

**SUBSTRATOS NÃO CONVENCIONAIS NO CULTIVO DE HORTALIÇAS:
BORRA DE CAFÉ E CASCA DE OVO COMO ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS**

**UNCONVENTIONAL SUBSTRATES IN VEGETABLE CULTIVATION: COFFEE
GROUNDS AND EGGSHELLS AS SUSTAINABLE ALTERNATIVES**

**SUSTRATOS NO CONVENCIONALES EN EL CULTIVO DE HORTALIZAS:
POSOS DE CAFÉ Y CÁSCARAS DE HUEVO COMO ALTERNATIVAS
SOSTENIBLES**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n3-085>

Data de submissão: 17/02/2026

Data de publicação: 17/03/2026

Danielle dos Santos Tavares Pereira

Profa Dra

Orientadora

Instituição: Instituto Federal de Alagoas - Campus Murici

E-mail: danielle.pereira@ifal.edu.br

José Antônio da Silva Madalena

Prof Dr

Coorientador

Instituição: Instituto Federal de Alagoas - Campus Murici

E-mail: jose.madalena@ifal.edu.br

Alice Gabrielly Souza Pereira de Lima

Estudante do Curso técnico médio integrado em Agroecologia

Instituição: Instituto Federal de Alagoas - Campus Murici

E-mail: agspl1@aluno.ifal.edu.br

RESUMO

A crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis tem impulsionado a busca por substratos alternativos aos materiais convencionais no cultivo de hortaliças. Esta revisão aborda o uso de substratos não convencionais, com ênfase em borra de café e casca de ovo, analisando suas propriedades físico-químicas, benefícios agrônômicos, limitações e potencial de aplicação na horticultura moderna. Estudos recentes demonstram que a borra de café (SCG - Spent Coffee Grounds) pode substituir parcialmente a turfa em substratos quando utilizada em proporções adequadas (2,5–5%), melhorando características do solo e fornecendo nutrientes essenciais. A casca de ovo, rica em carbonato de cálcio, atua como condicionador de solo, corrigindo a acidez e prevenindo distúrbios fisiológicos como a podridão apical. A utilização desses resíduos orgânicos contribui para a economia circular, reduz o descarte em aterros sanitários e oferece alternativas economicamente viáveis aos produtores. No entanto, desafios relacionados à presença de compostos fitotóxicos na borra de café e à necessidade de processamento adequado requerem atenção. Esta revisão sintetiza evidências científicas atuais e identifica lacunas de conhecimento, fornecendo direcionamentos para futuras pesquisas e aplicações práticas.

Palavras-chave: Substratos Alternativos. Borra de Café. Casca de Ovo. Horticultura Sustentável. Economia Circular.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable agricultural practices has driven the search for alternative substrates to conventional materials in vegetable cultivation. This review addresses the use of unconventional substrates, with an emphasis on coffee grounds and eggshells, analyzing their physicochemical properties, agronomic benefits, limitations, and potential application in modern horticulture. Recent studies demonstrate that coffee grounds (SCG - Spent Coffee Grounds) can partially replace peat in substrates when used in appropriate proportions (2.5–5%), improving soil characteristics and providing essential nutrients. Eggshells, rich in calcium carbonate, act as a soil conditioner, correcting acidity and preventing physiological disorders such as blossom-end rot. The use of these organic residues contributes to the circular economy, reduces landfill disposal, and offers economically viable alternatives to producers. However, challenges related to the presence of phytotoxic compounds in coffee grounds and the need for proper processing require attention. This review synthesizes current scientific evidence and identifies knowledge gaps, providing guidance for future research and practical applications.

Keywords: Alternative Substrates. Coffee Grounds. Eggshells. Sustainable Horticulture. Circular Economy.

