. Caso não se adote manejo adequado de irrigação/nutrição, independentemente das condições de solo e clima, a salinização em ambientes protegidos será praticamente inevitável, apresentando desafios não apenas relacionados com a toxidez, mas também com os aspectos físicos, biológicos e nutricionais.

O fornecimento de nutrientes minerais para cultivos em ambiente protegido pode ocorrer principalmente de duas maneiras: adubação pré-plantio suplementada por fertirrigação ou aplicação total via fertirrigação. Na primeira abordagem, é comum realizar a adubação prévia com todo o fósforo (P), juntamente com 20% a 30% das doses recomendadas de nitrogênio (N) e potássio (K), antes do plantio. A fertirrigação, então, é feita para o fornecimento de micronutrientes, e o restante das doses recomendadas de N e K, geralmente começando entre uma e duas semanas após o plantio ou transplantio.

Quando o fornecimento de nutrientes é inteiramente realizado a partir da fertirrigação, pode ser iniciado imediatamente após o plantio, seguindo, se disponível, as curvas de absorção de nutrientes. Soma-se a isto a adição de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), a partir da calagem para correção da acidez do solo. Em ambas as abordagens, a calagem é um procedimento essencial e deve ser realizada com a maior antecedência possível, pelo menos 30 dias antes do plantio. A amostragem do solo em ambientes protegidos requer cuidado meticuloso, uma vez que esses solos frequentemente apresentam grande heterogeneidade na

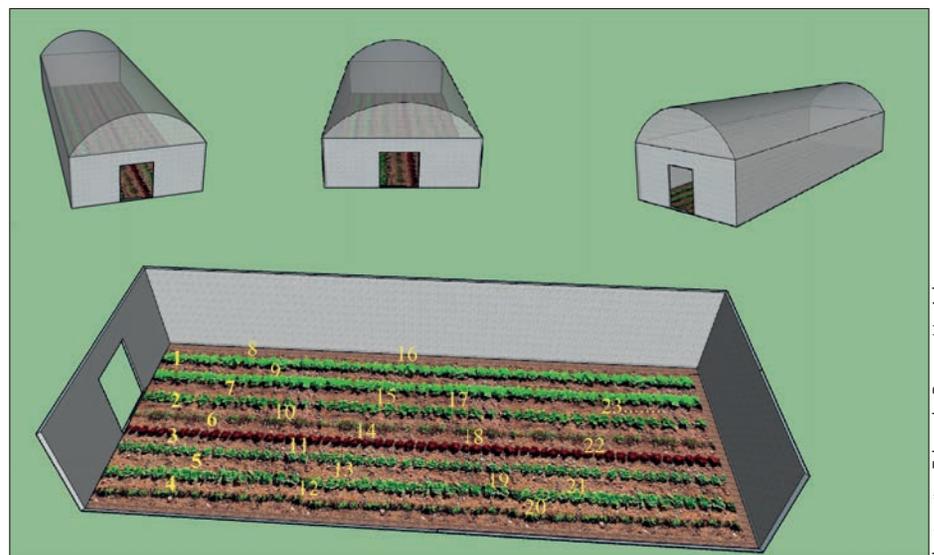
distribuição de nutrientes, especialmente quando a fertirrigação é realizada via gotejamento (Sonneveld; Voogt, 2009).

Os critérios de amostragem do solo, adotados em ambiente protegido, são os mesmos para áreas de cultivo externas, onde se deve minimizar as variações de maior (macrovariações) e menor (microvariações) distância ou escala. Para evitar as macrovariações, é importante separar as unidades de amostragem. Em geral, a divisão ocorre por grupos de culturas, por estufa ou telado. As microvariações são muito mais recorrentes, em virtude da aplicação de localização dos fertilizantes, seja em canteiros, em linha de cultivo, seja por gotejamento. Assim, depois de definida a unidade de amostragem, é preciso percorrer a área aleatoriamente retirando amostras do solo, em toda a sua extensão (Fig. 1). A profundidade de amostragem dependerá da cultura a ser cultivada e poderá variar de 0-10 cm, 0-20 cm e de 20-40 cm. O número de amostras simples por unidade (estufa ou telado) deverá ser de 20 a 30, e estas deverão ser juntadas e bem homogeneizadas para formar a amostra composta, que será enviada para o laboratório.

