



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

JOSÉ LUÍS TAVARES DA SILVA

**VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA NA PRODUÇÃO ALFACE**

Marechal Deodoro – AL

2022

José Luís Tavares da Silva

**Viabilidade técnica do uso do lodo de estação de tratamento de água na produção de
alface**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional), como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cavalcante

Marechal Deodoro – AL

junho de 2022

FICHA CATALOGRÁFICA



**Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação**
Instituto Federal de Alagoas
***Campus* Marechal Deodoro**
Biblioteca Dorival Apratto

S586v

Silva, José Luís Tavares da.

Viabilidade técnica do uso de lodo de estação de tratamento de
água na produção alface / José Luís Tavares da Silva. – 2022.

39 f. : il., col.

Inclui bibliografia, figuras, e anexo.

Anexo Artigo Científico (pág. 40 - 64)

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias
Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Marechal
Deodoro, Marechal Deodoro, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cavalcante.

1. Lodo de ETA. 2. *Lactuca Sativa* L. 3. Substratos comerciais.
4. Resíduo sólido. I. Título. II. Cavalcante, Marcelo.

CDD: 363.7

Andreia Gomes de Azevedo
Bibliotecária – CRB-4/2164

JOSÉ LUÍS TABARES DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Aprovado em 10 de junho de 2022.

Orientador:

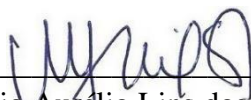


Dr. Marcelo Cavalcante
Ifal/Campus Maragogi

Banca examinadora:



Dr. João Gomes da Costa
Embrapa Alimentos e Territórios



Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos
UFAL/Campus Arapiraca

**Marechal Deodoro, AL
2022**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, obrigado Deus, que me fortaleceu e me permitiu chegar ao fim deste desafio. Agradeço aos meus pais, José Vieira da Silva e Maria Nazaré Tavares da Silva (*in memoriam*), a eles devo tudo.

Para que não ocorram injustiças, agradeço a todos os meus demais familiares, sem exceções. Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Marcelo Cavalcante, por todo incentivo e dedicação. Sem a sua ajuda não teria chegado tão longe.

Aos companheiros de turma, todos os momentos ficarão guardados na memória e no coração. A todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais e demais servidores do IFAL.

À empresa Agreste Saneamento S/A, por disponibilizar o material objeto deste estudo.

À empresa Semear Agropecuária S/A, por fornecer material e recursos humanos fundamentais para execução deste trabalho.

Ao produtor rural Edmilson Nunes dos Santos, por promover a estrutura física, insumos, recursos humanos para execução do experimento em nível de campo.

Ao meu amigo, Engenheiro Agrônomo José Anderson Soares Barros, por toda hombridade e companheirismo.

À Cooperativa dos Pequenos Agricultores Organizados (COOPEAGRO), por permitir e me auxiliar a concluir o Curso.

RESUMO

Nas estações de tratamento de água (ETA) são desenvolvidos procedimentos que resultam na potabilidade da água, gerando um subproduto residual denominado lodo de ETA ou LETA, com potencial poluidor. A associação do lodo de ETA a substratos comerciais para produção de mudas se apresenta como uma alternativa ecologicamente correta e economicamente viável. O objetivo desta pesquisa foi analisar a viabilidade técnica do uso do lodo de ETA adicionado a quatro substratos comerciais na produção de mudas de cinco cultivares de alface e seu desempenho no campo, em Arapiraca, região semiárida de Alagoas. A pesquisa foi dividida em duas etapas. A 1ª, em nível de estufa, foi instalado o experimento no delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial 4 x 4 x 5, considerando os quatro substratos comerciais (Pindstrup[®], Vida Verde[®], Bioplant 434[®] e Bioplant 401[®]), quatro níveis de substituição do substrato pelo lodo (0, 20, 40 e 60%) e cinco cultivares de alface (Veneranda, Camila, Elba, Vitória Verdinha e Diva), com quatro repetições. Observou-se que o percentual de emergência foi influenciado pela adição de lodo, principalmente no substrato Pindstrup e na dose de 60%, com 0% de emergência. O índice de qualidade da muda (IQM) foi influenciado pelas doses de lodo, sendo recomendada a adição de até 20%. No 2º experimento, foram avaliados, em nível de campo, as mudas produzidas na 1ª etapa, adotando-se o delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 3 x 3 x 5, com três substratos comerciais (Vida Verde, Bioplant 434 e Bioplant 401), três níveis de substituição do substrato pelo lodo (0, 20 e 40%) e cinco cultivares de alface (Veneranda, Camila, Elba, Vitória Verdinha e Diva). Variáveis biométricas foram analisadas na ocasião da colheita, 25 dias após o transplantio. Observou-se interação tripla para a altura das plantas, comprimento foliar e produtividade. Em geral, todos os cultivares apresentaram produtividade semelhante ($P > 0,05$) em até 20% de inclusão de lodo, independente do substrato. Cultivares que tiveram redução no IQM, no 1º experimento, retomaram o crescimento e tiveram produtividade semelhante (0 x 40% de lodo), a exemplo dos cultivares Camila (Vida Verde), Veneranda e Diva (Bioplant 434) e Veneranda, Camila, Elba e Vitória Verdinha (Bioplant 401). A inclusão de lodo em substituição ao substrato comercial apresenta viabilidade técnica com potencial para redução de custos e preservação ambiental.

Palavras-chave: *Lactuca Sativa* L.; lodo de ETA; substratos comerciais, resíduo sólido.

ABSTRAC

In water treatment plants (WTP) procedures are developed that result in water potability, generate a residual by-product called WTP sludge, with polluting potential. The association of WTP sludge to commercial substrates seedling production is presented as an ecologically correct and economically viable alternative. The objective of this research was to analyze the technical feasibility of using WTP sludge added to four commercial substrates in the production of seedlings of five lettuce cultivars and their performance in the field, in Arapiraca, semiarid region of Alagoas. The research was divided into two stages. The 1st, at greenhouse level, the experiment was installed in a completely randomized design, 4 x 4 x 5 factorial scheme, considering the four commercial substrates (Pindstrup[®], Vida Verde[®], Bioplant 434[®] and Bioplant 401[®]), four levels of substrate replacement by sludge (0, 20, 40 and 60%) and five lettuce cultivars ('Veneranda', 'Camila', 'Elba', 'Vitória Verdinha' and 'Diva'), with four replications. It was observed that the percentage of emergence was influenced by the addition of sludge, mainly in the Pindstrup substrate and at a dose of 60%, with 0% emergence. The seedling quality index (SQI) was influenced by the sludge doses, with the addition of up to 20% being recommended. In the 2nd experiment, the seedlings produced in the 1st stage were evaluated at field level, adopting a randomized block design, 3 x 3 x 5 factorial scheme, with three commercial substrates (Vida Verde, Bioplant 434 and Bioplant 401), three levels of substrate replacement by sludge (0, 20 and 40%) and five lettuce cultivars ('Veneranda', 'Camila', 'Elba', 'Vitória Verdinha' and 'Diva'). Biometric variables were analyzed at harvest time, 25 days after transplanting. A triple interaction was observed for plant height, leaf length and yield. In general, all cultivars showed similar productivity ($P>0.05$) in up to 20% of sludge inclusion, regardless of substrate. Cultivars that had reduced SQI, in the 1st experiment, resumed growth and had similar productivity (0 up to 40% sludge), such as cultivars 'Camila' (Vida Verde), 'Veneranda' and 'Diva' (Bioplant 434) and 'Veneranda', 'Camila', 'Elba' and 'Vitória Verdinha' (Bioplant 401). The inclusion of sludge to replace the commercial substrate presents technical feasibility with potential for cost reduction and environmental preservation

Key-words: *Lactuca Sativa* L.; WTP sludge; commercial substrates, seedling production.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Variação da temperatura e umidade relativa do ar da casa de vegetação durante o período experimental	11
Figura 2. Coleta de amostras de lodo na Estação de Tratamento de Água (Figuras A e B).....	12
Figura 3. Efeito das doses de lodo sobre a largura da folha. Médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott.....	22
Figura 4. Largura da folha de cinco cultivares de alface. Médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott.....	22

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Informações técnicas disponibilizadas pelos fabricantes dos substratos comerciais.....	13
Tabela 2. Concentração de resíduos inorgânicos e orgânicos no lodo e valores máximos permitidos (NBR 10004:2004)	14
Tabela 3. Análises químicas do lodo de ETA.....	15
Tabela 4. Análises químicas do solo, local do experimento de campo.....	17
Tabela 5. Resumo da Anova (Teste F) para as variáveis analisadas	19
Tabela 6. Desdobramento da interação Lodo x Substrato x Cultivares para a variável índice de qualidade da muda (IQM)	20
Tabela 7. Desdobramento da interação tripla Substratos x Cultivares x Doses de lodo para produtividade.....	21
Tabela 8. Desdobramento da interação tripla Substratos x Cultivares x Doses de lodo para a altura das plantas.....	22
Tabela 9. Desdobramento da interação tripla Substratos x Cultivares x Doses de lodo para o comprimento da folha.....	23
Tabela 10. Desdobramento da interação tripla Substratos x Cultivares x Doses de lodo para produtividade.....	25

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 JUSTIFICATIVA.....	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3.1 Lodo de ETA.....	6
3.2 Legislação ambiental.....	7
3.2 Cultura da alface.....	8
4 OBJETIVOS.....	11
4.1 Geral.....	11
4.2 Específicos.....	11
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
5.1 Experimento em casa de vegetação.....	12
5.2 Experimento em nível de campo.....	17
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6.1 Avaliações do experimento em casa de vegetação.....	18
6.1.1 Índice de qualidade da muda (IQM).....	19
6.2 Avaliações do experimento em nível de campo.....	20
6.2.1 Altura das plantas.....	21
6.2.2 Comprimento de folhas.....	22
6.2.2 Largura de folhas.....	23
6.2.4 Produtividade.....	25
7 CONCLUSÕES.....	26
8 AGRADECIMENTOS.....	27
9 REFERÊNCIAS.....	28
ANEXOS.....	35

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, foram geradas 79,6 milhões de megagramas (Mg) de resíduos sólidos em 2020. A fração orgânica ainda permanece como a principal componente dos resíduos urbanos (45,3%); os recicláveis secos somam 39,2%; os rejeitos correspondem a 14,1% do total e contemplam, principalmente, os materiais sanitários; outros, não especificados, somam 1,4%. Baseando-se nos padrões de consumo e de descarte da população é possível projetar aumento de 50% na geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil até 2050, em comparação ao ano base de 2019 (ABRELPE, 2020).

O desenvolvimento urbano e industrial são algumas das principais causas do aumento no volume de resíduos e na complexidade de descarte. Um dos problemas enfrentados pelas indústrias modernas é a busca pela redução da geração de resíduos, seu reaproveitamento e destinação adequada, conforme legislação vigente que regulamenta atividades com potencial poluidor (Moreira et al., 2017).

Segundo Coelho et al. (2015), o tratamento das águas provenientes de mananciais subterrâneos ou superficiais é de suma importância para a população. No entanto, para que a água bruta possa se tornar adequada ao consumo humano, torna-se necessário o emprego de diferentes processos (físicos, químicos e biológicos) em Estações de Tratamento de Águas (ETA's).

O tratamento de água para suprimentos potável normalmente envolve processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração para remover sólidos coloidais e também sólidos suspensos na água bruta. As estações de tratamento de água produzem resíduos conhecido como lodo de tratamento de água (LETA) durante a purificação da água bruta (Ahmad et al., 2016), sendo sua composição determinada pelo tipo de coagulantes empregados e os constituintes da água bruta que está sendo tratada (Turner et al., 2019).

