



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNI MION

USO DE BENTONITA EM SUBSTRATO PARA CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE
ALFACE

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

CURITIBA
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNI MION

USO DE BENTONITA EM SUBSTRATO PARA CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE
ALFACE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
APRESENTADO AO CURSO DE AGRONOMIA, SETOR
DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARANÁ, COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE BACHAREL EM AGRONOMIA.
ORIENTADOR: PROF. DR. VOLNEI PAULETTI.

CURITIBA

2024

TERMO DE APROVAÇÃO

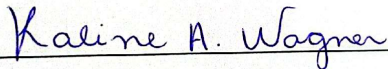
GIOVANNI MION

**USO DE BENTONITA EM SUBSTRATO PARA CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO
DE ALFACE**

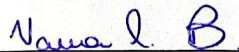
Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro(a)
Agrônomo(a) no Curso de Graduação em Agronomia, pela seguinte banca
examinadora:



Orientador Professor Dr. Volnei Pauletti
Departamento Solos e Engenharia Agrícola
Setor de Ciências Agrárias



Eng. Agr. Me. Kaline Aparecida Wagner
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Setor de Ciências Agrárias



Eng. Agr. Vanessa Coan Bittencourt
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 19 de dezembro de 2024

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. HIPÓTESE	7
3 OBJETIVO.....	7
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4.1 CONDIÇÕES PARA O CULTIVO E PREPARO DA ÁREA.....	8
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
6 CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS	29

RESUMO

A alface é um alimento bastante consumido pelos brasileiros e representa um importante cultivo para pequenos e médios produtores nacionais, contribuindo para a economia de diversas regiões. No cultivo protegido desta folhosa há diversos desafios para uma boa produtividade em sistema protegido, podemos citar como um dos principais a utilização de substratos de qualidade, a qual deve ter as seguintes características: ser uma mistura de matérias orgânicas, adubos e calcário, que deve apresentar uma boa aeração e adequada retenção de água e nutrientes. O argilomineral bentonita traz a proposta positiva de ser um substrato ao qual traz as características agronômicas de importância já citadas, trata-se de um mineral barato que é comumente utilizado como condicionador de solo pela sua elevada quantidade de cargas negativas e capacidade de retenção de água. Dessa forma, o objetivo deste experimento foi testar e analisar a capacidade da bentonita, como condicionador em substrato destinado ao cultivo protegido de alface, em sistema semi-hidropônico. Para isso foi instalado um experimento em casa de vegetação, em delineamento em blocos com cinco repetições, com os tratamentos sendo constituídos de quatro doses de bentonita misturadas à casca de arroz carbonizada (CAC). Para obtenção dos tratamentos foi utilizada bentonita granulada nas doses de 0, 5, 15 e 30% da massa total do substrato. Para o cultivo, foram feitas irrigações diárias com solução nutritiva contendo todos os nutrientes indicados para o cultivo da alface. Após 7 dias do transplântio das mudas para os vasos, foram avaliados o estado nutricional e a massa fresca da parte aérea das plantas, diâmetro e altura da parte aérea, comprimento das raízes, assim como a taxa fotossintética e teor de clorofila das folhas. O incremento de bentonita no substrato não influenciou a maioria dos parâmetros avaliados, mas proporcionou, especialmente nas doses de 15% e 30%, aumento no diâmetro e altura das plantas, e no comprimento das raízes. Também proporcionou aumento no teor foliar de P, K e Ca. Com estes resultados, conclui-se que a bentonita pode ser utilizada como condicionador em substratos para cultivo de alface, favorecendo o crescimento e absorção de

nutrientes, em doses que variam entre 25 e 35% da massa total em mistura com casca de arroz carbonizada.

1 INTRODUÇÃO

A fim de viabilizar a produção em pequenas áreas, os produtores tendem a buscar sistemas de produção que proporcionem maiores rendimentos e escala de benefícios (Battersby e Marshak, 2013; Amos et al., 2018), tentando conciliar culturas com bom rendimento e estruturas que otimizem o espaço. Nesse contexto, a olericultura se destaca, em especial a cultura da alface (***Lactuca sativa L.***), espécie da família Asteraceae originária da Ásia, que possui uma consistência macia e caule pequeno (Targino et al., 2017). A cultura da alface tem uma grande importância econômica em território nacional, o mercado de sementes e mudas é estimado para US\$ 17,07 e US\$ 52,48 milhões por ano, com uma área de produção de 91.172 ha, produtividade média de 18,6 t ha⁻¹ ano⁻¹ e receita de US\$ 384,63 milhões ano⁻¹ (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2017).

No Brasil, destacam-se as cultivares de coloração verde amarelada na comercialização (Sala & Costa, 2012). Há uma gama de diferentes tipos e variedades, com folhas lisas ou crespas, que oferecem textura e sabor variados. A alface crocante é preferência no mercado brasileiro, pois possui folhas mais tenras, flabeladas, consistentes e flexíveis, com bordas onduladas, predomínio do verde claro, ciclo precoce e sem formação de cabeça (Sala & Costa, 2012). A cultura da alface possui ciclo curto e a nutrição se torna de suma importância para maiores produtividades. O estado nutricional das plantas está ligado com a coloração das folhas, a qual é influenciada pela quantidade de clorofila presente nas folhas, ao passo que a atividade fotossintética se realiza em função deste pigmento (Vieira et al., 2017). Observa-se que em ambientes com maior luminosidade há maiores teores de clorofila-a e plantas em ambientes sombreados predomina clorofila-b, ambos pigmentos responsáveis pela coloração das folhas (Lima et al., 2011).

O sistema de cultivo protegido vem se tornando amplamente difundido no Brasil, principalmente nos cinturões verdes de algumas capitais nacionais, assim como, em algumas cidades do interior. A alface se tornou uma hortaliça pioneira em cultivos hidropônicos no país, principalmente devido ao seu manejo ser mais fácil e o encurtamento do ciclo da cultura (45 - 60 dias), tornando o retorno do capital mais rápido (Mondin, 1988), gerando produtos mais valorizados no mercado por serem alimentos de qualidade superior

(Souza & Resende, 2006).O emprego do sistema hidropônico e semi-hidropônico, não requer grandes áreas de terra para a implantação, em detrimento ao cultivo ao solo, que requer maiores áreas para obter a mesma produtividade (Halim, 2017).

Cada vez mais, reconhece-se a necessidade de reorientar os sistemas alimentares, priorizando não apenas a quantidade, mas a qualidade dos produtos e os impactos ambientais associados (Willett et al., 2019; Gonzalez Fischer & Garnett, 2016). Nesse contexto, a produção de hortaliças enfrenta desafios de cultivo relacionados à disponibilidade hídrica e limitações do solo (Pascale et al, 2018).Logo, a otimização da tecnologia de sistemas de produção agrícola sustentáveis se torna cada vez mais latente, principalmente devido às variações do clima para maiores rendimentos. (Geisenhoff et al., 2009).