A recomendação de adubação deve-se basear nos resultados da análise química do solo e nas demandas específicas da cultura. A prática da fertirrigação possibilita a divisão da adubação no decorrer do ciclo da cultura, otimizando a utilização dos nutrientes de acordo com as necessidades fisiológicas da espécie, particularmente quando se realiza a fertirrigação de alta frequência com baixas concentrações de nutrientes (Silber *et al.*, 2003). As exigências nutricionais das hortaliças, em diferentes fases de crescimento, estão principalmente relacionadas com a formação de órgãos vegetativos e reprodutivos. No entanto, as curvas de absorção nem sempre coincidem integralmente com as curvas de produção de matéria seca (MS), em razão das variações no desenvolvimento e nas necessidades específicas de nutrientes, e, também, das condições de cultivo.

Um possível efeito indesejado da fertirrigação, especialmente no gotejamento, é a redução do volume de raízes, pois nutrientes e água são aplicados pontualmente próximos ao sistema radicular, formando bulbos ou faixas molhadas, com as raízes concentrando-se nestas áreas. Quando possível, a fertirrigação pode ser direcio-

Figura 1 - Caminhamento dentro da casa de vegetação para coleta representativa do solo



Nota: Cada número na ilustração representa uma subamostra (amostra simples) que deverá ser juntada às outras para obter a amostra composta.

nada para áreas com maior densidade de raízes. No entanto, a aplicação precoce da fertirrigação e o manejo ineficiente das irrigações podem prevenir o aprofundamento do sistema radicular, criando uma dependência excessiva, que pode ser prejudicial em casos de falhas temporárias no sistema de irrigação.

O cultivo protegido apresenta o desafio da quase inevitável salinização do solo, resultante do acúmulo de adubos, geralmente sais, pela ausência de boa drenagem natural/artificial, e da entrada de água de chuva ou excesso de água, que possa lixiviar os sais às camadas do solo mais profundas. Deve-se ter em mente que a salinização é inerente ao sistema de cultivo, considerando que o aporte externo de insumos é necessário nos plantios, tanto convencionais quanto orgânicos ou agroecológicos. Áreas de cultivo hortícolas

monitoradas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Hortaliças, sob diferentes sistemas de manejo do solo, apresentam teores de nutrientes muito acima dos valores considerados críticos (Tabela 1).

O acúmulo de nutrientes induzido por um manejo inadequado da adubação e pela ausência de água da chuva, que poderia auxiliar na lixiviação de parte dos nutrientes, pode levar à salinização do solo. A depender do nível de salinidade atingida, o solo pode-se tornar inviável para futuros cultivos, porque além de ser prejudicial às plantas, compromete a estrutura física do solo, causando a sua dispersão e prejudicando a formação de agregados. Para mitigar esse problema, a aplicação periódica de lâminas de irrigação em excesso, dentro das técnicas já descritas na literatura, pode ser realizada para mobilizar

os sais acumulados, idealmente associada a uma drenagem eficaz do lixiviado. Além disso, o manejo adequado da fertirrigação deve ser acompanhado de práticas que promovam o enriquecimento do solo com MO e a aplicação racional de fertilizantes.

O uso inadequado da fertirrigação em solos de cultivo protegido tem sido uma causa recorrente de desequilíbrios nutricionais, prejudicando, por vezes de forma irreversível, a produção agrícola nesse ambiente. Isso ocorre frequentemente em virtude da aplicação excessiva de nutrientes, sem considerar as necessidades específicas do solo e da cultura plantada. Portanto, é fundamental calcular as quantidades de fertilizantes a serem aplicadas via irrigação, com base em análises químicas do solo e da planta. O acúmulo excessivo de nutrientes no solo é ilustrado pelos valores apresentados na Tabela 1, referen-

Tabela 1 - Resultado da análise química de solos de cultivos olerícolas em casas de vegetação, em sistema convencional e orgânico