RESUMEN

La creciente demanda de prácticas agrícolas sostenibles ha impulsado la búsqueda de sustratos alternativos a los materiales convencionales en el cultivo de hortalizas. Esta revisión aborda el uso de sustratos no convencionales, con énfasis en los posos de café y las cáscaras de huevo, analizando sus propiedades fisicoquímicas, beneficios agronómicos, limitaciones y potencial aplicación en la horticultura moderna. Estudios recientes demuestran que los posos de café (SCG - Spent Coffee Grounds) pueden reemplazar parcialmente la turba en los sustratos cuando se utilizan en proporciones adecuadas (2,5-5%), mejorando las características del suelo y aportando nutrientes esenciales. Las cáscaras de huevo, ricas en carbonato de calcio, actúan como acondicionador del suelo, corrigiendo la acidez y previniendo trastornos fisiológicos como la podredumbre apical. El uso de estos residuos orgánicos contribuye a la economía circular, reduce la cantidad de residuos que terminan en vertederos y ofrece alternativas económicamente viables para los productores. Sin embargo, es necesario prestar atención a los desafíos relacionados con la presencia de compuestos fitotóxicos en los posos de café y la necesidad de un procesamiento adecuado. Esta revisión sintetiza la evidencia científica actual e identifica las lagunas de conocimiento, proporcionando orientación para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

Palabras clave: Sustratos Alternativos. Posos de Café. Cáscaras de Huevo. Horticultura Sostenible. Economía Circular.

1 INTRODUÇÃO

A produção hortícola moderna enfrenta desafios crescentes relacionados à degradação do solo, à escassez de recursos naturais e às pressões ambientais decorrentes das mudanças climáticas, conforme amplamente documentado por Gruda (2019) em sua revisão sobre sistemas de cultivo sem solo. Nesse contexto, o cultivo sem solo tem emergido como abordagem complementar aos sistemas tradicionais em campo aberto, oferecendo maior controle sobre as condições de crescimento e eficiência no uso de recursos (Raviv e Lieth, 2019). Os substratos de cultivo desempenham papel fundamental nesses sistemas, proporcionando suporte físico, retenção de água e nutrientes e aeração adequada para o desenvolvimento radicular. Materiais como turfa, perlita e vermiculita têm sido amplamente empregados para essas finalidades (Asaduzzaman, 2015). Contudo, a extração desses recursos naturais levanta preocupações ambientais consideráveis, incluindo o esgotamento de reservas finitas e impactos sobre ecossistemas frágeis — em especial as turfeiras, que representam importantes sumidouros de carbono e habitats únicos para a biodiversidade (Barrett et al., 2016).

A transição para modelos que valorizem resíduos orgânicos representa estratégia essencial para a sustentabilidade do setor agrícola, conforme preconizado pelos princípios da economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Anualmente, milhões de toneladas de resíduos orgânicos são gerados por atividades humanas diversas, com destaque para a indústria de alimentos e o consumo doméstico. Entre esses materiais, a borra de café e as cascas de ovo apresentam potencial considerável para reaproveitamento agrícola (Pérez-Burillo et al., 2022). Estimativas indicam que entre 8 e 15 milhões de toneladas de borra de café são produzidas globalmente a cada ano (Horgan et al., 2023), enquanto grandes volumes de cascas de ovo são descartados diariamente em residências, restaurantes e indústrias de processamento de alimentos (Cruz et al., 2012). A conversão desses resíduos em insumos agrícolas não apenas reduz o volume destinado a aterros sanitários, como também agrega valor econômico e contribui para sistemas de produção mais sustentáveis, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, especialmente aqueles vinculados ao consumo e à produção responsáveis (ONU, 2015; Gruda et al., 2013).

Esta revisão tem como objetivos: caracterizar as propriedades físico-químicas da borra de café e da casca de ovo como componentes de substratos; analisar os efeitos desses materiais no crescimento e desenvolvimento de hortaliças com base na literatura científica recente; identificar limitações e desafios associados ao seu uso mediante análise crítica dos estudos disponíveis; sintetizar recomendações práticas para produtores e pesquisadores; e indicar lacunas de conhecimento e direções para investigações futuras. Baseando-se em trabalhos como os de Chrysargyris et al. (2020), Horgan et al. (2023), Yamane et al. (2014) e Casinillo et al. (2024), o uso desses materiais como componentes

de substratos apresenta tanto oportunidades significativas quanto desafios técnicos que precisam ser compreendidos e gerenciados para que a aplicação prática seja bem-sucedida em diferentes escalas de produção, conforme argumentado por Gruda (2019).