No cultivo em sistema semi-hidropônico, as plantas são produzidas em substratos inertes, como fibra de coco, casca de arroz carbonizada, lã de rocha ou perlita, e recebem a aplicação de solução nutritiva por meio de fertirrigação, o qual deve ter porosidade adequada, ser capaz de manter a umidade ao redor das raízes e, ao mesmo tempo, reter e disponibilizar nutrientes (Siswadi, 2013).

O uso de condicionadores é uma prática comum na agricultura a fim de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas tanto em solo quanto substratos, tornando-os mais adequados para o crescimento das plantas. (Wallace, A. E Abouzamzam; A., 1986; Baasiri, 1986; Wallace, A , 1987; Albuquerque Filho, J. A. C. DE . ET AL., 2009). A importância da utilização de condicionadores de substrato se traduz na mitigação da deficiência nutricional da cultura, de forma a evitar prejuízos ao crescimento da planta (Almeida et al., 2011), induzir a malformação da cabeça e amarelecimento das folhas mais velhas (Goto et al., 2001).

Os condicionadores de substratos, como os minerais vermiculita, perlita e os sintéticos como polímeros hidroabsorventes, são amplamente utilizados para melhorar sua aeração e drenagem (Boodt, 1979; Darboux, et al., 2008; Calik & Sadoglu, 2014). Esses materiais têm uma estrutura porosa que permite a circulação de ar e a rápida drenagem da água em excesso, evitando o encharcamento das raízes e proporcionando um ambiente mais oxigenado para o desenvolvimento das plantas (Wallace, A. & Abouzamzam, A., 1986;

Baasiri, 1986; Wallace, A., 1987). Outro benefício desses condicionadores é a capacidade de reter água no substrato, garantindo que as raízes das plantas tenham acesso à água mesmo em períodos de estiagem ou quando a irrigação não é constante (Awad et al., 2012; Wang et al, 2018; Xiao et al., 2018).

A bentonita é um argilomineral é utilizada como condicionador de solo e de substratos de plantas, devido às suas propriedades físicas e químicas benéficas para melhorar sua estrutura e fertilidade (Hall et al., 2010, MI et al., 2017; Paralelo et al., 2019; MI et al., 2020). Trata-se de um material resultante da desvitrificação e alteração química da cinza vulcânica vítrea e tufos. É comumente composta do mineral montmorilonita e apresenta alto poder de adsorção, propriedade esta que depende mais da forma física do que da composição química. Isso se deve à estrutura micácea e à fácil clivagem que proporcionam uma área superficial muito grande e à textura semelhante a feltro, que facilita a permeabilidade. Possuem uma alta capacidade de troca de cátions e uma excelente capacidade de retenção de água (ROSS, C., & SHANNON, E., 1926).

Segundo Afif (1986), a adição de bentonita no solo arenoso resulta em aumento na retenção e disponibilidade da água do solo, ao passo que reduz a velocidade do movimento descendente da água, restringe a percolação profunda e a lixiviação de nutrientes. A bentonita atua na estrutura física do solo, principalmente nas propriedades hidrodinâmicas, de modo a aumentar a eficiência do uso da água (El - Sherif e El - Hady, 1986). Sua aplicação em solos arenosos melhora o movimento descendente da água, previne perdas de água e evita que os minerais lixiviem (Affifi, M.Y., 2006).

Além disso, a alta capacidade de troca catiônica da bentonita (Allo & Murray, 2004) permite reter nutrientes e liberá-los lentamente às raízes das plantas, contribuindo para a nutrição equilibrada das culturas. Outro uso potencial para bentonita é seu emprego em solos ou substratos salinos, pois sua capacidade de troca catiônica permite que ela retenha os íons em excesso, reduzindo a salinidade (Shaygan, M., 2017), o que pode contribuir na redução do estresse salino e melhorar as condições para o desenvolvimento das plantas.

As partículas da bentonita são extremamente pequenas, o que lhes confere uma grande área de superfície e alta capacidade de interação com outras substâncias. Além disso, possuem uma carga elétrica superficial elevada e uma capacidade de trocar cátions

(CTC) muito alta. Outra característica marcante da bentonita é sua capacidade de expandir quando em contato com a água, os grânulos se expandem aumentando a área superficial ao qual entra em contato com as raízes, havendo maior aproveitamento dos nutrientes e água. Embora possa ser utilizada na forma de pó, a bentonita granulada é a forma mais comum de aplicação (Silva et al., 2011).

Desta forma, o presente estudo visa investigar o potencial da bentonita como condicionador de substrato em sistema de cultivo protegido semi-hidropônico para alface, sua influência na absorção de nutrientes, na produtividade e na qualidade das plantas.

2 HIPÓTESE

A utilização da bentonita, um argilomineral com elevada capacidade de troca catiônica, como condicionador em substrato para o cultivo de alface em sistema protegido semi-hidropônico, pode resultar no aumento da produtividade e qualidade das colheitas em decorrência da melhoria na capacidade do argilomineral de reter e otimizar a utilização dos nutrientes presentes na solução nutritiva.

3 OBJETIVO

Avaliar o uso da bentonita como condicionador de substrato em cultivo semi-hidropônico de alface, investigando sua influência na otimização da absorção de nutrientes, com foco em melhorar a produtividade e qualidade das colheitas.

3.1 Objetivos específicos

- Avaliar o impacto da bentonita como condicionador de substrato na produtividade de alface cultivada em sistema protegido semi-hidropônico.
- Investigar a influência da bentonita na qualidade das plantas, considerando parâmetros como tamanho, peso, teor de clorofila e taxa fotossintética.
- Analisar a capacidade da bentonita em otimizar a utilização de nutrientes presentes na solução nutritiva, avaliando a absorção e aproveitamento nutricional pelas plantas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Condições para cultivo e preparo da área de estudo

O experimento foi implantado em cultivo protegido, no Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. A casa de vegetação apresenta cobertura abobadada construída com arco do tipo pampeano em aço galvanizado, variando de 3,0 a 5,2 metros de altura, orientada no sentido nordeste-sudoeste.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima local é Cfb, clima temperado com chuvas bem distribuídas e ausência de estação seca definida. As temperaturas são consideradas amenas, com a média do mês mais quente sendo inferior a 22°C (WMO, 1990).

O cultivo foi realizado em vasos de 3,3 litros dispostos em uma bancada no interior da casa de vegetação. A fertirrigação foi realizada com formulação proposta por Furlani (1998) como solução padrão (tabela 1), sendo a condutividade elétrica (CE) mantida em 1,2 dS m⁻¹ com acompanhamento com eletrocondutivímetro digital portátil. O pH da solução foi mantido na faixa de 5,5 a 6,0 (Inoue et al., 2000), sendo ajustado com uma solução corretiva quando necessário conforme recomendado por Bugbee (1995).

FIGURA 1: DISPOSIÇÃO DOS VASOS DO EXPERIMENTO



Fonte: O autor, 2024.

Tabela 1. Composição proporcional de fertilizantes usados no preparo de 1.000 L de solução nutritiva para as culturas de hortaliças de folhas, proposta por Furlani (1998).