Sistema	pH	N total	P	K	Na	Al ³⁺	Ca ²⁺	Ca+Mg	H+Al
		g/kg	mg/dm ³			cmol _c /dm ³			
Convencional	6,0	2,08	135	63	231	0	3,6	4,3	0
	5,8	1,41	604	999	107	0,1	6,7	8,8	3,45
	5,9	1,18	190	193	19	0	5,3	7,9	0,83
	6,0	1,41	360	347	63	0	5,6	9	1,09
Orgânico	6,5	1,73	233	271	58	0,1	6,6	10,1	0,45
	5,9	1,06	57	61	10	0	5,1	6,9	0,15
	6,8	1,36	773	376	181	0,3	5,1	8,1	0,19
	6,9	2,09	786	313	197	0,3	5,6	9,1	0,86
Sistema	Fe	Zn	Cu	Mn	MO	CTC total	CTC efetiva	V	C/N
	mg/dm ³				g/kg	cmol _c /dm ³		%	
Convencional	5,6	2,5	2,1	15,1	25,1	44,8	44,8	100	7,2
	87,3	32,9	3,5	116,6	28,2	15,3	11,9	77,4	11,59
	90,1	19,0	3,1	95,7	20,9	9,3	8,5	91,1	10,33
	44,5	24,4	3,3	142,5	23,6	11,3	10,2	90,4	9,65
Orgânico	25,5	16,5	2,4	140,7	37,9	11,5	11,2	96,1	12,68
	60,3	8,8	2,6	104,8	18,0	7,3	7,2	97,9	9,87
	45,0	68,5	7,6	89,6	23,6	10,0	10,1	98,1	10,01
	51,1	71,3	6,0	118,3	31,8	11,7	11,1	92,6	8,83

Fonte: Elaboração dos autores.

Nota: N total - Nitrogênio total; Al³⁺ - Acidez trocável ou alumínio trocável; Ca²⁺ - Cálcio trocável; Ca+Mg - Teores de cálcio e magnésio; H+Al - Acidez potencial ou total; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Saturação de bases; C/N - Carbono/Nitrogênio.

tes aos resultados de análise química de rotina, em solo sob estufa cultivado com pimentão, no município de Luziânia, GO. O cultivo vinha apresentando sucessivas reduções de produtividade, e a resposta dos responsáveis técnicos era, invariavelmente, a aplicação de mais adubos na área.

De acordo com Fontes e Araújo (2007), em razão da aplicação de fertilizantes às vezes custar pouco em relação ao custo da perda de produtividade, os produtores são estimulados a aplicar altas doses de fertilizantes. Entre os problemas observados, ressaltam-se os teores de P, muito acima até mesmo das concentrações consideradas normalmente altas. É de se questionar, sob essas condições, se não haveria neoformação de minerais e se os teores verificados podem realmente ser considerados disponíveis, uma vez que os extratores usados na análise realizada no laboratório de solo, provavelmente, não foram calibrados para esses valores.

Cultivo em substrato

O cultivo de hortaliças em substratos sob ambiente protegido é geralmente usado quando há limitações quanto ao uso agrícola do solo associadas a limitações climáticas. Esse sistema de cultivo normalmente favorece maior precocidade na produção e maiores produtividades, pode estender o período de colheita e ainda permite a produção na entressafra (Sonneveld; Voogt, 2009).

A escolha do substrato para o cultivo sem solo de hortaliças considera, dentre outras coisas, suas propriedades físicas e químicas, especialmente a capacidade de fornecer oxigênio (O_2) e água às raízes (Dorais; Papadopoulos; Gosselin, 2000). Embora a preocupação com o fornecimento de água e de nutrientes seja comum entre os produtores que utilizam substratos, o fornecimento de O_2 às raízes muitas vezes é uma consideração secundária, mesmo para espécies com elevados requisitos de O_2 , como o morangueiro e o pepineiro, ainda que em condições de baixa temperatura (Inden, 1953). O

estudo de Inden (1953), apesar de pouco reconhecido e divulgado no Ocidente, foi inovador, ao analisar os requisitos de O_2 de diversas espécies hortícolas. O pesquisador determinou que, a uma temperatura de 25 °C, o morangueiro absorveu 0,36 mg/g de O_2 de raiz, enquanto o pepineiro absorveu 0,29 mg/g e o tomateiro 0,26 mg/g.