O primeiro problema, na operação de descarte do LETA, está no seu grande volume, decorrente do elevado teor de água presente. Por essa razão, torna-se necessário que, antes de se definir qualquer forma de disposição, o lodo passe por um tratamento de desidratação ou deságue (Motta Sobrinho et al., 2019). O sistema de desidratação por sacos mantas é o método menos dispendioso para desaguar lodo de estações de tratamento. O método requer um mínimo de investimento em equipamentos e, dependendo da situação, as mantas poderão ser reaproveitadas. A operação evita odores de uma secagem tradicional a céu aberto e atinge os limites permitidos de teor de sólidos em suspensão (TSS) da legislação de descarte.

Parte expressiva do lodo produzido em estações de tratamento de água no Brasil ainda é descartada em rios ou em aterros sanitários. Contudo, principalmente em grandes centros

urbanos, legislações ambientais restritivas e custos logísticos crescentes têm levantado interesse em usos benéficos para esse resíduo (Katayama et al., 2015).

As empresas responsáveis pelas estações de tratamento e distribuição de água deverão estar em conformidade com uma série de disposições legais, tais como: A NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004), que enquadra o lodo de ETA como Resíduo Sólido Classe II A – Não Inerte; a Lei nº 9.605/1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente; a Resolução nº 357 (Brasil, 2005), que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes; além das respectivas leis estaduais.

De acordo com Gonçalves et al. (2017), o lodo de ETA é constituído, hegemonicamente, por frações inorgânicas (compostas por argila, silte e areia fina), bem como material orgânico e microrganismos, muitas vezes provenientes do assoreamento de rios. Na busca por alternativas sustentáveis, a reutilização de resíduos na formação de substratos tem sido frequentemente alvo de estudos que visam o aproveitamento dos nutrientes contidos nesses materiais, a redução do custo de produção, além da mitigação dos impactos ambientais negativos gerados (Araújo et al., 2017).

A produção de mudas utiliza um expressivo volume de substratos, insumo indispensável também em diferentes segmentos da horticultura (Freitas et al., 2013). Na etapa de preparo das mudas, o substrato tem papel fundamental, pois deverá possuir características físico-químicas adequadas, que permitam o suporte da plântula, a aeração, a retenção e a disponibilização de água e nutrientes.

No Brasil existe uma diversidade de substratos disponíveis no mercado, seguindo as especificações estabelecidas pela Instrução Normativa nº 5/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. As diferenças observadas estão na composição, que envolve o uso de produtos vegetais (fibra de coco, casca de arroz, pinus, turfa), orgânicos (esterco, compostos orgânicos, húmus de minhoca), vermiculita e adição de adubos sintéticos e microrganismos promotores de crescimento (Guto & Silva, 2020).

Uma forma de suprir a demanda por substratos é a utilização de resíduos e subprodutos de composição orgânica que estejam localmente disponíveis (Pereira et al., 2020). Assim, com a possibilidade da utilização de matérias primas de fontes alternativas, pode-se obter mudas de qualidade, de baixo custo, medida economicamente viável e ecologicamente correta.

Certas características das mudas são necessárias para a redução do estresse no momento do transplante e para a obtenção da produção máxima na colheita (Wattier et al., 2019). Utiliza-se para produção de mudas de hortaliças, bandejas multicelulares de poliestireno

expandido, transplantando para os canteiros definitivos, resultando em plantas vigorosas e produtivas pelo cuidado nas mudas (Huber et al., 2016).

A alface (*Lactuca sativa* L.), pertence à família Asteraceae, é a hortaliça folhosa mais produzida e consumida no Brasil (Kraemer et al., 2020) em que, para produção de mudas de qualidade, a escolha do substrato com características químico-físicas que favoreçam o pleno desenvolvimento é de fundamental importância (Silva & Queiroz, 2014).

Em Alagoas, o município de Arapiraca, região agreste do estado, apresenta-se como principal centro de produção de alface. Segundo Santos et al. (2015), devido o curto ciclo de produção, o cultivo dessa hortaliça nas condições climáticas da região agreste de Alagoas, sob um manejo adequado, poderá ser realizado semanalmente.

Atualmente existe uma grande diversidade de cultivares de alface no mercado, que explora diferenças nos formatos, tamanhos e cores das plantas (Resende et al., 2017). No entanto, de acordo com Oliveira et al. (2019), o desenvolvimento de cultivares comerciais que possuem todas as características desejáveis em um único genótipo é prejudicado pelo conhecimento limitado dos parâmetros que regem o modo de herança genética das principais características agronômicas do alface.

2. JUSTIFICATIVA

O problema da gestão de resíduos sólidos é alarmante, não apenas pelo volume gerado anualmente, mas também pela possibilidade de contaminação do solo e das águas da área de disposição e de seu entorno (Gonçalves et al., 2017). Segundo Faria et al. (2016), a degradação ambiental pode ser definida como as modificações antrópicas impostas aos ecossistemas naturais, que provocam alterações nas suas características físicas, químicas e biológicas, limitando a capacidade de recuperação natural, comprometendo, assim, a qualidade de vida dos seres humanos e de outros organismos.

Segundo Pinheiro et al. (2014), o processo de tratamento de água para o consumo humano tem como consequência positiva a retirada das impurezas provenientes, principalmente, da formação geológica do manancial e de atividades poluidoras ativas inseridas na área de influência. Neste sistema, obtém-se a água como produto final e como subproduto, o lodo de ETA.

Por suas propriedades físico-químicas, o lodo é um potencial componente na formulação de substratos. Porém, segundo Siqueira et al. (2019), embora o lodo apresente elevados teores de matéria orgânica e nutrientes, e ainda beneficie a retenção de água, deve-se ponderar a quantidade adicionada deste resíduo na formulação final do substrato, sendo este um fator decisivo sobre a qualidade das mudas, que facilite as operações de plantio e garantam um bom desempenho pós-plantio.

Apesar dos recentes avanços obtidos através das pesquisas abordando o tema, grande parte dos empreendimentos atuantes no ramo de saneamento vem enfrentando o desafio que é a adoção de medidas com viabilidade técnica, econômica e que sejam ambientalmente adequadas para a destinação final do lodo de ETA.

A Agreste Saneamento S/A, em conjunto com Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), atuam em parceria público-privada para captar, aduzir e tratar água nos sistemas de abastecimento em 10 municípios da região Agreste do Estado. Segundo a Agreste Saneamento, a produção anual de lodo de ETA no sistema coletivo do Agreste, localizado no município de Arapiraca/AL, é de aproximadamente 1.600 Mg. Onde 75% desse volume é destinado a produção de tijolos, em olarias localizadas nos municípios de Arapiraca e Porto Real do Colégio, e o restante descartado em aterro sanitário.

O lodo de ETA produzido é o resíduo do processo de decantação, resultante da floculação das impurezas da água. Após a decantação, as partículas agregadas acumulam-se no fundo dos tanques por gravidade e a água separa-se do lodo, que é armazenado em “bags”, onde é desidratado.

O lodo de ETA é um resíduo pertencente à Classe II A, não inerte (ABNT, 2004), com propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, possibilitando a sua utilização como componente em estudos agrícolas. Pesquisas relacionadas ao efeito de diferentes composições de substrato sobre a qualidade de mudas formadas são constantes e atuais, buscando-se integrar os preceitos da sustentabilidade, proporcionar diminuição do tempo e dos custos do processo produtivo, além de fornecer opções para os viveiristas (Siqueira et al., 2019).

Insumo fundamental na produção de mudas de hortaliças, o substrato, a partir de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, irá determinar a qualidade final das mudas levadas aos campos de produção, refletindo na uniformidade dos stands e, conseqüentemente, no máximo potencial genético da cultura (Antunes et al., 2018).

Com o declínio da cultura do fumo no município de Arapiraca/AL, as hortaliças vêm tendo cada vez mais destaque na região semiárida alagoana e no cenário regional, tanto por suas características de excelente custo/benefício, quanto pela sua importância socioeconômica na geração de emprego e renda (Santos et al., 2015).

Atualmente, o município de Arapiraca se destaca na cadeia produtiva de horticultura, com ênfase para a cultura da alface, tornando-se modelo de produção e exportação de mudas para quase todo o Nordeste (Barboza et al., 2016), deixando a condição de consumidor, de décadas atrás, para desempenhar o papel de produtor/fornecedor, responsável por abastecer as demandas locais e regionais.

Devido à sua alta perecibilidade, a alface normalmente é cultivada próximo aos centros consumidores, sendo necessário produzir nas mais variadas regiões brasileiras, ao longo do ano (Freitas et al., 2013). Portanto, pesquisas que abordam a adaptabilidade e estabilidade de cultivares, a composição do substrato a ser utilizado e as condições em que as mudas se desenvolverão são fundamentais para garantir a máxima eficiência de produção.

Diante do exposto, considerando ser necessário o desenvolvimento de novas alternativas ambientalmente adequadas ao lodo de ETA, associada a importância do substrato na produção de mudas de alface no município de Arapiraca, buscou-se, nesta pesquisa, avaliar os efeitos da utilização de lodo de ETA como componente do substrato utilizado na produção de mudas de diferentes cultivares de alface e seus impactos na produção final, em nível de campo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Lodo de ETA

O lodo gerado durante o processo de tratamento da água para abastecer a população é descartado, na maioria das vezes, de forma inadequada, causando negativos impactos ambientais (Alexander & Luz, 2020). A busca por soluções técnicas e economicamente viáveis, bem como ambientalmente corretas, representa uma oportunidade de reduzir impactos associados a esse resíduo sólido (Fernandez et al., 2018).

Em geral, o lodo é despejado diretamente em corpos hídricos próximos ou conduzidos ao aterro sanitário após a desidratação. O método simples de disposição final, embora menos oneroso, não é uma solução adequada devido à possibilidade de contaminação de corpos d'água e solos com produtos químicos utilizados no tratamento (Ahmad et al., 2016).

Segundo Kyncl (2008), nas estações de tratamento de água, durante o processo de coagulação, o sulfato de alumínio se transforma em hidróxido de alumínio $[Al(OH)_3]$, semelhantes aos hidróxidos presentes naturalmente no solo. O $Al(OH)_3$ pode aumentar a capacidade tampão do solo e aumentar a adsorção de alguns íons ou compostos. A adsorção pode ser favorável ou prejudicial, dependendo das características do lodo e da espécie vegetal.

Em sua pesquisa, Moreira et al. (2017) afirmaram que existem vários estudos que apresentam alternativas de disposição e/ou reaproveitamento do lodo de ETA, como a aplicação em materiais da construção civil, uso na fabricação de cerâmica, uso agrícola, disposição em aterro sanitário, incineração, recuperação de área degradada e pavimentação de rodovias.

Turner et al. (2019) afirmaram que a aplicação de lodo de ETA no solo pode, eventualmente, tornar-se um rota de reutilização mais comum. Existem muitas variáveis a serem consideradas na aplicação de lodo de ETA em solos agrícolas, incluindo o sistema de cultivo, necessidade de nutrientes da cultura, época do ano e condições de solo existentes. Porém, é difícil obter números precisos para apoiar a afirmação de que a aplicação nos solos está aumentando por conta da falta de dados coesos de fontes confiáveis.

Conforme Ahmad et al. (2016), o lodo de tratamento de água produzido na ETA Ghaziabad/Índia, contém cerca de 60% de areia fina, 24% de silte e 16% de argila. Sílica, alumínio, óxido de cálcio e óxido férrico são 52,9, 14,4, 5,2 e 4,4%, respectivamente. Chumbo, cromo, arsênico, bário e outros metais estão presentes em concentrações significativas. Apesar da necessidade de ainda serem realizadas pesquisas para desenvolver uma gestão adequada e sustentável sob rigorosas normas ambientais, a utilização de lodo para reposição de nutrientes de solos também possui potencial para um descarte seguro.