Sal/Fertilizante	Quantidade (g/1.000 L)
Nitrato de cálcio	750
Nitrato de potássio	500
Fosfato monoamônio	150
Sulfato de magnésio	400
Sulfato de cobre	0,15
Sulfato de zinco	0,5
Sulfato de manganês	1,5
Ácido bórico ou Bórax	1,5
Molibdato de sódio ou amônio	0,15
Ferrilene@ (FeEDDHA-6%Fe) ou outra fonte quelatizada	30

Fonte: Furlani (1998)

A cultivar utilizada no experimento foi a alface-crespa BS AC 0054, a qual possui um ciclo de cultivo de apenas 55 dias. As folhas são grossas e de grande porte, que conferem maior resistência à planta, prolongando seu tempo de vida útil após a colheita. Segundo a fabricante BLUESEEDS, é uma cultivar de alta rusticidade e vigor excepcionais, sendo altamente tolerante à doença LMV II e a deficiências de cálcio. As mudas da cultivar foram obtidas no comércio local em Curitiba - PR.

FIGURA 2: CULTIVAR DE ALFACE UTILIZADA.



Fonte: O autor, 2024.

O plantio foi realizado em fevereiro de 2024 e a colheita em abril de 2024, totalizando ciclo de 43 dias. O início da irrigação com a solução nutritiva foi 7 dias após o transplântio das mudas nos vasos, a fim de permitir a adaptação das mudas ao substrato e evitar possíveis danos por fitotoxidez da solução nutritiva. Os tratamentos consistiram 4 doses de condicionador em mistura à casca de arroz carbonizada (CAC) (S1: CAC [100%], S2: CAC [95%] + Condicionador [5%], S3 CAC [85%] + Condicionador [15%] e S4: CAC [70%] + Condicionador [30%]. O condicionador mineral empregado foi bentonita granulada, proveniente da marca T-Cond®, fornecido pela T-Minas Bentonitas Industriais. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com 5 blocos. Cada repetição foi composta por 3 vasos com uma planta cada, totalizando 60 vasos.

Durante o ensaio foram realizadas coletas de dados de fotossíntese (08/04/2024) e clorofila (22/03/2024, 27/03/2024 e 04/04/2024). Para a determinação da taxa fotossintética utilizou-se o equipamento IRGA (Infrared gas analyzer) modelo GFS-3000 (WALZ, Effeltrich, Alemanha), o qual utiliza os seguintes parâmetros: taxa de assimilação de CO_2 (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Os parâmetros utilizados para a aferição da taxa fotossintética foram: 400 ppm de CO_2 , $500 \mu\text{mol cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ durante a leitura das amostras. A

leitura da taxa fotossintética foi realizada no período matutino nas folhas mais externas das primeiras cinco repetições de cada tratamento.

FIGURA 4: ANÁLISE FOTOSSINTÉTICA DAS AMOSTRAS, UTILIZANDO O APARELHO IRGA (Infrared gas analyzer).



Fonte: O autor, 2024.

Para uma melhor análise do estado nutricional e produtivo das plantas do experimento, foram feitas medidas da clorofila presente nas folhas de cada planta do experimento. Utilizou-se para tal o seguinte aparelho clorofiLOG modelo CFL 1030 da marca Falker, o qual mede via método óptico a frequências de luz mais eficientes para a fotossíntese. O equipamento possibilita a medida em três frequências diferentes de faixa luminosa possibilitando captar o espectro das bandas efetivas de clorofila a, b e total.

FIGURA 5: ANÁLISE DE CLOROFILA a, b E TOTAL DAS AMOSTRAS, UTILIZANDO O APARELHO PORTÁTIL clorofiLOG.



Fonte: O autor, 2024.

Após a colheita foram analisados os parâmetros biométricos da parte aérea, tais como: massa fresca e seca, altura das plantas, diâmetro de caule, número de folhas, assim como, massa fresca e seca das raízes e comprimento. Para a avaliação da matéria seca as plantas foram submetidas à secagem em uma estufa de ventilação forçada a 65°C até atingirem peso constante. Para determinação da biomassa fresca e seca, as plantas foram pesadas em balança digital (RODRIGUES DE ANDRADE, 2019). A avaliação da altura foi realizada com régua graduada comercial, e para a análise do diâmetro de caule foi utilizado paquímetro digital da marca Mitutoyo. Para estas determinações foram utilizadas todas as três plantas por parcela, calculando-se a média por parcela.

FIGURA 6: PESAGEM DA MASSA FRESCA



Fonte: O autor, 2024.

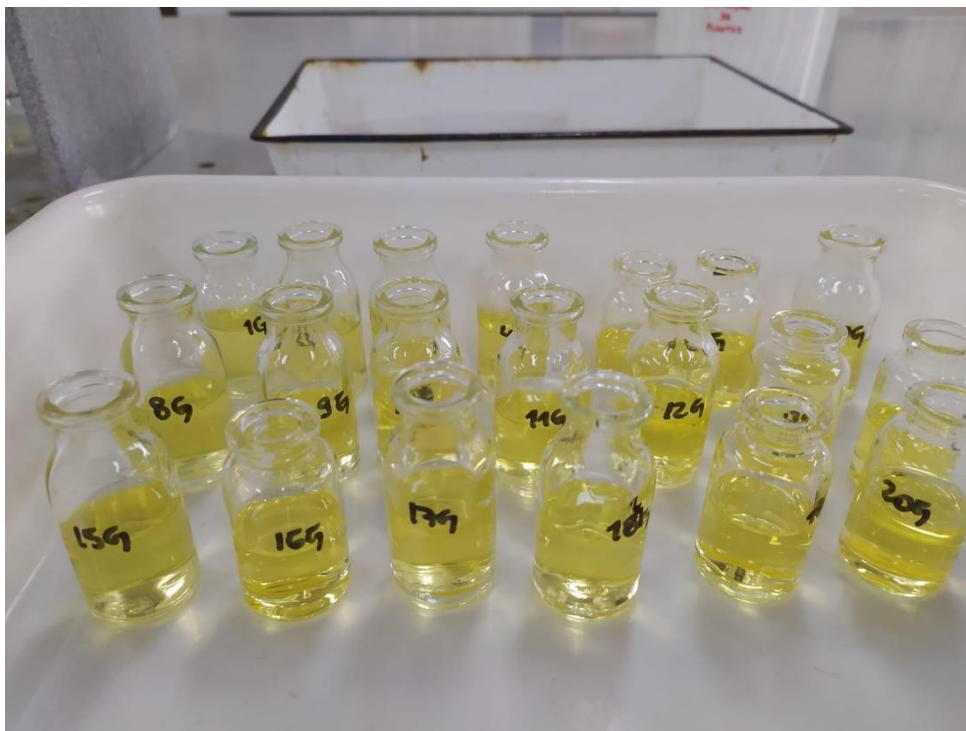
FIGURA 7: AFERIÇÃO DIÂMETRO DE CAULE



Fonte: O autor, 2024.