A equipe de pesquisa em cultivo protegido da Embrapa Hortaliças tem-se dedicado à avaliação da adaptabilidade de diferentes espécies olerícolas a substratos com composições variadas. Segundo Soares (2022), ao analisar a produção de morangueiros em bags suspensos, contendo substratos com diferentes proporções de fibra de coco e casca de arroz carbonizada, verificou-se que as maiores produtividades comerciais por planta foram atingidas ao utilizar um substrato composto exclusivamente por casca de arroz carbonizada. Apesar de Louro e Reis (2020) apontarem a baixa capacidade de retenção de água, facilmente assimilável como a principal desvantagem da casca de arroz carbonizada, isso pode ser atribuído à alta porosidade do substrato (Kang; Lee; Kim, 2004), que proporciona uma eficiente oxigenação das raízes. Uma vez que a baixa retenção de água pode ser contornada com aumento da frequência dos pulsos de irrigação.

Uma das primeiras incursões no cultivo de hortaliças em substrato, no Brasil, ocorreu na década de 1970, no Instituto Adventista Agroindustrial (IAAI), em Manaus, AM, onde foram plantados tomates em caixas de madeira preenchidas com areia (Martins; Vasconcelos; Lucchesi, 1987). O cultivo tradicional de hortaliças em solo, na Região Amazônica, enfrenta desafios consideráveis em decorrência das condições climáticas desfavoráveis e da presença natural de patógenos do solo, como a bactéria fitopatogênica *Ralstonia solanacearum*. Essa realidade justifica a crescente adoção do cultivo sem solo na região. No Cinturão Verde que abastece Recife, PE, Região Nordeste do Brasil, a maioria das hortaliças folhosas cultivadas em sistema hidropônico encontra-se em leitos de areia.

Resh (2001) destaca que a produção de tomate em substrato sob cultivo protegido pode superar em 20% a 25% a produção do tomateiro cultivado em solo, mantendo-se sob as mesmas condições. Essa elevação na produtividade não se restringe ao tomate, estende-se a diversas culturas olerícolas, sendo justificada por diversos fatores, como redução na incidência de doenças no sistema radicular, maior eficiência na absorção de nutrientes e água, densidades de plantas mais elevadas e ausência de competição com plantas adventícias, entre outros (Resh, 2001; Sonneveld; Voogt, 2009).

A pesquisa conduzida por Charlo et al. (2012) concentrou-se no acúmulo de nutrientes em pimentão cultivado em fibra de coco, demonstrando uma eficiência superior na absorção e no uso de nutrientes, resultando em uma produtividade comercial mais elevada em comparação com o cultivo em solo, mesmo quando realizado em ambiente protegido. Essas vantagens derivam não apenas do ambiente protegido em si, mas, principalmente, da utilização de substratos inertes sem solo. A escolha do substrato é influenciada por considerações econômicas e técnicas, como a duração do período de crescimento da cultura, o sistema de cultivo, o método de irrigação e o tipo de fertilização a ser empregado (Sonneveld; Voogt, 2009).

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E SEU MONITORAMENTO EM AMBIENTE PROTEGIDO

No que diz respeito à CE, medida indireta da quantidade de sais (adubos) presentes na solução do solo ou dissolvidos na solução nutritiva, observa-se que geralmente o valor é mais elevado do que a CE da água de irrigação. Isso ocorre pela dificuldade em mobilizar os nutrientes ao longo do perfil solo, em razão da complexidade e da estreiteza dos poros do solo. Por outro lado, a maioria dos substratos utilizados no cultivo sem solo favorece uma lixiviação mais rápida, possibilitando um controle mais eficiente da CE da solução

nutritiva (Silber, 2007), o que minimiza o estresse por salinização do meio. Dessa forma, a CE na zona das raízes no cultivo em substrato tende a ser mais baixa e facilmente controlável em comparação com o solo, mesmo em condições de irrigação semelhantes, reduzindo significativamente o risco de problemas relacionados com a salinização.

Diante desse cenário de preocupação quanto à salinização do solo, recomenda-se o monitoramento constante da CE. Porém, considerando que a análise periódica da CE poderá onerar o custo de produção, uma alternativa mais viável seria a análise do extrato da solução do solo. Trata-se de um método semiquantitativo porque é determinado um valor de CE da solução, não a quantidade de sais presentes no solo. Para isso, a amostragem da solução do solo deve ser realizada com auxílio de extratores (Fig. 2). A análise do extrato da solução do solo é uma ferramenta complementar ao manejo da adubação, e tem auxiliado técnicos e produtores na tomada de decisão quanto à necessidade de fornecer somente a água de irrigação ou a fertirrigação.