Em suas pesquisas, Verlicchi & Masotti (2000) constataram, nos Estados Unidos, que os lodos são aplicados diretamente na terra (como um revestimento de cobertura) ou incorporado ao solo. Há estados que fixaram a quantidade de resíduo que pode ser aplicada: Pensilvânia definiu em 37 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e aplicação individual de 50 m³ ha⁻¹. Alguns estados, Arkansas, por exemplo, exige detalhes sobre o tipos de vegetação onde os resíduos serão aplicados no solo; em outros, entre eles a Geórgia, nenhuma restrição foi definida sobre os tipos de culturas ou pastagens, exceto para o pH agrônômico nos cultivos envolvidos.

Segundo Kluczka et al. (2017), na Polônia, o lodo, tanto de estações de tratamento de água quanto das estações de tratamento de esgoto, é gerenciado principalmente para agricultura e aplicado na recuperação de terras, variando de 37,4% em 2005 a, aproximadamente, 25% do volume de lodo produzido em 2013. Em pesquisas realizadas no ano de 1995 e depois repetido em 2000 e 2005, pelo Instituto de Ciência do Solo e Planta, a partir do monitoramento químico da camada arável do solo, não foi observada contaminação por metais pesados, permitindo uma visão mais otimista da questão do uso de lodo na agricultura.

O objetivo da pesquisa realizada por Bitencourt et al. (2020) foi avaliar a toxicidade do lodo gerado na ETA do município de Piracicaba/SP, associado ao bagaço e vinhaça de cana de açúcar na germinação e crescimento inicial de milho (*Zea mays* L.). O composto a base de LETA foi incorporado ao Latossolo Vermelho distrófico nas doses de 0, 1, 10, e 100 g kg⁻¹ (composto/solo). Os resultados iniciais apontaram positivamente para a utilização do LETA agregado a vinhaça e bagaço de cana de açúcar no cultivo de plantas de milho até a dose 10 g kg⁻¹. Contudo, a dose de 100 g kg⁻¹ provocou sintomas que podem ser oriundos de deficiência nutricional, ocasionado pelo desbalanço dos nutrientes em função do excesso de Al, Fe e Na.

Pelo exposto, a utilização do lodo de ETA como um componente adicionado aos substratos na produção de mudas poderá ser uma importante forma de destinação desse resíduo, reduzindo a disposição ilegal em rios, além de aumentar a vida útil dos aterros sanitários, sendo, portanto, prática ecologicamente correta.

3.2 Legislação Ambiental

A Constituição Federal em seu Art. 225 estabeleceu o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. O inciso 1º define que, para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao poder público: 1) controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

2) promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente (Brasil, 1988).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) classifica como “rejeitos” os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010). Em seu Capítulo V, Art. 42, a PNRS menciona ações de incentivo ao desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) define como resíduo sólido aquele nos estados sólido e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, sendo assim, o lodo de ETA não pode ser disposto em corpos de água superficiais.

Em Alagoas, a Lei 7.749/ 2015, dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) que, entre as suas diretrizes, podem-se destacar o incentivo para produção de tecnologias limpas, o fomento à pesquisa e ao desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento dos resíduos sólidos. O Art. 29 define que o gerenciamento dos resíduos será efetuado pelo gerador e pelos municípios de forma preferencialmente integrada. Já o Art. 65 estabelece que a ação ou a omissão das pessoas físicas ou jurídicas que caracterizem inobservância dos preceitos desta Lei e de seus regulamentos sujeitam aos infratores a penalidades que vão de advertência à embargo de obra ou atividade e recuperação de área degradada (Alagoas, 2015).

3.3 Cultura da alface

No Brasil há um mercado crescente e promissor que explora novos cultivares de alface (Fontana et al., 2018). Segundo o IBGE (2020), a alface é a hortaliça folhosa mais produzida do Brasil, cultivada em 108.382 estabelecimentos, com predominância da agricultura familiar (82,2%). A produção Nacional é de 671.509 Mg, destacando-se as regiões Sudeste (64,0%), Sul (16,2%) e Nordeste (10,4%). Os Estados do Ceará, Pernambuco e Bahia são os maiores produtores. Alagoas, com produção de 4.329 Mg, tem em Arapiraca o município responsável por 50,3% da produção, em 139 estabelecimentos, dos quais 88,5% são familiares.

A alface é um importante alimento folhoso vegetal que é consumida *in natura*, especialmente em saladas (Sala & Costa, 2012). Os benefícios para a saúde foram atribuídos à presença de compostos fenólicos, fibra e teor de vitamina C. Existem diversos cultivares de

alface que variam entre as cores verde, amarelo a vermelho profundo como resultado de diferentes concentrações de clorofila e antocianina nas folhas (Ozgen & Sekerci, 2011).

Segundo Demartelaere et al. (2020), é importante conhecer as características morfológicas e fisiológicas dos tipos de alface, pois isso é o que diferencia os grupos existentes, evidenciando características específicas de cada cultivar que influencia no transporte, manuseio resistência ao pendoamento e algumas doenças e conservação pós-colheita.

Os cultivares do tipo lisa repolhuda permaneceram como a base da alfacultura brasileira até o desenvolvimento do cultivar Regina, ocorrendo uma mudança no padrão, predominando cultivares tipo lisa sem formação de cabeça. Este fato permitiu ampliar o cultivo da alface no verão, pois este cultivar apresentava uma arquitetura de planta aberta e sem formação de cabeça, não permitindo, dessa forma, o acúmulo de água nas folhas, que favorece o surgimento de doenças fúngicas e bacterianas (Silva et al., 2016).

O grande desafio da produção de alface na região semiárida se deve as condições climáticas que são caracterizadas por temperaturas elevadas, alta luminosidade e baixa umidade relativa do ar, propiciando perdas consideráveis na produção e qualidade dessa folhosa (Silva et al., 2016). Para a maior parte dos cultivares, a temperatura máxima tolerável é de, aproximadamente, 30°C (Duarte et al., 1992). Em geral, temperaturas acima de 30°C afetam a germinação das sementes, reduzindo a velocidade ou o percentual de germinação. Assim, dependendo do local e época de semeadura, a germinação poderá ser errática ou nula, comprometendo o stand na casa de vegetação (Nascimento & Cantiliffe, 2002).

Brito et al. (2017) observaram que, além da questão genética, diversos são os fatores ambientais que afetam o crescimento e o desenvolvimento da planta, como a temperatura, o fotoperíodo e a altitude do local de cultivo, tornando-se necessária a realização de testes de cultivares para o ambiente de plantio. A análise de adaptabilidade e estabilidade poderá ser estimada por vários métodos e vem sendo utilizada no melhoramento genético para selecionar cultivares promissoras aos diferentes ambientes (Cruz et al., 2012).

Segundo Silva & Queiroz (2014) aumentos substanciais de produtividade, obtidos nos sistemas de formação de mudas se devem, em grande parte, ao uso de substratos adequados. Nesse sentido, Watthier et al. (2019) afirmaram que a utilização de substratos apropriados se torna imprescindível quando se pretende otimizar a relação custo-benefício dos sistemas de produção de hortaliças. A utilização desses insumos na produção de mudas, nos diferentes seguimentos da agricultura, tem possibilitado o aproveitamento de resíduos e colaborado com a redução dos impactos ambientais.

Visando a possibilidade da diminuição de custos com os substratos comerciais e o aproveitamento dos variados resíduos gerados em diferentes locais, foram realizados estudos avaliando combinações de substratos comerciais e alternativos na produção de mudas de alface, como a casca de arroz (Freitas et al., 2013), em que foi observado que os substratos, mesmo com adição 75% de casca de arroz carbonizado, ainda são superiores ao substrato comercial *Plantmax*® (puro).

Quando utilizados resíduos de vinícolas, Huber et al. (2016) evidenciaram que os substratos vermicomposto com 25 e 50% de casca de uva, garantiram maior uniformidade na germinação e emergência das mudas de alface cv. Regina, e concluíram que é viável, comprovado pela importante contribuição deste material como fonte de enriquecimento na produção de mudas de alface.

4. OBJETIVOS

4.1 Geral

Analisar a viabilidade técnica de quatro doses de lodo de ETA em substituição a três substratos comerciais na produção de mudas de cinco cultivares de alface e seu impacto no desempenho no campo, em Arapiraca, região semiárida de Alagoas.

4.2 Específicos

3.2.1 Avaliar a interação entre o lodo de ETA e o substratos comerciais na produção de mudas de alface;

3.2.2 Avaliar o comportamento das cultivares em relação aos substratos comerciais, em cada dose de lodo de ETA;

3.2.3 Determinar a proporção de lodo de ETA/substrato comercial sobre a qualidade das mudas de alface;

3.2.4 Avaliar o desempenho em campo das mudas de alface produzidas com as diferentes proporções de substrato lodo de ETA/substrato comercial.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Arapiraca, clima é do tipo semiárido quente, BSh segundo a classificação de Köppen (Climate-Date, 2022) e foi dividida em dois estágios experimentais: 1º) em casa de vegetação, visando avaliar a qualidade das mudas; 2º) em nível de campo, objetivando avaliar os componentes de produção.

5.1 Experimento em casa de vegetação

A pesquisa foi realizada em viveiro de produção comercial de mudas, modelo capela, coberta com filme de polietileno de baixa densidade, localizada no bairro Flexeiras, Arapiraca/AL, coordenadas geográficas -9.799041 S e -36.604969 W, a 229 metros de altitude, entre fevereiro e março de 2021. Com a utilização de um termo-higrômetro digital, modelo FEPRO-MUT600S, foram monitoradas as variações de temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação por 14 dias após semeadura (Figura 1).

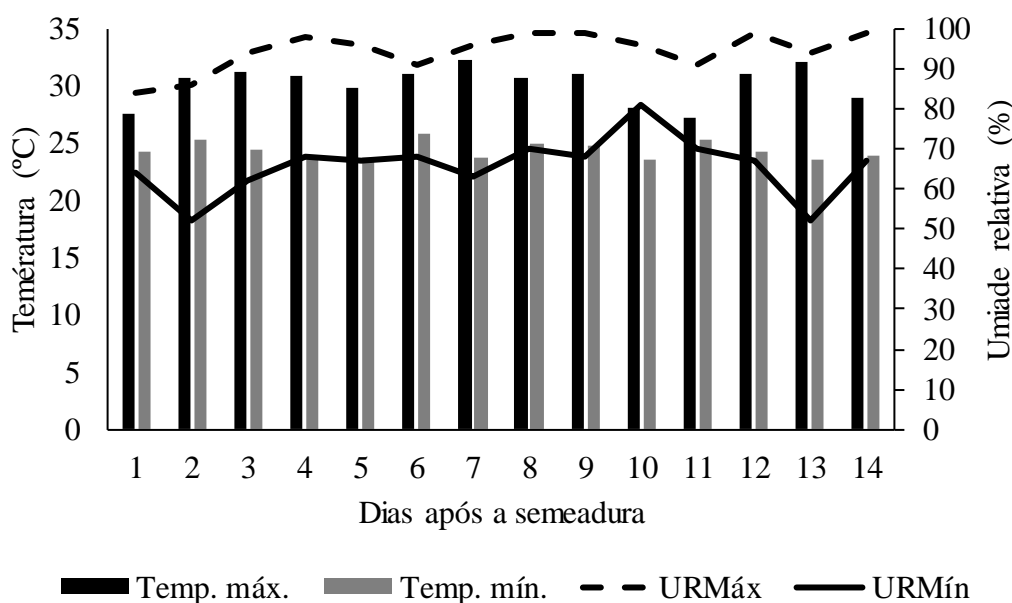


Figura 1. Variação da temperatura e umidade relativa do ar da casa de vegetação durante o período experimental.

O experimento foi instalado no delineamento inteiramente casualizado, arranjo fatorial 4 x 4 x 5, com quatro níveis de lodo (0, 20, 40 e 60% de substituição de lodo pelo substrato comercial), volumes semelhantes ao utilizado por Siqueira et al. (2019), quatro substratos comerciais (Pindstrup®, Vida Verde®, Bioplant 434®, Bioplant 401®) e cinco cultivares de

alface (Veneranda, Camila, Elba, Vitória Verdinha e Diva), com quatro repetições. A parcela foi formada por 10 plântulas, considerando as oito centrais como unidade experimental.