Além das medições biométricas, a avaliação do desempenho dos tratamentos incluiu o estado nutricional. Para essa avaliação, foram coletadas as plantas e foram analisadas o teor nutricional das folhas sábias de cada planta, no final do ciclo produtivo do experimento. As análises compreendem os teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn). O material coletado foi submetido a um processo de lavagem e secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C, até atingir massa constante e, posteriormente, moídas para a realização das análises. No procedimento de análise de minerais, 1g do material vegetal seco foi pesado, incinerado em uma mufla a 500°C e submetido a uma digestão ácida, conforme detalhado por Martins & Reissmann (2007). Para a análise de fósforo (P) foi empregada a técnica colorimétrica com vanadato-molibdato de amônio e um espectrofotômetro UV/VIS. A quantificação do potássio (K) foi realizada por meio da fotometria de emissão, enquanto os demais elementos foram avaliados por absorção atômica, conforme os métodos descritos por Martins & Reissmann (2007).

FIGURA 8: PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE FÓSFORO (P).



Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 9: ANÁLISE DOS TEORES DE FÓSFORO PELO MÉTODO ESPECTROFOTÓMETRO UVVIS.



Fonte: O autor, 2024.

Os teores de nitrogênio (N) foram determinados pelo método de Kjeldahl, o qual tem como princípio que a quantidade de N na amostra original é proporcional à quantidade de ácido sulfúrico consumida na titulação (BREMNER, 1996).

FIGURA 9: PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE NITROGÊNIO (N).



Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 10: TITULAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE NITROGENIO (N) PELO MÉTODO DE Kjeldahl.



Fonte: O autor, 2024.

Os resultados foram submetidos a uma análise de variância, utilizando o teste F para delineamentos em blocos. Os dados foram submetidos à verificação de normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk e à avaliação da homocedasticidade de variâncias utilizando o teste de Bartlett. Com o atendimento dos critérios, os dados foram submetidos à ANOVA e em casos de significância estatística, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram executadas utilizando o software R. Foi utilizado o Excel para realização de regressão linear.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de analisar a dosagem de bentonita ao qual houve maiores produtividades observando as diferentes variáveis aferidas, foi realizada análises de regressão linear, ajustando as curvas de calibração para cada parâmetro biométrico de estudo, após a realização da análise de regressão linear, foi executado o cálculo da derivada para encontrar o ponto ao qual há o pico de desenvolvimento, ou seja a dosagem ótima de bentonita.

A aplicação de diferentes doses de bentonita em casca de arroz carbonizada influenciou o desenvolvimento das plantas de alface em vários parâmetros de crescimento. O número de folhas (FIGURA 11), obteve uma tendência de queda durante o decorrer do ciclo da cultura, após realização do cálculo de derivada a dose recomendada ao qual tem-se o melhor rendimento é de: 11%.

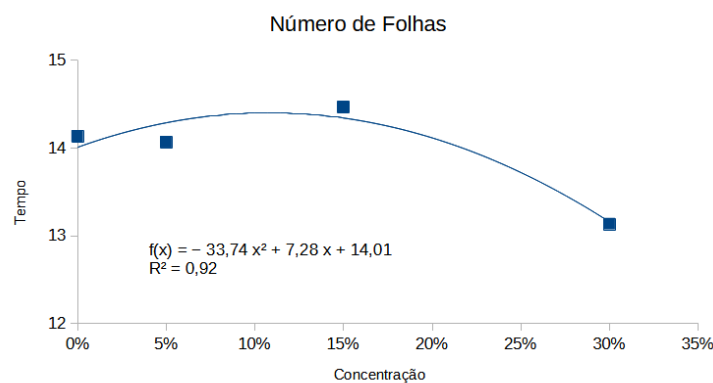
O diâmetro do caule (FIGURA 12), aumentou com o incremento das doses, sendo que os tratamentos com 15% e 30% de bentonita proporcionaram maior diâmetro, em relação aos tratamentos com 0% e 5%, na análise de regressão linear de doses observa-se uma tendência de crescimento em paralelo ao aumento das doses de bentonita, sendo a porcentagem de 33,59% a ideal da dose recomendada para este parâmetro.

A altura das plantas (FIGURA 13), também foi positivamente influenciada pela bentonita, com a maior altura observada no tratamento com 30%, indicando um efeito benéfico das doses mais altas, para a análise de regressão linear de dose recomendada obtivemos a tendência similar à análise de diâmetro de caule, um crescimento em paralelo

ao aumento das concentrações avaliadas, sendo a porcentagem ideal para este parâmetro de 28,70%.

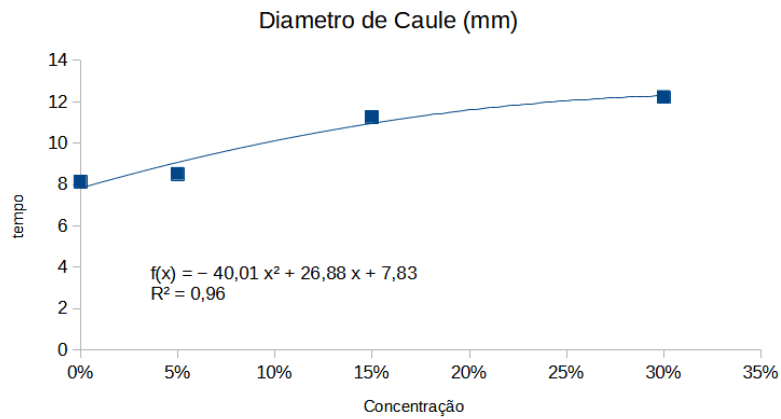
O maior comprimento de raiz foi observado no tratamento com 15% de bentonita, seguido pelo tratamento com 30%. Ao analisarmos o gráfico de regressão linear de doses de bentonita, a dose ideal foi de 18,42% (FIGURA 14). Esses resultados indicam que a bentonita, especialmente nas doses de 15% e 30%, contribui para o aumento do vigor e desenvolvimento estrutural das plantas de alface, possivelmente ao melhorar as propriedades físicas e químicas do substrato. Conforme observado por Zhang et al., (2020) e Mi et al., (2020) a bentonita tem a capacidade de aumentar a retenção de água do solo ou substrato. Em estudo realizado com cultivo de mudas de teca (*Tectona grandis L. f*) observou-se que a aplicação de bentonita no solo aumentou a altura e o diâmetro das mudas (Masazumi Kayama, Suchat Nimpila et al., 2020), corroborando com as observações obtidas no presente ensaio.

FIGURA 11 - VARIAÇÃO DO NÚMERO DE FOLHAS, EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.



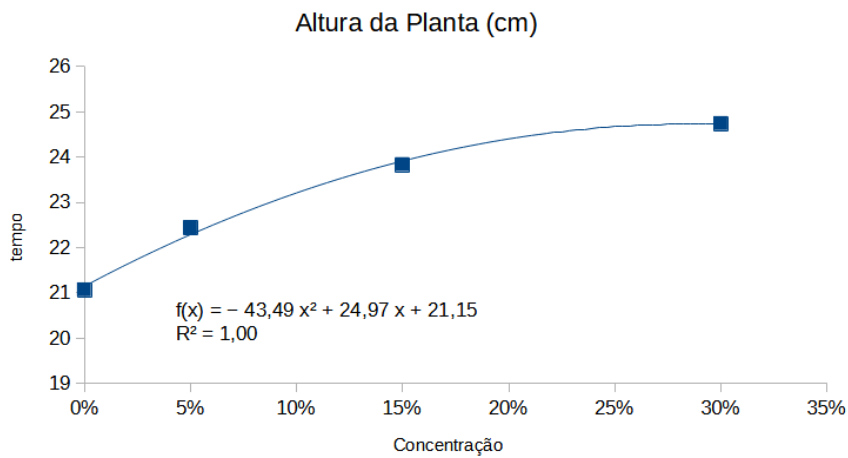
Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 12 - DIÂMETRO DE CAULE EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.