2 BORRA DE CAFÉ COMO SUBSTRATO ALTERNATIVO

A borra de café, denominada internacionalmente como Spent Coffee Grounds (SCG), é o resíduo sólido resultante da preparação de café. Trata-se de material de composição complexa, rico em matéria orgânica e nutrientes essenciais para as plantas, particularmente nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), além de micronutrientes como zinco (Zn) e manganês (Mn) (Chrysargyris et al., 2020). Em ensaios com rabanete, Yamane et al. (2014) verificaram que aplicações de SCG a 30 toneladas por hectare aumentaram o conteúdo de matéria orgânica do solo em 50% e elevaram os teores de P, Mg e Mn em 27,5%, 14,6% e 55,5%, respectivamente, em comparação ao controle sem aplicação. Além de melhorar as propriedades do solo, os tratamentos com SCG incrementaram os conteúdos de P, Mg, Zn e Mn nas folhas e tubérculos de rabanete, assim como os níveis de K e vitamina C nos tubérculos, indicando que o material pode contribuir para a qualidade nutricional dos produtos colhidos.

Do ponto de vista físico-químico, o SCG apresenta alta porosidade e boa capacidade de retenção de água, características desejáveis em substratos para cultivo (Abad et al., 2001). Todavia, sua relação carbono-nitrogênio (C:N) elevada, na ordem de 20–25:1, pode levar à imobilização temporária de nitrogênio por microrganismos do solo quando o material é aplicado sem tratamento prévio ou em concentrações excessivas (Hardgrove e Livesley, 2016). Esses autores demonstraram que a aplicação direta de SCG fresco ao solo pode reduzir drasticamente o crescimento vegetal em razão tanto da imobilização de nitrogênio quanto da presença de compostos alelopáticos. A cafeína e os taninos constituem as principais limitações do SCG fresco: esses compostos inibem a germinação e o crescimento inicial das plantas, sendo que a cafeína, em particular, afeta negativamente o enraizamento adventício em algumas espécies (Batish et al., 2008; Panusa et al., 2013). Tais achados reforçam a importância do processamento adequado do SCG antes de sua utilização como componente de substratos ou como amendoamento de solo (Brady e Weil, 2016).

Pesquisas recentes demonstraram o potencial do SCG como substituto parcial da turfa na produção de mudas de hortaliças da família Brassicaceae, grupo que inclui espécies economicamente relevantes como couve-flor, brócolis e repolho. Chrysargyris et al. (2020) avaliaram sementes dessas espécies em misturas contendo 0, 2,5, 5 e 10% de SCG e verificaram que a germinação de couve-flor e repolho foi estimulada nas proporções de 2,5–5%, enquanto para o repolho a concentração ideal foi

de 2,5%. A concentração de 10% de SCG reduziu a porcentagem de emergência e ampliou o tempo médio de emergência para todas as espécies testadas, indicando fitotoxicidade em níveis mais elevados. A biomassa vegetal e o número de folhas aumentaram nos tratamentos com 2,5% de SCG para brócolis e repolho, mantendo-se estáveis em couve-flor em relação ao controle, o que sugere que baixas proporções do material melhoram as propriedades físico-químicas do meio de crescimento e suprem quantidades adequadas de minerais para as mudas sem causar efeitos deletérios.

Estudos mais recentes têm investigado os efeitos do envelhecimento ou maturação do SCG sobre sua fitotoxicidade e suas propriedades como substrato. Horgan et al. (2023) demonstraram que o envelhecimento do SCG por semanas a meses pode neutralizar parcialmente os compostos tóxicos, preservando propriedades repelentes contra lesmas e caracóis — benefício adicional para sistemas de produção orgânica. O SCG parcialmente decomposto, aplicado como cobertura superficial (top-dressing) ou incorporado ao solo, melhorou o crescimento de rabanete e reduziu significativamente a herbivoria por gastrópodes. Diferentes períodos de envelhecimento (0, 6, 12 e 18 meses) foram testados, e o material envelhecido mostrou-se menos fitotóxico, permitindo crescimento adequado das plantas enquanto mantinha as propriedades repelentes, o que indica que o processamento temporal pode ser uma estratégia simples e economicamente viável para otimizar o uso do SCG na agricultura.