Tabela 1. Informações técnicas disponibilizadas pelos fabricantes dos substratos comerciais.

Componente	Pindustrup	Vida Verde	Bioplant 434	Bioplant 401
Turfa de <i>Sphagnum</i>	*	**	*	*
Casca de arroz	**	*	*	*
Fibra de coco	**	*	*	*
Pinus	**	*	**	**
Vermiculita	**	**	*	*
pH	5,9	5,8	4,6	4,6
Calcário	*	**	*	*
Condutividade (dS m ⁻¹)	0,3	0,5	0,8	0,8
Capacidade de retenção de água (%)	400	150	100	100
NPK	*	14-16-18	11-52-00	14-16-18

*Contém, valores não informados, ** Não contem ou não informado.

Os cultivares de alface foram selecionados pela aceitabilidade dos produtores e consumidores e tiveram as seguintes características: Veneranda, tipo crespa, bordas das folhas cortadas e cor verde; Camila, folhas grandes de cor verde clara; Elba, tipo crespa, folhas grandes verde-claras; Vitória Verdinha, tipo lisa, sem formação de cabeça, cor verde intensa; Diva, tipo americana, cor verde intensa.

O lodo de ETA foi obtido junto a Agreste Saneamento S/A em janeiro de 2021 (Figura 2A e 2B). Em seguida, foi desidratado em estufa a 65°C até atingir massa constante e, logo após, triturado em moinho de discos (Botini[®]).



Figura 2. Coleta de amostras de lodo na Estação de Tratamento de Água (Figuras A e B).

Uma amostra composta (500g), formada a partir de 15 amostras simples, foi encaminhada ao laboratório e analisada seguindo a norma NBR 10004:2004, em que as concentrações de resíduos orgânicos e inorgânicos tóxicos estão abaixo dos níveis máximos permitidos, sem risco à saúde humana (Tabela 1).

Tabela 2. Concentração de resíduos inorgânicos e orgânicos no lodo de ETA e valores máximos permitidos (NBR 10004:2004).

Resíduos inorgânicos	Concentração (mg dm ⁻³)	VMP ¹
Arsênio	<0,01	1,0
Bário	1,97	70,0
Cádmio	<0,001	0,5
Chumbo	<0,01	1,0
Cromo	<0,01	5,0
Fluoreto	<0,1	150
Mercúrio	0,00009	0,1
Prata	<0,01	5,0
Selênio	<0,008	1,0
Resíduos orgânicos		
1,1-Dicloroetano	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	< 0,001	7,5
2,4,5-T	< 0,00005	0,2
2,4,5-TP	< 0,00005	1,0
2,4,5-Triclorofenol	< 0,0001	400,0
2,4,6-Triclorofenol	< 0,0001	20,0

2,4-D	< 0,00005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	< 0,00005	0,13
Aldrin + Dieldrin	< 0,00003	0,003
Benzeno	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	< 0,00005	0,07
Clordano (isômeros)	< 0,00003	0,02
Cloreto de Vinila	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	< 0,001	100,0
Clorofórmio	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	< 0,00001	0,2
Endrin	< 0,00003	0,06
Hexaclorobenzeno	< 0,00005	0,1
Hexaclorobutadieno	< 0,00001	0,5
Hexacloroetano	< 0,00005	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	< 0,0001	200,0
Metoxicloro	< 0,00003	2,0
Nitrobenzeno	< 0,00005	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	< 0,00005	200,0
Pentaclorofenol	< 0,00005	0,9
Piridina	< 2,5	5,0
Tetracloroeto de Carbono	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	< 0,001	4,0
Toxafeno	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	< 0,00002	0,003
Lindano (g-BHC)	< 0,00003	0,2
Metiletilcetona	< 2,5	200,0

¹VMP: valores máximos permitidos (mg dm⁻³).

A partir de uma amostra composta do lodo de ETA, formada por 15 amostras simples, foram realizadas análises químicas, indicando-se:

Tabela 3. Análises químicas do lodo de ETA.

Parâmetros	Resultados
pH	6,1
P	1,0
K	98
Na	57
Ca	4,0
Mg	2,9
Al	0,0
H	2,7
Mat. Org. Total (%)	6,4

Fe	198,4
Cu	0,86
Zn	0,94
Mn	185,4

Métodos de extração: Água (pH); Mehlich (P, K, Na, Fe, Cu, Zn, Mn); Kcl 1N (ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al).

. A análise física evidenciou que o lodo é classificado como franco argiloso, com a seguinte constituição: areia grossa, areia fina, silte e argila de 214, 114, 364 e 328 g kg⁻¹, respectivamente.

As mudas foram produzidas em bandejas de 200 células, com volume de 18 cm³ cada, colocando-se uma semente peletizada por célula, manualmente. Utilizou-se, para todos os tratamentos, o substrato comercial Carolina Soil® na cobertura das sementes, por apresentar maior teor de vermiculita, maior retenção de umidade e permitir a mesma condição de emergência para todos os tratamentos, prática adotada pela empresa Semear Agropecuária S/A. A irrigação foi realizada via microaspersão, utilizando um sistema Gyronet LR Netafim, vazão de 70 L h⁻¹, com aplicação de uma lâmina diária de 1,6 mm, em aproximadamente 40 minutos.

Aos oito dias após o plantio, foi avaliado o percentual de emergência. Aos 25 dias após a semeadura, a partir de oito plântulas da área útil da parcela, foram avaliadas a altura média das plântulas (AP, mm), mensurada do colo até o ápice da plântula, com auxílio de uma régua; diâmetro do coleto (DC, mm), mensurado no colo da plântula com auxílio de um paquímetro; massa da parte aérea (MPA, g) foi mensurada com auxílio de uma balança analítica digital; massa da raiz (MR, g), obtida após a separação da raiz com o substrato, em água corrente; massa total (MT, g), obtida pela soma da massa da parte aérea e da raiz. Com esses dados, calculou-se o índice de qualidade da muda (IQM), proposto por Dickson et al. (1960), em que:

$$IQM = \frac{MT}{\frac{AP}{DC} / \frac{MPA}{MR}}$$

Inicialmente, foram testadas as pressuposições da análise de variância (Anova), aplicando-se os testes de Tukey, Durbin Watson, Bartlett e Shapiro-Wilk para a não aditividade, a independência dos resíduos, a homocedasticidade e a normalidade dos erros, respectivamente, para cada variável. Em seguida, foi realizada Anova, utilizando-se regressão polinomial nas doses de lodo e teste Scott-Knott (P<0,05) para os substratos e cultivares. Para estas análises,

utilizou-se o pacote *ExpDes* (Ferreira et al., 2014), versão 1.2.2, do software R (R Core Team, 2022).

5.2 Experimento em nível de campo

A partir das mudas produzidas no 1º experimento, foi conduzida uma pesquisa em propriedade particular localizada no bairro Batingas, Arapiraca/AL, coordenadas geográficas - 9°79'90.4" S e -36°60'49.6" W, 247 m de altitude, entre março e abril de 2021.

O experimento foi instalado sob o delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 3 x 3 x 5, correspondendo a mudas provenientes de três percentuais de lodo em substituição a substratos comerciais (0, 20 e 40%), três tipos de substratos comerciais (Vida Verde®, Bioplant 434® e Bioplant 401®) e cinco cultivares de alface, com três repetições. O substrato comercial Pidunstrup assim como os tratamentos com 60% de lodo não foram utilizados no experimento em nível de campo por apresentar desenvolvimento inadequado, não ocorrendo a formação de torrões, inviabilizando a operação de transplântio. A parcela experimental foi constituída por três nove plantas, das quais cinco foram consideradas como área útil (Lúcio et al., 2016).

No local do experimento foram realizadas 15 amostras simples de solo, na profundidade 0 – 20 cm, compondo uma amostra composta (500g), para análises químicas, apresentando os seguintes resultados:

Tabela 4. Análises químicas do solo, local do experimento de campo.

Parâmetros	Resultados
pH	7,3
P	120
K	0,32
Na	0,87
Ca	3,6
Mg	3,0
Al	0,0
H	0,3
Mat. Org. Total (%)	1,37
Fe	120,8
Cu	0,45
Zn	21,24

Método EMBRAPA, extração: Água (pH); Mehlich (P, K, Na, Fe, Cu, Zn, Mn); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al).

A adubação utilizada seguiu a recomendação da análise de solo e foi constituída por 80 kg de esterco bovino curtido + 60 kg de esterco caprino curtido + 10 kg da fórmula NPK 16-00-20 + 10 kg de torta de mamona, utilizando 30 g planta⁻¹ na adubação de fundação.

Os canteiros tiveram largura de 1,0 m, adotando-se espaçamento de 0,30 x 0,30 m entre plantas e entre linhas. O preparo do solo, a partir do revolvimento e homogeneização, foi feito manualmente. Aos 15 dias após o plantio foi realizada uma capina manual. O sistema de irrigação instalado no local, na modalidade microaspersão, não foi utilizado devido a regularidade da precipitação pluvial durante o período experimental, totalizando 94 mm. Durante o período experimental as temperaturas médias, mínima e máxima, foram de 21,7 e 29,8°C, respectivamente.

As variáveis analisadas foram a altura das plantas, largura e comprimento da folha, todas com auxílio de uma régua (cm), e a produtividade comercial (parte aérea sem as raízes; Mg ha⁻¹), com o auxílio de uma balança digital, em que foram descartadas as folhas danificadas.

Inicialmente, foram testadas as pressuposições para Anova, aplicando-se os testes de Tukey, Durbin Watson, Bartlett e Shapiro-Wilk para a não aditividade, a independência dos resíduos, a homocedasticidade e a normalidade dos erros, respectivamente, para cada variável. Nesta etapa, considerou-se os percentuais de lodo em substituição aos substratos comerciais como fator qualitativo. Portanto, após a Anova, as médias foram agrupadas pelo teste Scott-Knott (P<0,05). Para estas análises, utilizou-se o pacote *ExpDes* (Ferreira et al., 2014), versão 1.2.2, do software R (R Core Team, 2022).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliações do experimento em casa de vegetação

6.1.1 Emergência das plântulas

A inclusão de lodo em substituição ao substrato Pindstrup, em qualquer dose, bem como o nível 60% de lodo em qualquer um dos substratos, não promoveram emergência nas plântulas. É possível que o lodo, que apresenta 80,6% de partículas finas e alto teor de matéria orgânica em sua composição (13,1%), quando associado ao substrato, que promove alta retenção de água, tenha reduzido a aeração, comprometendo a germinação e emergência. Silva et al. (2019), estudando os efeitos de substratos alternativos para produção de mudas, observaram que

substratos com nível de retenção de água adequado promovem a germinação através da ativação dos processos metabólicos, além do estabelecimento da planta, resultado do desenvolvimento satisfatório o eixo embrionário. Por esta razão, nas demais análises foram excluídos o substrato Pindstrup e o nível 60% de lodo em qualquer um dos substratos.

6.1.2 Índice de qualidade da muda

Observou-se interação tripla significativa para o índice de qualidade da muda, indicando que o crescimento/desenvolvimento dos cultivares foi influenciado pela composição dos diferentes substratos (Tabela 2). Resultado similar foi obtido por Silva & Queiroz (2014), em que o substrato a base de maravalha e cama de suíno reuniu as melhores características, como altura planta e massa fresca da parte aérea, para a formação de mudas de alface, comparando-se aos substratos comerciais Nutriorg[®] e Plantmax[®].

Tabela 5. Resumo da Anova (Teste F) para o índice de qualidade da muda.