Os extratores da solução do solo são instalados na linha de cultivo próximo às raízes, e na linha de irrigação, numa profundidade de 15 a 20 cm (Fig. 3). Deve-se instalar pelo menos três extratores por casa de vegetação (8 x 50 m) para a mesma cultura, dispostos aleatoriamente para representar bem o solo da área de cultivo. A determinação é realizada diretamente no campo, logo após a coleta do extrato onde é medido o pH e, principalmente, a CE da solução do solo. Os valores medidos são comparados aos valores de referência (Tabela 2) para a cultura de interesse, mais especificamente os da CE. Em geral, se o valor medido for 0,5 unidade menor que o valor de referência, pode-se realizar a fertirrigação, ou seja, aplicar mais fertilizantes, conforme programa de manejo da fertilidade da área. Caso o contrário, se o valor medido da CE estiver próximo ou acima do tolerável pela cultura, deve-se apenas irrigar.

Do ponto de vista prático, pode-se utilizar a cultura do pimentão como exemplo. Trata-se de uma cultura com tolerância moderada à salinidade (1,5 dS/m). Dessa forma, ao avaliar a CE da solução do solo e o valor estiver próximo ou menor que

1,0 dS/m, a fertirrigação de cobertura com sais fontes de N, K e micronutrientes, por exemplo, é recomendada.

Ressalta-se que esses valores constantes na Tabela 2 foram determinados pelo método padrão da pasta de saturação, e

Figura 2 - Conjunto para extração da solução do solo



Juscimar da Silva

Nota: Produto composto pelo extrator e uma siringa plástica graduada.

Figura 3 - Detalhe do posicionamento do extrator da solução do solo a campo



Juscimar da Silva

que as pesquisas estão avançando para a calibração de valores obtidos a partir da análise da CE dos extratos. Por isso, são citados como relativos, mas, mesmo assim, servem como referências para o manejo da fertilidade nos diferentes cultivos de hortaliças.

Em decorrência do uso continuado dos substratos, pode ocorrer o acúmulo de sais, por isso, recomenda-se também o monitoramento da CE do lixiviado ou do extrato, retirado com o auxílio do extrator. Nesse caso, em especial, o equipamento deverá ser inserido nas calhas ou nos vasos de cultivo (Fig. 4 e 5) e a amostragem deverá ser realizada após o turno de rega. Os valores obtidos são comparados com os valores de tolerância à salinidade da cultura de interesse (Tabela 2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo protegido de hortaliças, tanto em solo quanto em substrato, vem ganhando destaque no Brasil em virtude de sua capacidade de otimizar a produção agrícola em condições controladas, independentemente das variações climáticas externas. Essa técnica, fundamental para a segurança alimentar e para a sustentabilidade agrícola, permite aos produtores um maior controle sobre o ambiente de cultivo, incluindo temperatura, umidade e incidência de pragas e doenças, resultando em uma produtividade mais alta e constante ao longo do ano.

A adoção de estufas e outras formas de cultivo protegido minimiza os riscos associados às mudanças climáticas e aos eventos meteorológicos extremos, fator crítico em um país de grande diversidade climática como o Brasil. Além disso, o uso eficiente de recursos, como água e nutrientes, destaca-se como uma vantagem significativa, contribuindo para a redução do impacto ambiental da agricultura.

O cultivo em substrato, em particular, apresenta uma tendência crescente, pois oferece vantagens, como a redução de doenças transmitidas pelo solo e a possibilidade de uma reciclagem mais eficaz de

Tabela 2 - Valores de referência relativos à sensibilidade ou tolerância de algumas hortaliças à salinidade do solo

Cultura	Sensibilidade/Tolerância			Condutividade elétrica (dS/m)
	Sensível	Moderadamente sensível	Moderadamente tolerante	
Feijão-vagem	x			1,0
Cenoura	x			1,0
Morango	x			1,0
Nabo	x			0,9
Berinjela		x		1,1
Funcho		x		1,2
Rabanete		x		1,2
Alface		x		1,3
Cebola		x		1,2
Quiabo		x		1,2
Pimentão		x		1,5
Batata-doce		x		1,5
Ervilha		x		1,5
Fava		x		1,6
Milho doce		x		1,7
Batata		x		1,7
Couve		x		1,8
Repolho		x		1,8
Salsa		x		1,8
Espinafre		x		2,0
Pepino		x		2,5
Tomate		x		2,5
Brócolos		x		2,8
Beterraba			x	4,0
Aspargo			x	4,1
Abobrinha			x	4,7
Beldroega			x	6,3

Fonte: Adaptado de Niu, Davis e Masabni (2019).