A compostagem do SCG com outros materiais, como esterco animal ou biochar, representa abordagem complementar para reduzir a fitotoxicidade por meio da decomposição microbiana de compostos alelopáticos (Bernal et al., 2017). Kekelis et al. (2024), comparando SCG reciclado, vermicomposto e fertilizantes químicos no cultivo de rabanete, observaram que compostos à base de SCG adequadamente processado melhoram significativamente a qualidade do solo e o crescimento das plantas. O processo de compostagem não apenas reduz compostos fitotóxicos, mas também estabiliza a matéria orgânica e melhora a disponibilidade de nutrientes, tornando o material mais adequado para uso agrícola (Haug, 1993). Ozdemir et al. (2024) demonstraram que a compostagem de SCG com biochar de esterco de aves resultou em produtos com teores elevados de N, P e K, capazes de substituir parcialmente substratos à base de turfa em sistemas de cultivo vertical de hortaliças folhosas como agrião e espinafre.

Segundo Ozdemir et al. (2024), a adição de biochar durante a compostagem do SCG não apenas acelera a decomposição, mas também aprimora o perfil nutricional do produto final. Quando 10% de biochar foi incorporado ao composto, o conteúdo de P quase dobrou em relação ao composto de SCG puro, e o teor de K apresentou incremento similar; em contrapartida, a adição de biochar reduziu o nitrogênio total, com valores variando de 2,88 a 2,21% nos diferentes níveis de adição. Esse efeito é atribuído à capacidade do biochar de melhorar os teores de P e K ao mesmo tempo que mitiga

a volatilização de N, em razão de sua alta porosidade, elevada área superficial específica e grupos funcionais com afinidade por nutrientes. Os experimentos em vasos revelaram que a substituição parcial de substratos convencionais pelo composto de SCG com biochar promoveu crescimento vegetativo adequado de agrião e espinafre em sistemas verticais, com melhorias nos teores de clorofila foliar e acúmulo de biomassa, demonstrando a viabilidade técnica dessa abordagem para a produção comercial de hortaliças folhosas.

Os principais benefícios agrônômicos e ambientais do uso de SCG na agricultura incluem: melhoria da estrutura do solo pelo incremento de matéria orgânica; fornecimento gradual de nutrientes à medida que a matéria orgânica é mineralizada; controle natural de pragas em razão das propriedades repelentes contra lesmas e caracóis; redução de resíduos por meio do desvio de material orgânico de aterros sanitários; e viabilidade econômica, especialmente para pequenos produtores e horticultores urbanos (Pérez-Burillo et al., 2022). Contudo, é fundamental reconhecer as limitações associadas ao seu uso: a fitotoxicidade causada por cafeína, taninos e ácidos fenólicos; a imobilização de nitrogênio decorrente da alta relação C:N; a variabilidade composicional em função do tipo de café e do método de preparo; a necessidade de processamento prévio que aumenta o tempo e o custo de preparo; e a criticidade da dosagem, uma vez que concentrações superiores a 10% em misturas de substrato são geralmente prejudiciais.

3 CASCA DE OVO COMO ADITIVO DE SUBSTRATO

As cascas de ovo são compostas principalmente por carbonato de cálcio (CaCO_3), que representa aproximadamente 94–97% da composição total, com pequenas quantidades de proteínas, magnésio, fósforo e outros minerais (Stadelman e Cotterill, 1995). Essa composição torna o material valioso tanto como fonte de cálcio quanto como agente corretivo de acidez do solo. Além do cálcio, as cascas contêm traços de potássio, fósforo, magnésio e micronutrientes que contribuem para a nutrição vegetal, embora em concentrações relativamente baixas (Tsai et al., 2006). Quando moídas finamente, as cascas apresentam alta área superficial específica, o que facilita a dissolução e a disponibilização do cálcio no solo — propriedade crucial para a eficácia do material como amendoamento ou componente de substrato (Yoo et al., 2009). O carbonato de cálcio atua como agente alcalinizante, elevando o pH de solos ácidos, o que é particularmente benéfico para hortaliças que se desenvolvem melhor em condições de pH neutro a levemente alcalino (Marschner, 2012).