Fonte de variação	Índice de qualidade da muda
Cultivares	23,7**
Substratos	34,6**
Lodo	202,1**
Cultivares x Substratos	10,2**
Substrato x Lodo	47,6**
Cultivar x Lodo	7,8**
Cultivar x Substrato x Lodo	12,4**
CV (%)	16,8

** : significativo a 1% pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

De forma geral, o IQM foi influenciado pelas doses de lodo, em que o desempenho dos cultivares variou de acordo com a concentração de lodo, em que a adição de 20% nos substratos Vida Verde (exceto cultivar Elba) e Bioplant 401 promovem mudas de melhor qualidade (Tabela 3). A dose de 40% reduziu o IQM, exceto para os cultivares Veneranda e Elba no substrato Bioplant 434.

Tabela 6. Desdobramento da interação Lodo x Substratos x Cultivares para a variável índice da qualidade da muda.

Substratos	Cultivares	Doses de lodo (%)		
		0	20	40
Vida Verde®	Veneranda	0,20 BaX	0,19 DbX	0,14 AbY
	Camila	0,38 AaX	0,35 BaX	0,13 AaY
	Elba	0,32 AaX	0,25 CaY	0,17 AaZ
	V. Verdinha	0,19 BbY	0,33 BaX	0,03 BbZ
	Diva	0,23 BbY	0,40 AaX	0,18 AaY
Bioplant 434®	Veneranda	0,24 CaX	0,17 BbY	0,24 AaX
	Camila	0,34 BaX	0,21 BbY	0,19 AaY
	Elba	0,23 CbX	0,17 BbX	0,19 AaX
	V. Verdinha	0,36 BaX	0,17 BbY	0,22 AaY
	Diva	0,63 AaX	0,28 AbY	0,15 AaZ
Bioplant 401®	Veneranda	0,25 AaX	0,25 BaX	0,06 AcY
	Camila	0,16 BbX	0,21 BbX	0,05 AbY
	Elba	0,18 BbY	0,31 AaX	0,10 AbZ
	V. Verdinha	0,20 BbY	0,31 AaX	0,04 AbZ
	Diva	0,28 AbX	0,32 AbX	0,09 AbY

Médias com mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott ($P > 0,05$): maiúsculas (A, B), na coluna, comparam os cultivares, em cada substrato, nas diferentes doses de lodo; minúsculas (a, b), na coluna, comparam o desempenho de cada cultivar ‘entre’ substratos, em cada nível de lodo; X, Y e Z, na linha, promovem o agrupamento dos cultivares entre as doses de lodo, para cada substrato.

Cada cultivar apresentou comportamento diferenciado quando produzido nas diferentes composições dos substratos, indicando adaptação específica. O cultivar Veneranda, no nível 0%, poderá ser cultivado nos três substratos; com 20%, Bioplant 401; em 40%, Bioplant 434 (Tabela 3). Por outro lado, o cultivar Diva adaptou-se ao substrato Bioplant 434 (0%). A adição de 20% de lodo, o maior IQM foi observado no substrato Vida Verde.

Entre os cultivares, quando utilizado o substrato Vida Verde no nível 0%, os cultivares Camila e Elba apresentaram os maiores IQM; Bioplant 434, destacou-se o cultivar Diva; Bioplant 401, a cultivar Veneranda apresentou mudas com maior IQM (Tabela 3). Com 20% de lodo, o cultivar Diva apresentou maior IQM nos substratos Vida Verde e Bioplant 434; Bioplant 401, não houve diferença significativa entre os cultivares Elba, Vitória Verdinha e Diva.

6.2 Avaliações em nível de campo

Observou-se interação tripla para as variáveis altura das plantas, comprimento foliar e produtividade, indicando que o crescimento/desenvolvimento dos cultivares foram

influenciados pela qualidade dos substratos (Tabela 4). O coeficiente de variação variou de 8,0% para o comprimento da folha, indicando uma ótima precisão experimental, até 21,4% para a produtividade, indicando que houve variação entre as plantas, provavelmente devido a intensidade de chuvas. Segundo Lúcio et al. (2011), quando considerada a massa verde das plantas, ocorre maior variabilidade dentro da unidade experimental devido a variação no teor de água em cada planta, influenciando diretamente o coeficiente de variação.

Tabela 7. Resumo da Anova (Teste F) para as variáveis analisadas.

Fonte de variação	Altura	Folhas		Produtividade
		Comprimento	Largura	
Lodo (L)	25,4**	14,0**	3,3*	21,3**
Substratos (S)	4,5**	16,6**	1,0 ns	2,3 ns
Cultivares (C)	6,5**	18,7**	18,9**	6,7**
L x S	2,5*	3,1**	1,1 ns	0,9 ns
L x C	0,7 ns	1,0 ns	0,6 ns	1,6 ns
S x C	0,8 ns	0,7 ns	0,5 ns	1,3 ns
L x S x C	2,1**	1,8*	0,8 ns	1,9**
CV (%)	8,4	8,0	11,1	21,4

**, *, ns: significativo a 1, 5% e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. CV: coeficiente de variação.

6.2.1 Altura das plantas

A altura das plantas foi influenciada pelo incremento de lodo nos substratos Vida Verde e Bioplant 434 (Tabela 4). Em geral, comparando-se os cultivares dentro de cada substrato, não houve diferença significativa quando adicionado até 40% de lodo, exceto quando associado o substrato Bioplant 434 + 0% lodo, em que o cultivar Elba apresentou a maior altura. Estas informações indicam que a redução linear negativa observada na fase de produção de mudas foi superada no campo. Segundo Resende et al. (2017), as características relacionadas com o porte das plantas, tais como altura, comprimento e largura, fornecem importantes informações, pois a principal forma de acondicionamento das plantas para o transporte ocorre via caixas plásticas ou de madeira.

Tabela 8. Desdobramento da interação tripla Substratos x Cultivares x Doses de lodo para a altura das plantas.

Substratos	Cultivares	Doses de lodo		
		0	20	40
Vida Verde®	Veneranda	18,2 AaX	18,5 AaX	15,3 AbX
	Camila	16,8 AaX	16,7 BaY	15,6 AaX
	Elba	17,7 BaX	19,3 BaX	18,8 AaX
	Vitória Verdinha	18,3 AbX	21,2 AaX	16,3 AbX
	Diva	19,2 AaX	19,3 AaX	16,3 AbX
Bioplant 434®	Veneranda	17,5 AaY	18,0 AaX	18,0 AaX
	Camila	18,3 AaY	20,3 AaX	16,0 AbX
	Elba	21,3 AaX	21,5 AaX	16,0 BbX
	Vitória Verdinha	19,3 AaY	19,0 AaX	16,8 AaX
	Diva	18,0 AbY	20,3 AaX	16,3 AbX
Bioplant 401®	Veneranda	18,0 AaX	16,8 AaX	16,7 AaX
	Camila	16,3 AaX	17,7 BaX	15,8 AaX
	Elba	19,0 BaX	18,3 BaX	19,0 AaX
	Vitória Verdinha	17,5 AaX	18,5 AaX	16,8 AaX
	Diva	19,0 AaX	17,2 BaX	16,0 AaX

Médias com mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott ($P>0,05$): maiúsculas (A, B), na coluna, comparam os cultivares, em cada substrato, nas diferentes doses de lodo; minúsculas (a, b), na coluna, comparam o desempenho de cada cultivar ‘entre’ substratos, em cada nível de lodo; X, Y, na linha, promovem o agrupamento dos cultivares entre as doses de lodo, para cada substrato.

A interação significativa cultivar x substrato para a altura das plantas também foi observada por Medeiros et al. (2008), em que o substrato com biofertilizante rico em matéria orgânica proporcionou a maior altura da parte aérea para a alface cv. Grand Rapids em relação aos substratos comerciais.

6.2.2 Comprimento das folhas

Observou-se que o aumento do nível de inclusão de lodo em até 40% na produção das mudas, apesar de haver redução IQM (Tabela 4), as plântulas dos cultivares Elba e Vitória Verdinha (Vida Verde), Veneranda e Vitória Verdinha (Bioplant 434) cresceram e retomaram o desenvolvimento, não havendo diferença estatística entre 0 e 40% de substituição (Tabela 6). Porém, quando as mudas foram produzidas utilizando o substrato Bioplant 401, não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre níveis de lodo em cada cultivar. Nos substratos Bioplant + 40% de lodo, não foram observadas diferenças significativas entre os cultivares. Comportamento semelhante foi verificado por Santos et al. (2018) onde o desempenho do tratamento com substrato terra preta + esterco de aves proporcionou melhor comprimento de

folhas de alface do tipo americana, sendo uma alternativa para produção de alface, supostamente devido à mineralização mais rápida e a maior disponibilização do nitrogênio.

Tabela 9. Desdobramento da interação tripla Substratos x Cultivares x Doses de lodo para o comprimento da folha.

Substratos	Cultivares	Doses de lodo		
		0	20	40
Vida Verde®	Veneranda	15,5 AaY	15,8 AaX	13,0 BbY
	Camila	15,8 AaY	13,3 BbY	12,7 BbY
	Elba	16,0 AaY	16,7 AaX	17,2 AaX
	Vitória Verdinha	15,5 AaY	14,8 AaY	14,2 AaY
	Diva	18,5 AaX	17,0 AaY	15,0 BbY
Bioplant 434®	Veneranda	17,3 AaX	15,0 AaY	15,7 AaX
	Camila	15,0 AbX	17,3 AaX	14,5 AbX
	Elba	17,7 AaX	18,2 AaX	15,3 AbX
	Vitória Verdinha	16,7 AaX	17,2 AaX	15,2 AaX
	Diva	17,0 AbX	19,3 AaY	15,3 BbX
Bioplant 401®	Veneranda	16,2 AaY	15,8 AaY	16,0 AaX
	Camila	14,5 AaY	16,8 AaY	15,5 AaX
	Elba	17,8 AaX	18,8 AaX	17,8 AaX
	Vitória Verdinha	16,3 AaY	16,8 AaY	16,2 AaX
	Diva	19,0 AaX	18,8 AaX	18,0 AaX

Médias com mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott ($P > 0,05$): maiúsculas (A, B), na coluna, comparam os cultivares, em cada substrato, nas diferentes doses de lodo; minúsculas (a, b), na coluna, comparam o desempenho de cada cultivar ‘entre’ substratos, em cada nível de lodo; X, Y, na linha, promovem o agrupamento dos cultivares entre as doses de lodo, para cada substrato.

Considerando o substrato Vida Verde, cultivados com Veneranda e Diva, é possível obter plantas com folhas compridas com a adição de até 20% de lodo; do mesmo modo, considerando o substrato Bioplant 434 nos cultivares Camila, Elba e Diva.

6.2.3 Largura das folhas

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as doses de lodo, em que a substituição de 40% do substrato comercial reduz a largura das folhas das plantas (Figura 3) nos cultivares Camila, Elba e Vitória Verdinha (Figura 4), o que difere da pesquisa realizada por Jabborova et al. (2021), em que a largura da folha melhorou acentuadamente com níveis crescentes de adições de carvão vegetal de 2 e 3%, melhorando significativamente em 34% e 45% respectivamente, em relação a testemunha.

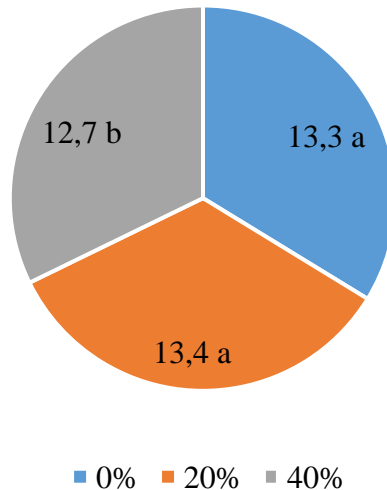


Figura 3. Efeito das doses de lodo sobre a largura da folha. Médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott ($P>0,05$). Médias resultantes de três substratos comerciais e cinco cultivares de alface.

Os cultivares Veneranda e Diva apresentaram as maiores larguras da folha (Figura 4), mesmo apresentado redução do IQM com o incremento de lodo nos diferentes substratos (Tabela 5).