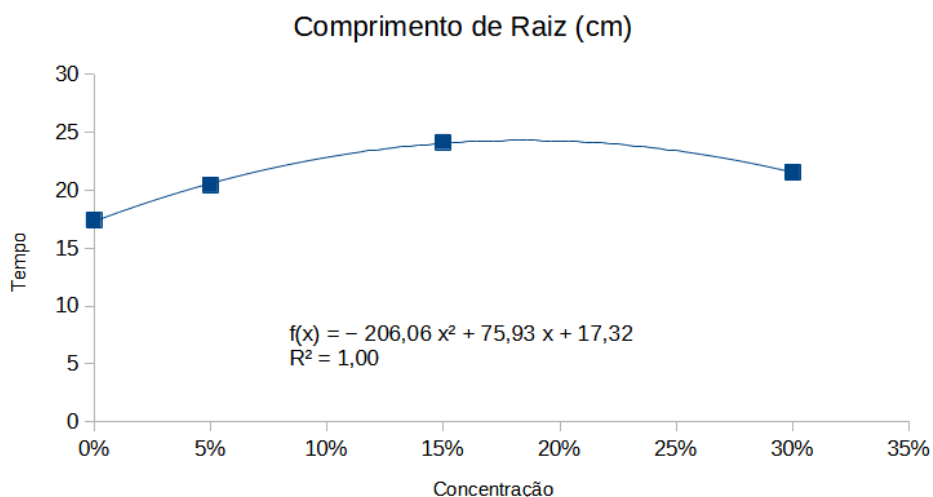
Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 13 - ALTURA DA PLANTA EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.



Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 14 - COMPRIMENTO DE RAIZ EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.



Fonte: O autor, 2024.

A adição de bentonita à CAC, material base, também influenciou a biomassa da parte aérea e da raiz das plantas de alface.

A massa fresca da parte aérea (FIGURA 15), observamos a tendência de crescimento da massa fresca ao decorrer do ciclo da cultura e na progressão de crescimento das doses, ao qual após cálculo da derivada a partir da equação da curva do gráfico, obtemos que a dose ideal será de 29,21%. Houve aumento nas doses de bentonita, sendo que o tratamento com 30% proporcionou valores superiores em relação ao tratamento controle (0%), enquanto os tratamentos com 5% e 15% não diferiram dos demais.

A massa fresca da raiz (FIGURA 16), seguiu uma tendência linear nas concentrações, é possível observar uma tendência de incremento à medida que se aumenta a dose de bentonita.

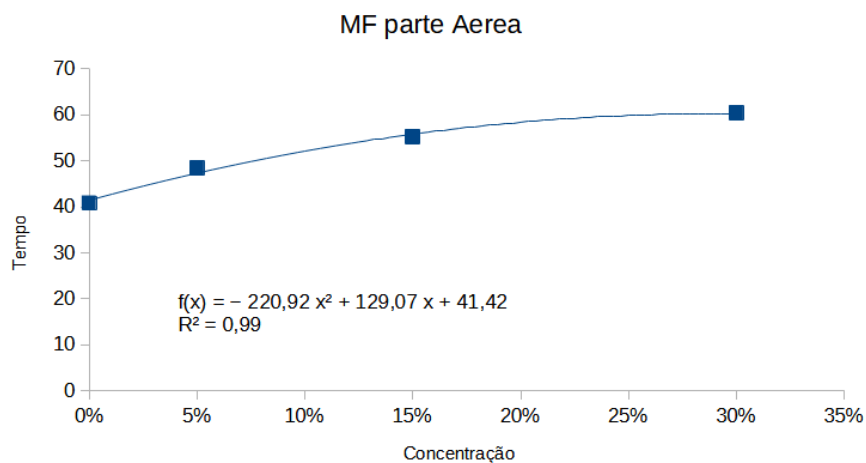
O tratamento com 30% de bentonita se destacou na produção de massa seca da parte aérea (FIGURA 17), com valor maior que o controle, observamos que a dose ideal para massa seca para maiores rendimento de: 29,20%.

A massa seca da raiz (FIGURA 18), seguiu tendência semelhante, com os tratamentos de 15% e 30% apresentando valores superiores ao controle e ao tratamento com 5%, sendo a dose ideal de 43,95%. Os resultados permitem inferir que a bentonita, especialmente nas doses de 15% e 30%, promove aumento de produtividade em massa fresca e seca da alface.

Segundo estudo realizado por Omar et al. (2022), avaliando-se o uso de bentonita como condicionador em solo para aumento de produtividade da cultura da alface, resultou em aumento de produtividade em até 30% com uma dose de 15,0 Mg de bentonita analisada em aplicação no solo em comparação ao tratamento controle (sem adição bentonita, somente solo). O incremento de massa atribuída ao uso de bentonita pode ser decorrente do incremento na capacidade de trocas de cátions do substrato, aumentando a área e locais de troca disponíveis para retenção de nutrientes e disponibilidade para as plantas (Valizadeh et al, 2014).

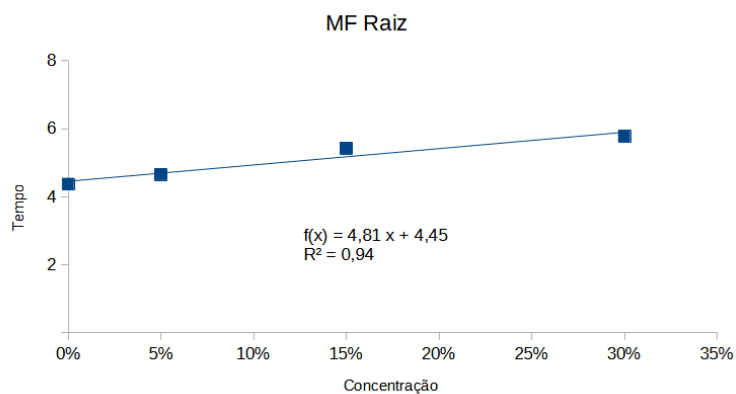
Estudo conduzido por Semalulu et al. (2017) com milho, milheto, sorgo, feijão-verde e amendoim aplicando bentonita cálcica ($2,5 \text{ t ha}^{-1}$) no sulco de plantio, isolada e combinada com esterco e/ou fosfato, indicaram que a presença da bentonita proporcionou aumento do rendimento de grãos das culturas em 11% (milho), 20% (milheto), 14% (sorgo), 17% (feijão-verde) e 5% (amendoim) em relação ao controle. Além disso, o uso de bentonita elevou o peso das sementes em todas as cinco culturas analisadas, o que demonstra o potencial da tecnologia para melhorar a produtividade.