Nota: dS/m - decisiemen por metro = 1 mmho/cm = ± 640 mg/L de sal.

Figura 4 - Detalhes de extratores da solução do solo instalados no cultivo de morangueiro em calhas contendo substrato inerte



Juscimar da Silva

Figura 5 - Detalhes de extratores da solução do solo instalados no cultivo do tomateiro



Juscimar da Silva

Nota: Vasos com capacidade de 11 litros, contendo substrato inerte.

nutrientes e água. Esta abordagem alinhada à crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis e de precisão, abrindo caminho para a integração de tecnologias inovadoras, como a agricultura digital e a automação, que podem levar a eficiências ainda maiores e a uma produção mais sustentável.

No Brasil, o cultivo protegido em solo e em substrato representa uma estratégia vital para enfrentar os desafios futuros da produção de alimentos, promovendo a sustentabilidade, a eficiência e a segurança alimentar, em um contexto de mudanças climáticas e de aumento da demanda por produtos agrícolas de alta qualidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, J.L. **Olericultura geral**. 3.ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2020. 85p.
- CHARLO, H.C. de O. *et al.* Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. **Horticultura Brasileira**, v.30, n.1, p.125-131, jan./mar. 2012.
- DORAIS, M.; PAPADOPOULOS, A.P.; GOSSELIN, A. Greenhouse tomato fruit quality. **Horticultural Reviews**, v.26, p.239-319, 2000. chapter 5.
- FONTES, P.C.R.; ARAUJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007. 148p.
- INDEN, T. On the oxygen requirement of the roots in vegetable crops. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v.21, n.4, p.202-207, 1953.
- KANG, J.-Y.; LEE, H.-H.; KIM, K.-H. Physical and chemical properties of inorganic horticultural substrates used in Korea. **Acta Horticulturae**, v.644, p.237-241, 2004.
- LOURO, M.; REIS, M. **Manual de cultivo sem solo: aspectos teóricos e práticos dos cultivos hidropônicos e em substrato**. [S.l.]: Agrobok, 2020. 458p.
- MARTINS, G.; VASCONCELLOS, E.F.C.; LUCCHESI, A.A. Análise de crescimento do tomateiro em cultura protegida para condições de Trópico Úmido. I. Produção, PMS, TPMS, TPMSV e TPMSF. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.22, n.7, p.689-698, jul. 1987.
- NIU, G.; DAVIS, T.D.; MASABNI, J. A review of salinity tolerance research in horticultural crops. **Journal of Arid Land Studies**, v.29, n.2, p.53-59, Oct. 2019.
- RESH, H.M. **Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. 6ty ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 560p.
- ROMANINI, C.E.B. *et al.* Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.11, p.1193-1201, 2010.
- SILBER, A. Chemical characteristics of soil-less media. In: RAVIV, M.; LIETH, J.H. (ed.). **Soilless culture: theory and practice**. Amsterdam: Elsevier, 2007. p.209-244.
- SILBER, A. *et al.* High fertigation frequency: the effects on uptake of nutrients, water and plant growth. **Plant and Soil**, v.253, p.467-477, 2003.
- SOARES, J.R.R. **Soluções nutritivas e diferentes composições de substratos no cultivo hidropônico de morango no Distrito Federal**. 2022. 39f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina e Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022. http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/45385/1/2022_Jo%C3%A3oRicardoRamosSoares.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.
- SONNEVELD, C.; VOOGT, W. **Plant nutrition of greenhouse production**. London: Springer Netherlands, 2009. 431p. Disponível em: https://home.czu.cz/storage/737/65060_Plant-Nutrition-of-Greenhouse-Crops-Springer-Netherlands-2009-ucebnice.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.