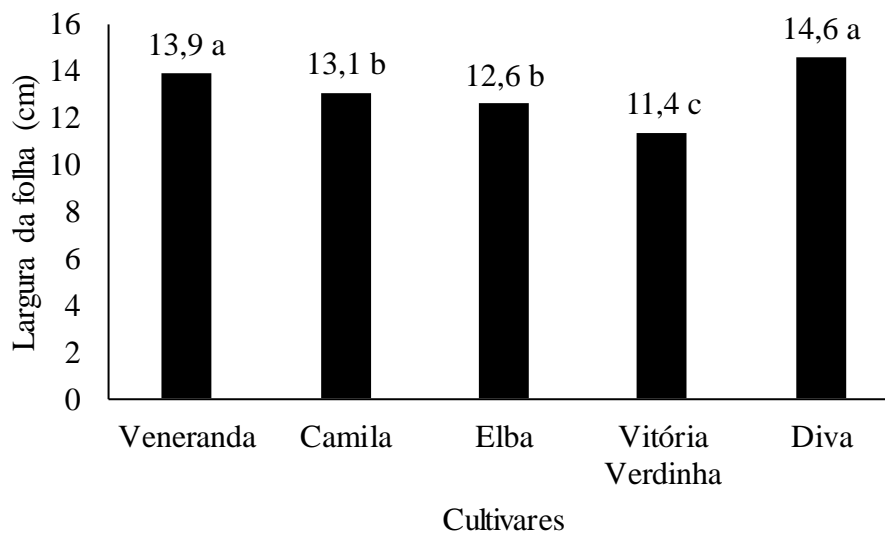


Figura 4. Largura da folha de cinco cultivares de alface. Médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott ($P>0,05$). Médias resultantes de três doses de lodo e três substratos comerciais.

6.2.4 Produtividade

A redução do IQM observado com a inclusão do lodo em substituição ao substrato comercial não influenciou na produtividade dos cultivares Camila (Vida Verde e Bioplant 401), Veneranda (Bioplant 434 e 401), e Elba e Vitória Verdinha (Bioplant 401), Tabela 7.

Tabela 10. Desdobramento da interação tripla Substratos x Cultivares x Doses de lodo para produtividade.

Substratos	Cultivares	Doses de lodo		
		0	20	40
Vida Verde®	Veneranda	5,2 AaY	6,3 AaX	3,5 AbX
	Camila	4,5 AaY	5,2 AaX	3,8 AaX
	Elba	4,3 AbY	7,3 AaX	4,2 AbX
	Vitória Verdinha	5,2 AbY	7,7 AaX	5,2 AbX
	Diva	8,4 AaX	6,5 AbX	5,4 AbX
Bioplant 434®	Veneranda	6,6 AaX	5,0 AaX	5,2 AaX
	Camila	3,2 AbY	5,7 AaX	3,9 AbX
	Elba	6,5 AaX	5,5 AaX	4,3 AbX
	Vitória Verdinha	5,8 AaX	6,0 AaX	3,9 AbX
	Diva	4,6 BaY	6,2 AbX	4,6 AaX
Bioplant 401®	Veneranda	5,9 AaY	5,8 AaX	5,4 AaX
	Camila	4,9 AaY	5,4 AaX	4,0 AaX
	Elba	5,6 AaY	6,0 AaX	5,1 AaX
	Vitória Verdinha	5,3 AbY	7,0 AaX	5,9 AbX
	Diva	7,6 AaX	6,5 AaX	4,3 AbX

Médias com mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste Scott-Knott ($P > 0,05$): maiúsculas (A, B), na coluna, comparam os cultivares, em cada substrato, nas diferentes doses de lodo; minúsculas (a, b), na coluna, comparam o desempenho de cada cultivar ‘entre’ substratos, em cada nível de lodo; X, Y, na linha, promovem o agrupamento dos cultivares entre as doses de lodo, para cada substrato.

Considerando cada nível de substituição, apenas o cultivar Diva apresentou expressiva redução na produtividade quando mudas foram produzidas no substrato Bioplant 434 (0% de lodo), em que a inclusão de 20% de lodo promoveu uma maior produtividade (Tabela 7). Entre as variedades cultivadas em doses de 0% de lodo, destacou-se Diva nos substratos Vida Verde e Bioplant 401. Quando cultivadas no substrato Bioplant 434, os cultivares Veneranda, Elba e Vitória Verdinha apresentaram as maiores produtividades. Entretanto, se cultivadas no substrato Bioplant 401 adicionado a doses de 20 e 40% de lodo, não se observou diferença estatística entre os cultivares.

Na ocasião da colheita, 35 DAT, foi observado que o cultivar Vitoria Verdinha já apresentava pendoamento, Resende et al. (2017) em sua pesquisa, descreve que não foi

verificado pendoamento entre as seis cultivares (Amanda, Bruna, Vanda, Isabela, CAP/CR/77-1 e 10Y3104-1) colhidas aos 34 e 36 DAT, o que pode evidenciar a maior precocidade do cultivar Vitoria Verdinha em relação as demais cultivares, sendo esta uma característica indesejável, já que inviabiliza o produto para comercialização (Luz et al., 2009). Elevadas temperaturas e alta intensidade luminosa, frequentemente observadas em regiões semiáridas, promovem fotoinibição e fotorrespiração em espécies com metabolismo fotossintético C_3 (Taiz et al., 2017) como a alface (Zhou et al., 2020), com efeito sobre a produtividade (Fu et al., 2012).

7. CONCLUSÕES

1. O substrato comercial Pindstrup[®] não é recomendada a inclusão de lodo na produção de mudas de alface dos cultivares avaliados;
2. Os substratos comerciais Vida Verde[®], Bioplant 434[®] e Bioplant 401[®] permite a substituição de até 40% na produção de mudas de alface;
3. Os caracteres biométricos dos cultivares de alface são influenciados pelas doses de lodo. Considerando a produtividade, recomenda-se a inclusão de lodo em até 20% para qualquer substrato e cultivar. Porém, a adição de 40% de lodo é possível para o cultivar Camila quando produzida no substrato Vida Verde; Veneranda e Diva no substrato Bioplant 434; e Veneranda, Camila, Elba e Vitória Verdinha no substrato Bioplant 401.
4. A inclusão de lodo apresenta viabilidade técnica, com potencial redução de custos de produção.

8. AGRADECIMENTOS

A pesquisa contou com a parceria entre a Agreste Saneamento S/A, a partir da doação do lodo; Secretaria de Desenvolvimento Rural de Arapiraca, com recursos humanos; a empresa Semear Agropecuária, que disponibilizou a estrutura física e recursos humanos para execução do experimento; ao produtor rural, Edmilson Nunes dos Santos, por disponibilizar a área, insumos e mão de obra para instalação do experimento. A todos, nosso muito obrigado.

9. REFERÊNCIAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004. **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

ABRELPE: Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 27 jun. 2021.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 950–955, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.088>.

ALAGOAS. Lei nº 7.749, de 13 de outubro de 2015. **Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e Inclusão Produtiva, e dá outras providências**. 2015. Disponível em: <http://www.residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/184_ext_arquivo.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2021.

ALEXANDRE, E.; LUZ, C.A. Substituição parcial do cimento CPV-ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA). **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, e-12586, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0912>.

ANTUNES, L.F.S.; SCORIZA, R.N.; FRANÇA, E.M.; SILVA, D.G.; CORREIA, M.E.F.; LEAL, M.A.A.; ROUWS, J.R.C. Desempenho agrônômico da alfaca crespa a partir de mudas produzidas com gongocomposto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 57-65, 2018. <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i3.3009>.

ARAÚJO, E.F.; AGUIAR, A.S.; ARAUCO, A.M.S.; GONÇALVES, E.O.; ALMEIDA, K.N.S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017. <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n01a03>.

BARBOZA, I.O.; PINTO, L.C.T.; PESSOA, S.R.N. **Estudo sobre a agricultura familiar em Alagoas**. 1ª Ed. Maceió, AL: SEPLAG, 2016. 56p.

BITENCOURT, G.A.; APOLARI, J.P.; DE SOUZA, G.; MONTEIRO, R.T.R. Lodo gerado em Estação de Tratamento de Água: Avaliação preliminar da toxicidade em plantas de milho. **Scientia Plena**, v. 16, n. 12, p. 120-201, 2020. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.120201>.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Publicado no Diário Oficial da União - DOU n. 053, do dia 18.03.2005, p. 58-63.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Capítulo VI, Do Meio Ambiente, Art. 225.** Promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, 1988.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei no 12.305, 2 de ago. 2010.** Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, p. 2.

BRITO, L.P.S.; CAVALCANTE, M.Z.B.; AMARAL, G.C.; SILVA, A.A.; AVELINO, R.C. Reutilização de resíduos regionais como substratos na produção de mudas de cultivares de alface a partir de sementes com e sem peletização. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 116, n. 1, p. 51-61, 2017.

CLIMATE-DATA. Clima Alagoas. 2022. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/alagoas-214>>. Acesso em: 22 Mar. 2022.

COELHO, R.V.; TAHIRA, F.S.; FERNANDES, F.; FONTENELE, H.B.; TEIXEIRA, R.S. Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 2, 2015. <https://doi.org/10.5216/reec.v10i2.33134>.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético.** 2ª Ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

SILVA, L.P.; OLIVEIRA, A.C.; ALVES, N.F.; SILVA, V.L.; SILVA, T.I. Uso de substratos alternativos na produção de mudas de pimenta e pimentão. **Colloquium Agrariae**. v. 15, n. 3, p. 104–115. 2019. <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n3.a303>.

DEMARTELAERE, A.C.F.; PRESTON, H.A.F.; FEITOSA, S.S.F.; PRESTON, W.; SILVA, R.M. A influência dos fatores climáticos sob as variedades de alface cultivadas no Rio Grande do Norte. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 90363-90378, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-447>.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

DUARTE, R.L.R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, P.H.S.; RIBEIRO, V.Q.; SETÚBAL, J.W. Avaliação de cultivares de alface nos períodos chuvoso e seco em Teresina-PI. **Horticultura Brasileira**, v. 10, p. 106-108. 1992.

FARIA, J.C.T.; CALDEIRA, M.V.W.; DELARMILENA, W.M.; ROCHA, L.F.R. Substratos alternativos na produção de mudas de Mimosa setosa Benth. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1075-1086, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509824996>.

FERNANDEZ, L.P.; MIKOWSKI, P.C.B.; MACIOSKI, G.; NAGALLI, A.; FREIRE, F.B. Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado, **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0490>.

FERREIRA, E.B., CAVALCANTI, P.P., NOGUEIRA, D.A. *ExpDes*: An R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>.

FONTANA, L.; ROSSI, C.A.; HUBINGER, S.Z.; FERREIRA, M.D.; SPOTO, M.H.F.; SALA, F.C.; VERRUMA-BERNARDI, M.R. Physicochemical characterization and sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. **Horticultura Brasileira**, v. 36, p. 20-26, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620180104>.

FREITAS, G.A.; SILVA, R.R.; BARROS, H.B.; MELO, A.V.; ABRAÃO, W.A.P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 159-166, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100020>.

FU, W.; LI, P.; WU, Y. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 135, n. 1, p.45-51, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.004>.

GONÇALVES, F.; SOUZA, C.H.U.; TAHITA, F.S.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R.S. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista DAE**, v. 65, n. 205, p. 5-14, 2017. <https://doi.org/10.4322/dae.2016.018>.

GUTO, R.; SILVA, E.S. Produção de mudas de tomateiro, pimenteiro e pepineiro. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. (Org.).

Hortaliças-fruto. Maringá: Eduem, 2018. p. 387-400.
<https://doi.org/10.7476/9786586383010>.

HUBER, A.C.K.; KOHN, R.A.G.; MORSELLI, T.B. Utilização de resíduos de vinícolas para vermicompostagem e produção de mudas de alface. **Revista Científica Rural**, v. 18, n. 1, p.108-117, 2016.