FIGURA 15 – MASSA FRESCA DA PARTE AÉREA EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.



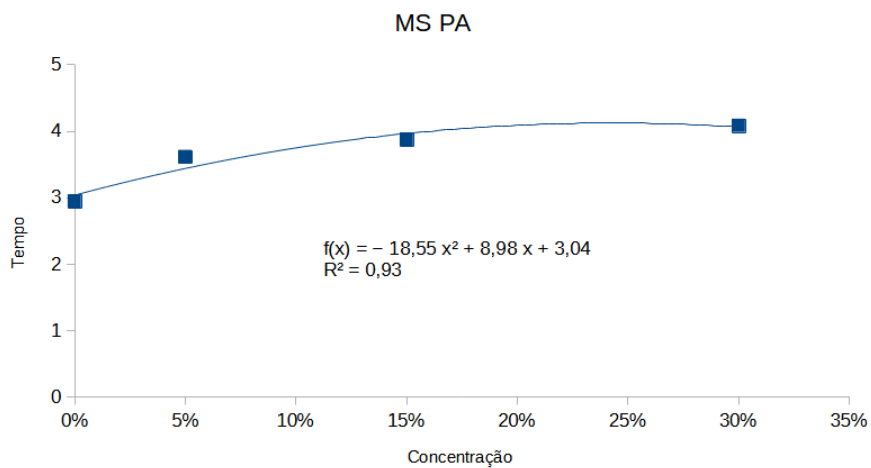
Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 16 – MASSA FRESCA DA PARTE RAIZ EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.



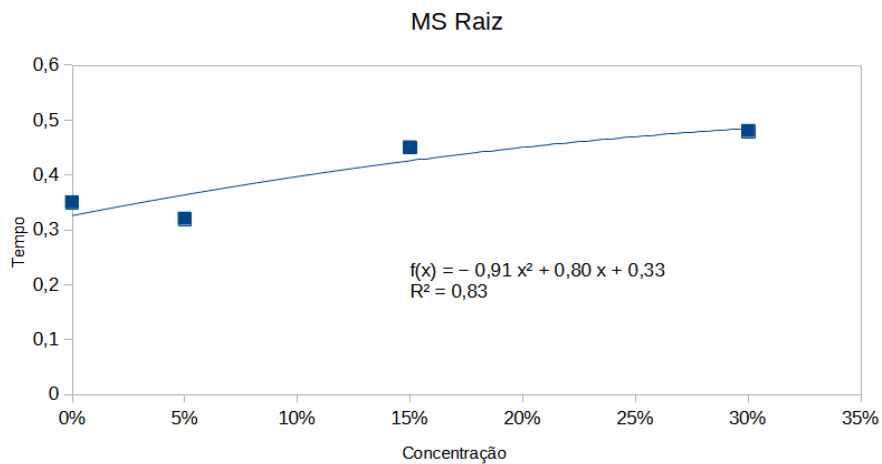
Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 17 – MASSA SECA DA PARTE AÉREA EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.



Fonte: O autor, 2024.

FIGURA 18– MASSA SECA DA RAIZ EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA.

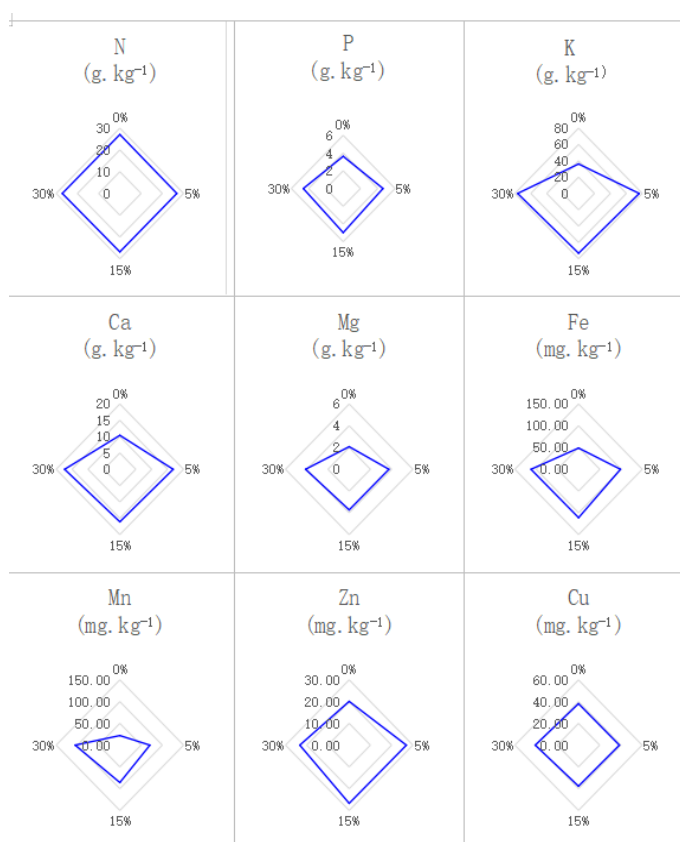


Fonte: O autor, 2024.

Após análise das doses ideais dos diferentes parâmetros avaliados, das variáveis biométricas, realizando-se a media dos resultados 27,9%, próximo de 30%.

Segundo Malavolta (1989) os teores ideais dos macronutrientes encontrados em folhas de alface cultivado em solo são: N = 30,0 g.Kg⁻¹; P = 3,50 g.Kg⁻¹; K = 50,0 g.Kg⁻¹; Ca = 12,50 g.Kg⁻¹; Mg = 3,50 g.Kg⁻¹. Raji (1996) apresenta como parâmetro ideal para os micronutrientes os seguintes valores: Cu = 7 a 20 mg.Kg⁻¹; Fe = 50 a 150 mg.Kg⁻¹; Mn = 30 a 150 mg.Kg⁻¹ e Zn = 30 a 100 mg.Kg⁻¹. Na avaliação dos teores de nutrientes foliares (Figura 13) foi possível verificar que o N, apesar de não ter variado entre os tratamentos, mostrou-se abaixo dos limites recomendados para a cultura. Já a concentração de K, aumentou com o uso da bentonita no substrato, similar ao verificado com o P e Ca.

FIGURA 19 – TEOR DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE ALFACE EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE BENTONITA EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA. 1 - 0%, 2 - 5%, 3 - 15% E 4 - 30%.



Fonte: O autor, 2024.

Na Tabela 1 são apresentados os dados médios da alface cultivada em sistema semi-hidropônico do ensaio comparados a dados da referência de nutrientes nas folhas.

TABELA 1 - ANÁLISE NUTRICIONAL DAS FOLHAS DE MACRO E MICRONUTRIENTES. PARANÁ, 2024.