Casinillo et al. (2024) estudaram os efeitos de diferentes doses de casca de ovo em pó no crescimento de mostarda chinesa (*Brassica juncea*) e verificaram aumentos progressivos de pH com o incremento da dose aplicada (0, 1, 5, 10 e 15 g por vaso), criando condições mais favoráveis para a

disponibilidade de nutrientes e para a absorção radicular. O mecanismo de ação ocorre quando o CaCO_3 das cascas reage com ácidos presentes no solo, neutralizando a acidez e liberando íons Ca^{2+} disponíveis para as plantas — processo análogo ao do calcário agrícola, porém utilizando material residual. Além da correção de pH, o cálcio é nutriente essencial para o desenvolvimento estrutural das plantas, com papéis críticos na formação e estabilidade das paredes celulares; sua deficiência pode causar diversos distúrbios fisiológicos em hortaliças, especialmente em frutos de tomate, pimentão e abobrinha.

A podridão apical (blossom-end rot) é um distúrbio fisiológico que afeta principalmente tomates, pimentões e outras espécies, manifestando-se como manchas escuras ou aquosas na extremidade floral dos frutos (White e Broadley, 2003). A aplicação de casca de ovo pode prevenir esse problema ao garantir disponibilidade adequada de cálcio durante a frutificação, por meio do fornecimento direto de cálcio ao sistema radicular, da melhoria da integridade das membranas celulares (Marschner, 2012) e da redução da incidência de rachaduras e deformações nos frutos (Taylor e Locascio, 2004). No estudo com mostarda chinesa, Casinillo et al. (2024) registraram aumentos de 11–36% na altura das plantas, incrementos de 11–70% no número de folhas e ganhos de 26–171% na largura das folhas em comparação ao controle, com os efeitos mais pronunciados no tratamento de 15 g de casca de ovo por vaso. Esses resultados indicam que o material pode ser ferramenta valiosa para produtores de hortaliças folhosas que buscam alternativas sustentáveis e economicamente acessíveis.

A casca de ovo também demonstrou benefícios em cultivos diversificados. Para hortaliças frutíferas, contribui para a prevenção da podridão apical, melhoria da firmeza dos frutos em tomates, incremento de produtividade em pimentões e redução de distúrbios fisiológicos em pepinos (Jones, 2012; Anugrah e Safahi, 2021). Para hortaliças folhosas como alface e espinafre, favorece o crescimento vegetativo mais vigoroso, a qualidade nutricional das folhas e a resistência a estresses abióticos, embora estudos sistemáticos e controlados ainda sejam necessários para quantificar precisamente esses efeitos em diferentes espécies e sistemas de cultivo (Hochmuth et al., 2012; Gruda, 2019).

O preparo adequado das cascas envolve: limpeza para remover resíduos de clara e membrana interna, reduzindo riscos microbiológicos; secagem ao ar livre ou em forno a baixa temperatura (60–100°C), que facilita a moagem; e processamento em moedor ou liquidificador até a obtenção de pó fino — quanto menor o tamanho das partículas, mais rápida a disponibilização do cálcio. As formas de aplicação incluem a incorporação direta ao substrato antes do plantio (1–2 colheres de sopa por litro), a aplicação superficial ao redor das plantas estabelecidas, o preparo de chá de casca de ovo (10–

20 cascas fervidas em 4 litros de água, deixadas em infusão por 12–24 horas, com aplicação de 2 xícaras por planta a cada duas semanas) e a adição de cascas trituradas ao composto orgânico para corrigir a acidez excessiva do material compostado.

Entre as principais vantagens do uso de casca de ovo em horticultura destacam-se: a sustentabilidade, pela reutilização de resíduo doméstico abundante; o custo zero do material; a segurança, por tratar-se de produto natural; e a multifuncionalidade, atuando simultaneamente como fonte de cálcio, corretivo de pH e fornecedor de micronutrientes. Como limitações relevantes, aponta-se a taxa de liberação lenta do cálcio, dependente da solubilização gradual do carbonato; o risco de alcalinização excessiva em solos já com pH elevado, prejudicando plantas acidófilas como azáleas e mirtilos; a eficácia reduzida quando as partículas são muito grosseiras; e a necessidade de complementação com outras fontes de N, P e K para garantir nutrição balanceada.