IBGE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário: atualizado em 06/08/2020.** Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br>>. Acesso em: jun. 2021.

JABBOROVA, D.; KADIROVA, D.; NARIMANOV, A.; WIRTH, F. Beneficial effects of biochar application on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, root morphological traits and physiological properties. **Annals of Phytomedicine** v.10, n. 2, p 93-100, 2021.
<http://dx.doi.org/10.21276/ap.2021.10.2.13>.

KATAYAMA, V.T.; MONTES, C.P.; FERRAZ, T.H.; MORITA D. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 559-569, 2015.
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040105046>.

KLUCZKA, J.; ZOŁOTAJKIN, M.; CIBA, J.; STAROŃ, M. Assessment of aluminum bioavailability in alum sludge for agricultural utilization. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 422, p. 1-8. 2017. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6133-x>.

KRAEMER, C.; ADAMI, F.S.; ROSOLEN, M.D.; SOUZA, C.F.V.; MARMITT, L.G.; OLIVEIRA, E.C. Nitrate, nitrite, calcium, potassium and sodium in organic, hydroponic and conventional vegetables. **Revista Uningá Review**, v. 35, p. eRUR2933, 2020.
<https://doi.org/10.46311/2178-2571.35.eRUR2933>.

KYNCL, M. Opportunities for water treatment sludge re-use. **GeoScience Engineering**, v. 54, n. 1, p. 11-22, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040105046>.

LÚCIO, A.D., SANTOS, D., CARGNELUTTI FILHO, A., SCHABARUM, D.E. Método de Papadakis e tamanho de parcela em experimentos com a cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, 66-73, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620160000100010>.

LÚCIO, A.D.; HAESBAERT, F.M.; SANTOS, D.; BENZ, V. Estimativa do tamanho de parcela para experimentos com alface. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 510-515, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000400011>.

LUZ, A.O.; SEABRA JÚNIOR, S.; SOUZA, S.B.S.; NASCIMENTO, A.S. Resistência ao pendoamento de genótipos de alface em ambientes de cultivo. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 71-82, 2009.

MEDEIROS, D.C.; FREITAS, K.C.S.; VERAS, F.S.; ANJOS, R.S.B.; BORGES, R.D.; CAVALCANTE NETO, J.G.; NUNES, G.H.S.; FERREIRA, H.A. Qualidade de mudas de alface em função de substratos com e sem biofertilizante. **Horticultura Brasileira** v. 26, n. 1, p. 186-189. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000200011>.

MOREIRA, V.T.G.; PAIVA, G.S.; SOARES, A.F.S. Lodo de estação de tratamento de água (LETA): resíduo ou insumo? **Revista PETRA**, v. 3, n. 1, p. 17-37, 2017.

MOTTA SOBRINHO, M.A.; TAVARES, R.G.; ARRUDA, V.C.M.; CORREA, M.M.; PEREIRA, L.J.R. Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 761-771, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019175810>.

NASCIMENTO, W.M.; CANTLIFFE, D.J. Germinação de sementes de alface sob altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 103- 106, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000100020>.

OLIVEIRA, A.H.G.; MACIEL, G. M.; SIQUEIROLI, A.C.S.; JACINTO, A.C.P.; SILVEIRA, A.J.; SILVA, E.C. Estimates of genetic parameters of pigments and agronomic traits in green and purple lettuce. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, e013219, 2019. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943013219>.

OZGEN, S.; SEKERCI, S. Effect of leaf position on the distribution of phytochemicals and antioxidant capacity among green and red lettuce cultivars. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 3, p. 801-809, 2011. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110903-472-10>.

PEREIRA, C.M.S.; ANTUNES, L.F.S.; AQUINO, A.M.; LEAL, M.A.A. Substrato à base de esterco de coelho na produção de mudas de alface. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v.8, n.1, p. 58-65, 2020. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i1.8018>.

PINHEIRO, B.C.A.; ESTEVÃO, G.M.; SOUZA, D.P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. **Revista Matéria**, v.19, n.3, p. 204-211, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762014000300003>.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 15 Mar 2022.

RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; YURI, J. E.; MOTA, J. H. Adaptação de genótipos de alface crespa em condições semiáridas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 1145-1154, 2017. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n100553>.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>.

SANTOS, M. A. L.; SANTOS, D. P.; MENEZES, S. M.; LIMA, D. F.; VIEIRA, J. P. Produção da cultura da alface (*Lactuca Sativa* L.) em função das lâminas de irrigação e tipos de adubos. **Ciência Agrícola**, v. 13, n. 1, p. 33-39, 2015.

SANTOS, J.A.; CASTRO JÚNIOR, W.L.; CARVALHO, A.J.B.; LIMA, A.M.C.; SILVA, G.N. Crescimento de plantas de alface cultivadas em substratos orgânicos, no município de Codó, Maranhão. **Acta Tecnológica**. v. 12, n. 2, p. 73–84, 2018. <https://doi.org/10.35818/acta.v12i2.509>.

SILVA, E.C.; QUEIROZ, R.L. Formação de mudas de alface em bandejas preenchidas com diferentes substratos. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 725-728, 2014.

SILVA. O.M.P.; NEGREIROS. M.Z.; SANTOS. E.C.; LOPES. W.A.R.; LUCENA. R.R.M.; SOARES. A.M. Qualitative performance of lettuce cultivars in four seasons in Mossoró, Rio Grande do Norte State, Brazil, **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 843-852, 2016. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663060014>.

SIQUEIRA, D.P.; BARROSO, D.G.; CARVALHO, G.C.M.W.; ERTHAL, R.M.; RODRIGUES, M.C.C.; MARCIANO, C.R. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Plathymenia reticulata* Benth, **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 728-739, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509827297>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TURNER, T.; WHEELER, R.; STONE, A.; OLIVER, I. Potential alternative reuse pathways for water treatment residuals: Remaining barriers and questions - A review. **Water Air Soil Pollut.** v. 230, n. 227, p. 1-30, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4272-0>.

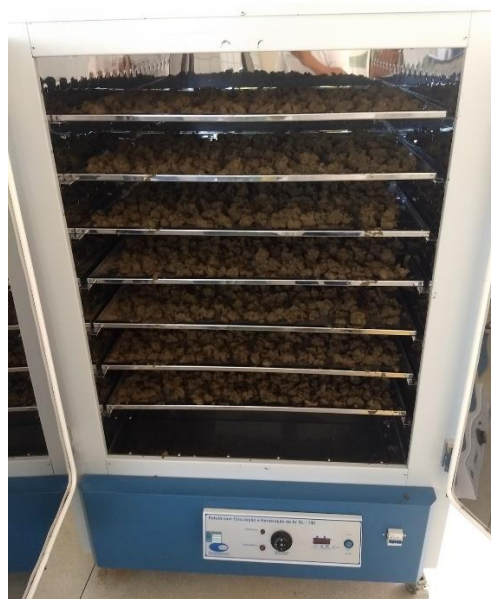
VERLICCHI, P.; MASOTTI, L. **Reuse of drinking water treatment plant sludge in agriculture: problems, perspectives and limitations**. Proceedings of the 9th International Conference on The FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues In Agriculture. p. 67-73, 2000. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11392/1196490>>. Acesso em: 10 jun. 2021;

WATTHIER, M.; SCHWENGBER, J.E.; FONSECA, F.D.; SILVA, M.A.S. Húmus de minhoca e casca de arroz carbonizada como substratos para produção de mudas de alface. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 5, p. 2065-2071, 2019. <https://doi.org/10.34115/basrv3n5-011>.

ZHOU, J.; WANG, J.Z.; LI, P.P. Photosynthetic characteristics and growth performance of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different light/dark cycles in mini plant factories. **Photosynthetica**, v. 58, n. 3, p. 740-747, 2020. <https://doi.org/10.32615/ps.2020.013>.

ANEXOS

Anexo 1. Estufa de circulação forçada de ar, IFAL campus Maragogi – AL.



Anexo 2. Implantação do experimento em casa de vegetação.



Anexo 3. Acompanhamento do experimento em casa de vegetação.



Anexo 4. Implantação e acompanhamento do experimento em nível de campo.



Stability and adaptability of lettuce cultivars on different substrates

Artigo submetido e aprovado para publicação no Periódico Comunicata Scientiae

Stability and adaptability of lettuce cultivars on different substrates

Abstract

Lettuce is a leafy species cultivated in different regions of the world. During the seedling production process, the choice of the substrate is one of the most important steps. Considering diversity of type and price, it is common to produce alternative substrates using inputs with potential to cause environmental impacts. Sludge is a waste from water treatment plants, which has agricultural potential. This research aimed to estimate the stability and adaptability of five lettuce cultivars under different substrate compositions in the early stages of growth and yield. Two experiments were carried out in 2021: 1) in greenhouse, in which five cultivars ('Veneranda', 'Camila', 'Elba', 'Vitória Verdinha', 'Diva'), three substrates ('Vida Verde', Bioplant 434, Bioplant 401) and three sludge doses (0, 20, 40%) were tested on the seedling quality index (SQI); 2) at field level, the yield of seedlings produced in the 1st stage was evaluated. From a double-entry table (matrix M), consisting of five cultivars and nine environments (combination of 3 substrates x 3 sludge doses), deviance analysis, WAASB and ASV stability indexes, biplots of the AMMI method and BLUPs were applied. Significant GE interaction identified cultivars adapted to specific substrates. 'Camila' cultivar was stable in terms of SQI and yield; 'Diva' was the most unstable, but with specific adaptation to five substrate for SQI and three for yield. The addition of 40% of sludge reduced the SQI; however, it did not influence the yield when associated with 'Vida Verde' and Bioplant 434, being indicated for production of lettuce.

Keywords: WTP sludge, mixed models, WAASB, AMMI, BLUP.

Introduction

The genus *Lactuca* spp. (Asteraceae) has, approximately, 100 species that stands out for its edible leaves, such as lettuce (*Lactuca sativa* L.), which has its origins in Asia (Vries, 1997). It is a short-cycle herbaceous species that can be cultivated in protected environments or at field level. It has C₃ photosynthetic metabolism (Zhou et al., 2020), in which the ideal culture temperature varies between 15 and 18°C (Brunini et al., 1976). However, due to the presence of thermotolerant genes (Wei et al., 2021), it was possible to select resistant genotypes (Nascimento et al., 2012), making its cultivation viable almost all over the world.

After considering the genetic characteristics of the cultivar and seed quality, the choice of the substrate is the main step, as it is the input that is directly linked to the final quality of seedlings, with effects on commercial yield (Oliveira & Panno, 2011). The substrate must be pathogen-free and have chemical and physical composition, capable of providing water, air and nutrients that enable rapid germination/emergence and seedling development (Salvador et al., 2013).

In Brazil, there is a variety of substrates available on the market, following the specifications established by Normative Instruction No. 5/2016 of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. The differences observed are in composition, which involves the use of vegetable products (coconut fiber, rice husk, pine, peat), organic products (manure, organic compounds, earthworm

humus), vermiculite, addition of synthetic fertilizers and growth-promoting microorganisms (Guto & Silva, 2020).

Substrate is an important factor that directly impacts production costs, along with freight. For this reason, the development of alternative substrates using agro-industrial residues present in the region is not uncommon (Correa et al., 2019, Zuffo et al., 2020). This practice, in addition to reducing costs, transforms disposable and polluting materials into value-added co-products (Teodoro & Pereira, 2021), preserves natural resources, becoming an ecologically correct activity, by mitigating environmental damage, in addition to increasing the useful life of landfills.

In water treatment plants (WTP), sludge is obtained as waste, classified as Class IIA, non-inert, with biodegradability, combustibility or water solubility properties (ABNT, 2004). According to Gonçalves et al. (2017), WTP sludge is mostly composed of inorganic fractions (clay, silt and fine sand), as well as organic material and microorganisms, often from the siltation of rivers. These characteristics enable its use as a component in agricultural studies.