REFERÊNCIA	continua				
	30 a 50 (g.kg-1)	4 a 7 (g.kg-1)	50 a 80 (g.kg-1)	15 a 25 (g.kg-1)	4 a 6 (g.kg-1)
	N	P	K	Ca	Mg
TRATAMENTO S	30 a 50*	4 a 7*	50 a 80*	15 a 25*	4 a 6*
0,00%	27,08	3,64	36,14	10,41	2,08
5,00%	26,82	4,6	76,13	16,74	3,74
15,00%	26,84	4,98	73,25	16,08	3,73
30,00%	27,11	4,61	76,49	17,34	4,11

REFERÊNCIA	30 a 150 (mg.kg-1)	50 a 150 (mg.kg-1)	30 a 100 (mg.kg-1)
	Mn	Fe	Zn
TRATAMENTOS	30 a 150*	50 a 150*	30 a 100*
0,00%	22,03	48,85	20,11
5,00%	70,72	98,63	26,92
15,00%	85,92	111,18	26,74
30,00%	105,32	112,00	23,25

*Faixa recomendada por Raij et al, 1996

Os resultados observados são convergentes aos encontrados por Omar, et al., (2022), com baixa resposta aos teores de N, mas com resposta positiva para o uso de bentonita, em especial a concentração de 15 Mg fed⁻¹, em K, Fe e Mn no tecido das plantas no estágio de colheita da alface. Os autores sugerem que a bentonita proporciona um maior movimento dos nutrientes do solo para a planta cultivada, resultando em melhorias no seu metabolismo. Além disso, El -Etr e Hassan (2017) também observaram resposta positiva no teor total de nutrientes das plantas de ervilha a partir da adição de bentonita no solo.

Quando avaliado o estudo de Vojtech Ferby et al. (2023), no qual foi utilizado a perlita como condicionador, observou-se maiores teores de K (12-2.996 mg L⁻¹), seguidos por sódio (5-58 mg L⁻¹) e Ca (5-127 mg L⁻¹), enquanto o elemento menos representado no fruto (dreno), foi Zn (0-1,2 mg L⁻¹), para cada substrato.

Os dados observados na literatura embasam os resultados obtidos quanto ao aumento de nutrientes na parte aérea das plantas de alface tratadas com bentonita, otimizando seu crescimento e por consequência sua produtividade na colheita.

A fotossíntese líquida, transpiração e condutividade estomática não foram alteradas pela adição de bentonita no substrato (Tabela 2) ou tiveram correlação com a produtividade da planta, o que pode indicar que a produtividade foi mais influenciada pelos soma dos efeitos dos tratamentos e menos pelos processos fotossintéticos e de transpiração isoladamente.

TABELA 2 - PARÂMETROS AVALIADOS DA TAXA FOTOSSINTÉTICA DE ALFACE SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE BENTONITA EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA. PARANÁ, 2024.

TRATAMENTOS	TRANSPIRAÇÃO	CONDUTIVIDADE ESTOMÁTICA	FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA
T1 (0%)	0,810 a	59,34 a	6,842 a
T2 (5%)	0,942 a	52,40 a	5,962 a
T3 (15%)	1,182 a	65,06 a	7,314 a

T4 (30%)	0,528 a	30,92 a	6,292 a
----------	---------	---------	---------

Fonte: O autor, 2024.

É notório ao analisar os dados de taxa fotossintética que o ambiente estava adequado quanto à variável luminosidade, principal fator ambiental a qual a fotossíntese é influenciada. Outro dado que embasa os resultados é que o número de folhas não mudou entre os tratamentos avaliados, o que não altera a captação de luz e conseqüentemente a fotossíntese. É importante ressaltar que o crescimento e desenvolvimento das plantas são resultantes da interação de diversos fatores ambientais, como luz, temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes. A fotossíntese, como processo central, é influenciada por esses fatores, e sua otimização é essencial para o bom desenvolvimento vegetal (Calvete; Tessaro, 2008).

Na análise de clorofila a, b e total (TABELA 3), observamos apenas os números absolutos de cada parâmetro ao qual não houve análise estatística para posterior análise de significância, sendo apenas analisados a quantidade numérica da quantidade de cada elemento nas folhas analisadas.

TABELA 3 - ANÁLISE DE CLOROFILA A, CLOROFILA B E CLOROFILA TOTAL EM FUNÇÃO DAS DIFERENTES PORCENTAGENS DE BENTONITA ADICIONADAS EM MISTURA COM CASCA DE ARROZ CARBONIZADA, PARANÁ, 2024.

TRATAMENTOS	CLOROFILA a	CLOROFILA b	CLOROFILA total
T1 (0%)	17.89	2.37	20.26
T2 (5%)	17.39	2.29	19.69
T3 (15%)	17.17	2.18	19.35
T4 (30%)	18.13	2.43	20.56

Fonte: O autor, 2024.

A clorofila b amplia o espectro de luz captado, transferindo a energia absorvida para a clorofila a. Essa última, por sua vez, é o principal fotossistema responsável pela conversão

da energia luminosa em energia química, absorvendo principalmente a luz nas regiões vermelha e azul do espectro (Johkan et al., 2010). Embora a quantidade de clorofila esteja correlacionada com a taxa fotossintética, o acúmulo de biomassa vegetal é um processo complexo influenciado por diversos fatores além da fotossíntese (Wang et al., 2016). Observa-se que houve maior índice de clorofila superior a clorofila b, evidenciando que o ambiente protegido estava adequado com boas condições de luminosidade durante o experimento.

6 CONCLUSÕES

Observa-se que o argilo mineral bentonita utilizado como condicionador de substrato teve efeito positivo na produtividade da alface, em porcentagens na mistura com casca de arroz carbonizado variando entre 15 e 30%, em especial na avaliação de diâmetro de caule, altura e comprimento da raiz, assim como na matéria fresca e seca.

A presença de bentonita no substrato aumenta a absorção de nutrientes pela alface semi-hidropônica, em especial do macronutriente potássio (K), nas faixas de 5%, 15% e 30% em resposta positiva aos tratamentos testados, ao passo que o micronutriente zinco (Zn) apresentou um pouco abaixo do recomendado pela cultura, os demais nutrientes se mantiveram dentro da faixa esperada para a cultura da alface.

A taxa fotossintética não apresentou diferença entre os tratamentos, ao passo que quando observado os parâmetros ligados a clorofila: clorofila a, clorofila b e clorofila total, houve resposta positiva a clorofila a, evidenciando que o ambiente ao qual o experimento foi realizado estava com a luminosidade adequada.

Nota-se o potencial benéfico no uso da bentonita como condicionador de substrato através da análise dos dados obtidos, contudo para melhor avaliação novos estudos devem ser realizados.

REFERÊNCIAS

ALLO, W. E; MURRAY, H.. **Mineralogy, chemistry and potential applications of a white bentonite in San Juan province, Argentina. Applied Clay Science**, 25, 237-243., 2004.

S. De Pascale , Y. Roupael , M. Gallardo 2; Thompson, R.B. **Gestão da água e fertilização de vegetais: estado da arte e desafios futuros**, 2018.

C. B. da Silva; J. C. da Silva; F. A. Damasceno; M. R. Barbosa Júnior; W. Q. Brandão, CALIK, U. ; ŞADOĞLU, E. (2014). **Engineering properties of expansive clayey soil stabilized with lime and perlite. Geomechanics and Engineering**, 6, 403-418.

SANTOS, CP; NOBOA, CS; MARTINEZ, M; CARDOSO, JC, **Avaliação morfológica de genótipos de alface cultivados em hidroponia sistema Horticultura Brasileira** 39: 312-318, 2021.