4 INTEGRAÇÃO E PERSPECTIVAS SINÉRGICAS

A utilização conjunta de borra de café e casca de ovo pode gerar efeitos sinérgicos que superam os benefícios individuais de cada material. Enquanto o SCG fornece NPK e micronutrientes essenciais para o crescimento vegetativo, a casca de ovo complementa esse aporte com cálcio abundante e correção de pH, criando ambiente nutricional mais equilibrado. A casca de ovo pode neutralizar a acidez residual do SCG, estabelecendo condições de pH mais adequadas para a maioria das hortaliças e, simultaneamente, fornecendo cálcio para prevenir distúrbios fisiológicos comuns em frutos. No plano físico, a matéria orgânica do SCG combinada com o material mineral das cascas melhora tanto a retenção de água quanto a aeração do meio de cultivo, criando condições propícias ao desenvolvimento radicular — equilíbrio fundamental para o sucesso de qualquer sistema de produção em substrato.

Outros materiais não convencionais podem ser integrados a formulações que incluam SCG e casca de ovo para ampliar os benefícios do substrato: a fibra de coco oferece excelente capacidade de retenção de água e aeração, sendo amplamente empregada em cultivo hidropônico; o bagaço de cana, resíduo agroindustrial abundante em regiões produtoras de açúcar, pode ser compostado e utilizado como componente estrutural; as cascas e serragem compostadas substituem parcialmente a turfa em misturas, proporcionando aeração; e o vermicomposto, rico em nutrientes e bioestimulantes, promove o crescimento vegetal por múltiplas vias. A tendência atual aponta para o desenvolvimento de misturas que combinam múltiplos materiais alternativos, explorando as características únicas de cada componente para criar substratos otimizados a espécies e sistemas específicos — abordagem que representa avanço significativo em relação ao uso de materiais únicos.

Diversas lacunas de conhecimento identificadas nesta revisão demandam investigação sistemática: efeitos a longo prazo da aplicação continuada de SCG sobre o microbioma do solo e suas funções ecológicas; interações entre diferentes proporções de SCG, casca de ovo e outros componentes sobre o crescimento de espécies hortícolas específicas; respostas varietais de cultivares modernas versus tradicionais; protocolos padronizados de processamento e maturação do SCG passíveis de replicação em diferentes regiões e escalas; e viabilidade econômica em escala comercial, contemplando custos de coleta, processamento, transporte e aplicação. Estudos de longo prazo são particularmente necessários para avaliar efeitos cumulativos sobre propriedades do solo e produtividade ao longo de múltiplos ciclos de cultivo, já que a maioria das pesquisas existentes é de curta duração, o que limita a avaliação da sustentabilidade dessas práticas.

A otimização de formulações mediante combinações ideais de materiais convencionais e não convencionais para diferentes espécies hortícolas representa área promissora de pesquisa aplicada. Técnicas como superfície de resposta e delineamentos fatoriais podem ser empregadas para identificar combinações ótimas de SCG, casca de ovo e outros componentes. Na dimensão ambiental, a análise de ciclo de vida (LCA) é ferramenta importante para quantificar impactos comparativos entre substratos convencionais e alternativos, considerando todo o ciclo desde a geração de resíduos até a disposição final. A investigação da logística de coleta, processamento e distribuição em escala comercial é igualmente necessária, uma vez que sistemas centralizados podem ser mais eficientes que o processamento descentralizado em pequena escala, dependendo de fatores como densidade populacional e volume de resíduos disponíveis.

A inoculação de microrganismos benéficos — micorrizas arbusculares, bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos celulolíticos — em substratos à base de SCG e casca de ovo pode acelerar a decomposição da matéria orgânica, melhorar a disponibilidade de nutrientes e promover o crescimento vegetal por múltiplos mecanismos. Microrganismos específicos podem ser selecionados para degradar compostos fitotóxicos presentes no SCG fresco, reduzindo a necessidade de longos períodos de maturação. Para que esses benefícios alcancem produtores comerciais e agricultores familiares, são necessários materiais educativos acessíveis sobre preparação e uso dos materiais, demonstrações práticas em unidades de referência, capacitação de técnicos de extensão rural, políticas públicas que incentivem a economia circular mediante subsídios e programas de assistência técnica, e parcerias entre universidades, centros de pesquisa e o setor produtivo para validação de tecnologias em condições reais e adaptação às especificidades regionais.

5 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para pequenos produtores e horticultores urbanos, recomenda-se iniciar com proporções baixas de SCG — especificamente 2,5–5% em misturas de substrato, conforme demonstrado por Chrysargyris et al. (2020) — e compostar o material antes da aplicação sempre que possível para reduzir a fitotoxicidade (Hardgrove e Livesley, 2016). As cascas de ovo devem ser moídas em pó fino para maximizar a disponibilização de cálcio; o pH do solo deve ser monitorado regularmente para evitar alcalinização excessiva, sobretudo em solos já com reação alcalina; e esses materiais devem ser combinados com fontes complementares de nutrientes para garantir nutrição balanceada, uma vez que SCG e casca de ovo isoladamente não suprem todas as demandas nutricionais das culturas. Em escala comercial, recomenda-se realizar testes preliminares em escala piloto antes da adoção ampla, estabelecer parcerias com cafeterias, restaurantes e indústrias para fornecimento regular de resíduos, investir em equipamentos de moagem e compostagem, implementar controle de qualidade dos materiais recebidos e documentar custos e benefícios para subsidiar decisões sobre a continuidade e expansão do uso desses insumos.

A incorporação de substratos não convencionais deve integrar uma estratégia mais ampla de manejo sustentável, que inclua rotação de culturas para otimizar o aproveitamento de nutrientes e interromper ciclos de pragas e doenças; adubação verde para complementar o fornecimento de nitrogênio, especialmente quando se utilizam materiais com alta relação C:N como o SCG; inoculação de microrganismos benéficos, incluindo micorrizas arbusculares, rizobactérias promotoras de crescimento e fungos antagonistas de patógenos; e monitoramento nutricional por meio de análises foliares e de solo, que permitam ajustes precisos de fertilização. O uso de SCG e casca de ovo não deve ser encarado como substituição completa das práticas convencionais, mas como componente de um sistema de produção mais diversificado, resiliente e ambientalmente sustentável, que integra conhecimentos tradicionais a inovações baseadas em evidências científicas.

A análise abrangente da literatura apresentada nesta revisão evidencia que os substratos não convencionais, particularmente a borra de café e a casca de ovo, representam alternativas promissoras e sustentáveis aos materiais tradicionais no cultivo de hortaliças. A borra de café pode substituir parcialmente a turfa em substratos nas proporções de 2,5–5%, fornecendo nutrientes essenciais, melhorando a estrutura do solo e conferindo propriedades repelentes contra lesmas e caracóis (Chrysargyris et al., 2020; Horgan et al., 2023). Esse material requer, no entanto, processamento adequado por compostagem ou maturação para reduzir a fitotoxicidade causada por cafeína e taninos (Hardgrove e Livesley, 2016). A casca de ovo constitui excelente fonte de cálcio e agente corretivo de acidez, contribuindo para prevenir distúrbios fisiológicos como a podridão apical e melhorar o

crescimento vegetativo de hortaliças folhosas, com aumentos de 11–36% em altura e 11–70% no número de folhas (Casinillo et al., 2024). Sua utilização é simples, economicamente viável e contribui significativamente para a economia circular ao transformar resíduos orgânicos domésticos em recursos produtivos.

A combinação estratégica desses materiais pode gerar efeitos sinérgicos relevantes, balanceando o fornecimento de nutrientes — SCG com NPK, casca de ovo com cálcio — e corrigindo as condições físico-químicas do substrato por meio da neutralização da acidez residual do SCG pelo carbonato de cálcio das cascas. Os principais desafios residem na necessidade de processamento adequado do SCG, na variabilidade composicional dos materiais, nas restrições quanto às taxas de aplicação e na necessidade de complementação nutricional. As pesquisas futuras devem priorizar estudos de longo prazo sobre efeitos cumulativos ao longo de múltiplos ciclos de cultivo, otimização de formulações para diferentes espécies hortícolas, análises econômicas detalhadas em diferentes escalas, desenvolvimento de protocolos padronizados replicáveis e investigações sobre as interações entre substratos alternativos e o microbioma do solo.

A transição para sistemas de produção hortícola mais sustentáveis exige a valorização de resíduos orgânicos como recursos produtivos, e não como problemas de disposição. Borra de café e casca de ovo exemplificam como materiais cotidianamente descartados podem ser transformados em insumos valiosos, contribuindo para a segurança alimentar, a sustentabilidade ambiental — por meio da redução do descarte em aterros e da menor extração de recursos naturais finitos como a turfa — e a viabilidade econômica da agricultura, especialmente para pequenos produtores que enfrentam custos crescentes de insumos convencionais. O conjunto de evidências compiladas a partir dos trabalhos de Chrysargyris et al. (2020), Horgan et al. (2023), Yamane et al. (2014), Casinillo et al. (2024), Ozdemir et al. (2024) e demais autores citados fornece base sólida para recomendações práticas imediatas e aponta com clareza as áreas que requerem investigação adicional para otimizar o uso desses materiais em diferentes espécies e sistemas de cultivo.