Mohamedin, A. A. M. and A. H. Abdel-Rahman Soils, **CONDICIONADORES NAS PROPRIEDADES DO SOLO ARENOSO DE EL-ARISH**, J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 34 (4): 4131 - 4139, 2009.

DARBOUX, F.; ROBIN, J.G. ; FOX, D., **Evaluation of two soil conditioners for limiting post-fire erosion as part of a soil conservation strategy. Soil Use and Management**, 24: 366-372, 2008.

DE BOODT, M.. **Soil conditioning for better soil management. Outlook on Agriculture**, 10, 63 – 70, 1979.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O., **The physical properties of the substrates in horticulture. Acta Horticulturae**, 26, p. 37-44, 1972.

Edilaine Della Valentina Gonçalves et al., **CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE ALFACE EM AMBIENTE PROTEGIDO COM E SEM TELA TERMO REFLETORA**, 2016.

SILVA EMNCP; FERREIRA RLF; ARAÚJO NETO SE; TAVELLA LB; SOLINO AJS. 2011. **Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. Horticultura Brasileira** 29: 242-245.

Eliezer Santurbano Gervásio, José Antônio Frizzone, **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE UM CONDICIONADOR DE SOLO E SEUS EFEITOS QUANDO MISTURADO A UM SUBSTRATO ORGÂNICO**, Irriga, Botucatu, v. 9, n. 2, p. 94-105, maio-agosto, 2004.

Erecson Sipin Solis, Junamae U. Gabutan, **PRODUÇÃO DE ALFACE HIDROPÔNICA (Lactuca sativa L. var. Laliqie) USANDO SOLUÇÕES NUTRICIONAIS DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE**, 2023.

Gean Lopes da Luz, Sandro Luís Petter Medeiros, Paulo Augusto Manfron, Alan Dischkaln do Amarall Liziany Müller, Mike Guzmán Torres, Lenise Mentges, **A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana**, 2008.

Giovane Munhoz Pedrilho, João Vitor da Silva Fernandes, André Ribeiro da Costa, **Fertirrigação com Nitrogênio na Cultura da Alface**, 2020.

HALL, D.; JONES, H.; CRABTREE, W.; DANIELS, T.. **Claying and deep ripping can increase crop yields and profits on water repellent sands with marginal fertility in southern Western Australia. J. Aust. J. Soil Res.** 48, 178–187, 2010.

I. C. S. Marques, I. M. O. Silva, S. T. Santos, P. A. A. Costa, C. J. X. Cordeiro, F. A. Oliveira, **SOLUÇÃO NUTRITIVA SALINA ENRIQUECIDA COM POTÁSSIO NO CULTIVO SEMI-HIDROPÔNICO DE ALFACE AMERICANA**, 2017.

J. H. Vieira et al., **RESPOSTA DOS TEORES DE CLOROFILA DA ALFACE A DOSES DE FERTIRRIGAÇÃO DE NPK E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**, 2017.

JB Satain, **Efeitos de Aditivos de Argila e Polímeros nas Propriedades Físicas e Químicas do Solo**, 2010.

LUZ JMQ; GUIMARÃES STMR; KORNDÖRFER GH. **Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício**. *Horticultura Brasileira* 24: 295-300, 2006.

Júnior; M. A. L. dos Santos, **TEOR DE CLOROFILA, CARATENÓIDES E ÍNDICE SPAD NA ALFACE EM FUNÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E NÍVEIS SALINOS**, 2020.

Lang MARTINS, Ana Paula; REISSMANN, Carlos Bruno; **MATERIAL VEGETAL E AS ROTINAS LABORATORIAIS NOS PROCEDIMENTOS QUÍMICO ANALÍTICOS**, 2007.

Lichun Wang , Songrui Ning, Wengang Zheng, Jingyu Guo, Youli Li , Yinkun Li , Xiaoli Chen¹ , Alon Ben Gal and Xiaoming Wei, **Análise de desempenho de dois alface típica de estufa sistemas de produção: comercial produção hidropônica e cultivo tradicional do solo**, 2023.

Masazumi Kayama, Suchat Nimpila, Sutjaporn Hongthong, Reiji Yoneda, Woraphun Himmapan and Iwao Noda, **Efeito da Bentonita nas Características de Crescimento Inicial de Mudas de Teca Plantadas em Solo Arenoso no Nordeste da Tailândia — Um Estudo Piloto**, 2020.

Mohamedin, A. A. M. and A. H. Abdel-Rahman Soils, Water and Environ. Res. Inst., Agric. Res. Center (ARC), Giza, Egyp, **IMPACTO COMBINADO DE NATURAL E SINTÉTICO**

Muhammad Wasito , Hanifah Amrul, Luthfy Wahyu Ajie, **Teste de Produção de Vários Tipos de Alface em vários meios de plantio com sistema hidropônico**, 2023.

Omar, M. M. ; Hassnaa A. Abdrabou and A. M. El-Ghamry, **Resposta da planta de alface cultivada em solo arenoso a alterações orgânicas e inorgânicas**, 2022.

PETRY, Leandro; SILVA, Renato Figueira da. **ORGANOFUNCIONALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UMA BENTONITA NATURAL, VISANDO A OBTENÇÃO DE ARGILA ORGANOFÍLICA COM POTENCIAL APLICAÇÃO NA SÍNTESE DE NANOCOMPÓSITOS**. 2011.

Semalulu O. , P. Elobu , S. Namazzi , S. Kyebogola , D.N. Mubiru, **Maiore rendimentos de cereais e leguminosas usando Ca-bentonita em Solos arenosos no leste seco de Uganda: aumento da produtividade versus lucratividade**, *Universal Journal of Agricultural Research* 5(2): 140-147, 2017

Vojtech Ferby, Tomas Kopta, Monika Komorowska, Maciej Fidurski, **Avaliação de substratos alternativos para hidroponia com base em parâmetros biológicos da alface (*Lactuca sativa* L.) e sua resposta ao estresse**, 1989.

GUALBERTO, R.; RESENDE, F.V.; BRAZ, L.T. **Competição de cultivares de alface sob cultivo hidropônico 'NFT' em três diferentes espaçamentos**, *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.17, n. 2, p. 00, julho, 1999.

Sundar Sapkota.; Sanjib Sapkota.; Zhiming Liu, **Efeitos da composição de nutrientes e cultivar de alface sobre produção agrícola em cultura hidropônica**, 2019.

Yu Chenga, Kangmin Chon, Xianghao Ren, Meiling Li, Yingying Kou, Moon-Hyun Hwang and Kyu-Jung Chae, **Bentonita modificada como agente condicionante para estabilização de metais pesados e retenções nutrientes em lodo de esgoto para uso agrícola**, 2021.

Khairy H. A. Hassan, Salman Alamery , Mohamed Farouk El-Kholy ,Shobhan Das, Mounir M. Salem-Bekhit, **Efeito de alguns condicionadores de solo na eficácia do uso da água, crescimento e rendimento da tamareira Siwi cultivada em solo arenoso sob diferentes regimes de irrigação para mitigar as mudanças climáticas**, 2022.