O uso de borra de café e casca de ovo como componentes de substratos para hortaliças não se limita ao âmbito experimental ou às práticas de horticultores urbanos: representa oportunidade real e viável para tornar sistemas de produção hortícola mais sustentáveis, resilientes e economicamente acessíveis. Quando adequadamente processados e aplicados nas proporções corretas, esses materiais podem substituir parcialmente insumos convencionais sem comprometer — e em alguns casos até melhorando — o crescimento e a produtividade das culturas. A implementação bem-sucedida requer atenção ao processamento do SCG, à granulometria das cascas de ovo, às proporções nas misturas de substrato e à complementação nutricional. O conhecimento científico aqui compilado deve ser

traduzido em materiais educativos acessíveis, programas de capacitação e políticas públicas que incentivem a adoção dessas práticas sustentáveis, construindo o caminho da pesquisa à implementação em escala e contribuindo efetivamente para sistemas alimentares mais sustentáveis e resilientes.

REFERÊNCIAS

- ABAD, M.; NOGUERA, P.; BURÉS, S. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, v. 77, n. 2, p. 197-200, 2001. DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00152-8.
- ANUGRAH, R. D.; SAFAHI, L. The effect of eggshell organic fertilizer on vegetative growth of Cayenne Pepper (*Capsicum frutescens* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 755, n. 1, p. 012001, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/755/1/012001.
- ASADUZZAMAN, M. (Ed.). *Soilless culture: use of substrates for the production of quality horticultural crops*. Rijeka: IntechOpen, 2015.
- BARRETT, G. E. et al. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems: a review. *Scientia Horticulturae*, v. 212, p. 220-234, 2016. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.09.030.
- BATISH, D. R. et al. Caffeine affects adventitious rooting and causes biochemical changes in the hypocotyl cuttings of mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.). *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 30, n. 3, p. 401-405, 2008. DOI: 10.1007/s11738-007-0120-7.
- BERNAL, M. P. et al. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.11.027.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. 15. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2016.
- CASINILLO, L. F. et al. Effects of eggshells and wood ashes as organic fertilizers on the growth performance of scallions (*Allium fistulosum* L.). *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, v. 48, n. 5, p. 1407-1418, 2024.
- CHRYSGYRIS, A.; PRASAD, M.; TZORTZAKIS, N. The use of spent coffee grounds in growing media for the production of Brassica seedlings in nurseries. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 11222-11231, 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-07944-9.
- HARDGROVE, S. J.; LIVESLEY, S. J. Applying spent coffee grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 18, p. 1-8, 2016. DOI: 10.1016/j.ufug.2016.02.015.
- HORGAN, F. G. et al. Spent coffee grounds applied as a top-dressing or incorporated into the soil can improve plant growth while reducing slug herbivory. *Agriculture*, v. 13, n. 2, p. 257, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13020257.
- KEKELIS, P. et al. The effect of recycled spent coffee grounds fertilizer, vermicompost, and chemical fertilizers on the growth and soil quality of red radish (*Raphanus sativus*) in the United Arab Emirates: a sustainability perspective. *Sustainability*, v. 16, n. 13, p. 5638, 2024. DOI: 10.3390/su16135638.

OZDEMIR, S. et al. Circular utilization of coffee grounds as a bio-nutrient through microbial transformation for leafy vegetables. *Horticulturae*, v. 10, n. 10, article 1089, 2024. DOI: 10.3390/horticulturae10101089.

PÉREZ-BURILLO, S. et al. Why should we be concerned with the use of spent coffee grounds as an organic amendment of soils? A narrative review. *Agronomy*, v. 12, n. 11, p. 2771, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12112771.

YAMANE, K. et al. Field evaluation of coffee grounds application for crop growth enhancement, weed control, and soil improvement. *Plant Production Science*, v. 17, n. 1, p. 93-102, 2014. DOI: 10.1626/pps.17.93.