Some studies have shown that sludge has potential in the composition of substrates, such as that developed by Cunha et al. (2020), in the production of eucalyptus seedlings, who observed that the addition of up to 45% of WTP sludge incorporated into the soil and sand contributed to seedling germination and growth. Brito et al. (2021) observed that the composition of 75% WTP sludge and 25% commercial substrate promoted higher quality indexes of favela seedlings (*Cnidocolus quercifolius* Pohl.). The different compositions of

substrates may promote different effects on seedling germination and development, depending on the species and cultivar.

In plant breeding, phenotype is a function of genotype, environment and the genotype x environment (GE) interaction, considering the environment (biotic, abiotic and management practices) factors capable of influencing the phenotypic behavior (Gull et al., 2019). In this concept, it is understood that substrates are environments that can influence, positively or negatively, seedling development. Therefore, selecting genotypes that express maximum genetic potential in a specific substrate will bring more efficiency to the production process. The analysis of stability and adaptability allows us identifying this relationship, exploring the GE interaction.

There are several biometric models that are used to estimate adaptability and stability (non-parametric, uni and multivariate). Computational evolution made it possible for complex mathematical models to be incorporated into methods, such as the WAASB index, developed by Olivoto et al. (2019). Based on mixed models, this index combines the characteristics of the additive model and the multiplicative interaction of the AMMI method with the predictions of the BLUP method. Intuitive interpretation in biplots has become a popular tool, allowing the identification of genotypes that show consistent behavior in multi-environments (Yan et al., 2007).

Despite being presented as a new method, the WAASB index has been efficiently adopted in different species, such as soybean (Nataraj et al., 2021), barley (Verma & Singh, 2021) and wheat (Aboughadareh et al., 2021). However, in leafy species, such as lettuce, there are no works published in

national and international literature. For this reason, this research aimed to estimate stability and adaptability parameters of five lettuce cultivars under different substrate compositions at the early stages of growth and yield.

Material and Methods

The research was carried out in Arapiraca, Alagoas – Brazil, tropical savanna climate, 'Aw' classification according to the Köppen classification (Climate-Data, 2022), and was divided into two stages: a) greenhouse, aiming to evaluate the plants at the initial stages; b) production field, aiming to evaluate the point of harvest/marketing.

In the 1st stage, seedlings were produced in greenhouse for commercial seedling production, chapel model, covered with low density polyethylene film, located in the district of Flexeiras, Arapiraca/AL, with geographic coordinates -9.799041 S and -36.604969 W, at 229 m a.s.l., between February and March 2021. A digital thermo-hygrometer equipment, model FEPRO-MUT600S, was used to monitor variations in temperature and relative humidity inside the greenhouse for 14 days after sowing (Figure 1).

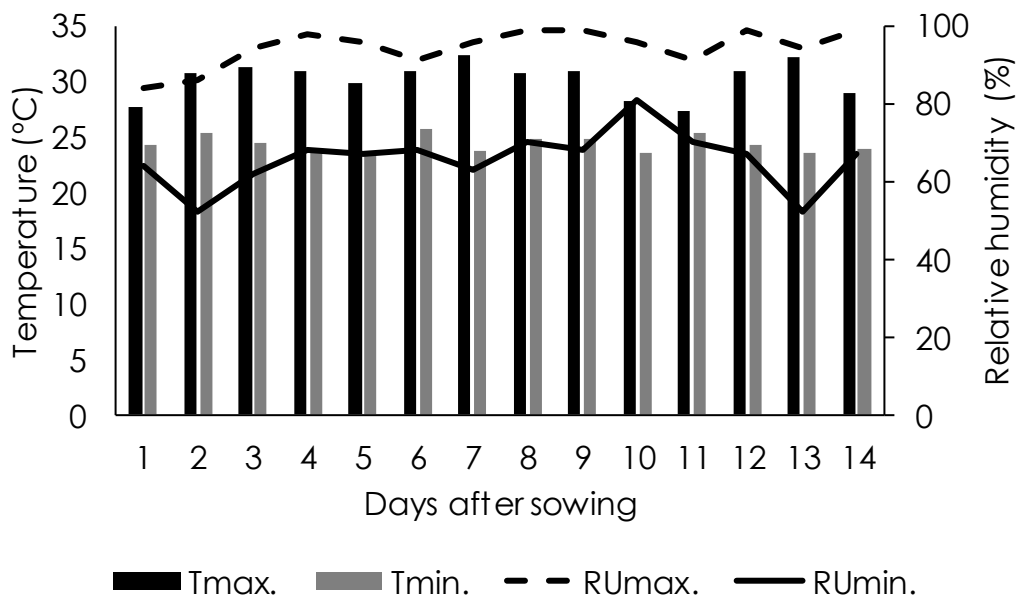


Figure 1. Temperature (T) and relative humidity (RU) variation in the greenhouse.

From the 15th day onwards, seedlings with three leaves underwent the adaptation process, outside the greenhouse (full sun). At 25 days after sowing, they were able to transplant with six leaves. The average temperature, minimum and maximum, relative humidity and precipitation during this period (10 days) were 22.7 and 34.8°C, 67.7% and 45.8 mm, respectively.

The experiment was installed in a completely randomized design, 5 x 3 x 3 factorial arrangement, with five lettuce cultivars ('Veneranda', 'Camila', 'Elba', 'Vitória Verdinha' and 'Diva'), three commercial substrates for vegetable (Vida Verde®, Bioplant 434® and Bioplant 401®) and three sludge levels (0, 20 and 40 of WTP sludge replacement by commercial substrate), with four replicates. The plot was composed of 10 seedlings, considering the eight central ones as useful area.

Lettuce cultivars were selected considering their wide acceptability by producers and consumers and have the following characteristics: 'Veneranda', crisper type, leaf edges chopped green in color; 'Camila', large light green leaves; 'Elba', crisper type, large light-green leaves; 'Vitória Verdinha', smooth type, without head formation, intense green color; 'Diva', crisphead type, intense green color.

The technical information, provided by substrates manufacturers, were: 'Vida Verde', composed of rice husk and pine, coconut fiber, pH 5.8, super simple, potassium nitrate, 14-16-18 formula (NPK), Yoorin Master, electrical conductivity 0.5 dS m⁻¹, water holding capacity of 150%; Bioplant 434, consisting of Sphagnum peat, vermiculite, coconut fiber, rice husk, pH 6.5, limestone, 11-52-00 formula (NPK), electrical conductivity of 0.8 dS m⁻¹, water holding capacity of 100%; Bioplant 401, varies only in relation to the 14-16-18 formula (NPK).

The sludge from the 'São Francisco River' water treatment plant was obtained from company 'Agreste Saneamento S/A' in January 2021. It was then dehydrated in an oven at 65°C until reaching constant mass and, subsequently crushed in a disk mill (Botini®). Samples were analyzed following the NBR 10004:2004 standard, in which the concentrations of toxic organic and inorganic residues are absent or below the maximum levels allowed, without risk to human health.

From a sample composed of WTP sludge, formed by 10 simple samples, chemical analyses were carried out, indicating: pH (water), 6.1; P (Mehlich), 1.0 mg dm⁻³; K and Na (Mehlich), Ca, Mg and Al (1N KCl), H (calcium acetate pH

7.0), 0.25, 0.25, 4.0, 2.9, 0.0, 2.7 cmol_c dm⁻³, respectively. The total organic matter content was 13.1%. The Fe, Cu, Zn and Mn (Mehlich) contents were 376.0, 0.90, 1.80 and 302.1 mg dm⁻³, respectively. Physical analysis showed that the sludge is classified as clayey loam, with the following constitution: coarse sand, fine sand, silt and clay of 214, 114, 364 and 328 g kg⁻¹, respectively.

Seedlings were produced in 200-cell trays, with volume of 18 cm³ each, manually placing one pelleted seed per cell. In all treatments, Carolina Soil® commercial substrate was used only to cover seeds, as it presents higher vermiculite content, greater moisture retention and allows the same emergence condition. Irrigation was carried out via microsprinkler, using the Gyronet LR Netafim system, flow rate of 70 L h⁻¹, with application of water depth of 1.6 mm for approximately 40 minutes. These management practices are adopted in the region at the commercial production level.

Twenty-five days after sowing, using eight plants from the useful area of the plot, the average seedling height (SH, mm) was evaluated, measured from the root collar to the apex of the seedling, with the aid of a ruler; stem diameter (SD, mm), measured on the seedling collar with the aid of a caliper; shoot mass (SM, g) was measured with the aid of digital analytical scale; root mass (RM, g), obtained after separating the root from the substrate, in running water; total mass (TM, g), obtained by summing up the shoot and root masses. Using these data, the seedling quality index (SQI) proposed by Dickson et al. (1960) was calculated, where:

$$SQI = \frac{TM}{\frac{SH}{SD} \cdot \frac{SM}{RM}}$$

Seedlings produced in the 1st stage were taken to the field (2nd stage) on a private property located in the district of Batingas, Arapiraca/AL, geographic coordinates -9°79'90.4" S and -36°60'49.6" W, 247 m a.s.l., between March and April 2021. The experiment was installed in a randomized block design, 5 x 3 x 3 factorial scheme, with five ('Veneranda', 'Camila', 'Elba', 'Vitória Verdinha' and 'Diva'), three commercial substrates for vegetable (Vida Verde®, Bioplant 434® and Bioplant 401®) and three sludge levels (0, 20 and 40 of WTP sludge) and three blocks (one block received shade in the late afternoon. The other two, full sun during the day). The plot consisted of nine plants, five of which used as useful area (Lúcio et al., 2016).

Soil samples at depth of 0 – 20 cm were collected and sent to the laboratory for chemical analysis, with the following results: pH (water), 7.3; P (Mehlich), 120 mg dm⁻³; K and Na (Mehlich), Ca, Mg and Al (1N KCl), H (calcium acetate pH 7.0), 0.32, 0.87, 3.6, 3.0, 0.0, 0, 3 cmol_c dm⁻³, respectively. The total organic matter content was 1.37%. Fe, Cu, Zn and Mn (Mehlich) contents were 120.8, 0.45, 21.24 and 57.77 mg dm⁻³, respectively. The fertilizer used consisted of 80 kg of cattle manure + 60 kg of goat manure + 10 kg of the 16-00-20 NPK formula + 10 kg of castor bean cake (*Ricinus communis* L.), using 30 g plant⁻¹ in the foundation fertilization, according to Cavalcanti (2008).

Beds had 1.0 m in width, with spacing of 0.30 x 0.30 m between plants and between rows. Soil preparation, from turning over and homogenizing, was manually performed. Fifteen days after planting, manual weeding was performed. The irrigation system, installed on site, was in the microsprinkler mode. However, it was not used due to the rainfall regularity during the

experimental period, totaling 94 mm. During the experimental period (35 days), average, minimum and maximum temperatures were 21.7 and 29.8°C, respectively.

All plants in the useful area of the plot were quantified, obtaining the stand, weighing shoots (excluding damaged, diseased or defective leaves), with the aid of digital scale (kg) and the quantified yield (stand x weight; Mg ha⁻¹).

Data obtained were arranged in a double-entry M matrix of $g \times e$ dimension, with 'g' genotypes and 'e' environments, in which each of the nine environments was obtained from the combination of substrates and WTP sludge levels. In the data analysis, the mixed linear model ($y = X\beta + Zu + \varepsilon$) was adopted, where: 'y' is a vector of response variable 'y'; β is a vector of unknown fixed effects β ; 'u' is a vector of random effects 'u'; 'X' is a design matrix relating 'y' to β ; 'Z' is an $n \times m$ design matrix relating 'y' to 'u'; and ' ε ' is a vector of random errors ' ε '. The deviance analysis (Anadev) was carried out, in which effects were evaluated by the LRT test (likelihood-ratio test) at 5% probability by the X^2 test. Both, genotype and environments were assumed to be random (Model 3), using the argument 'random == "all"' of the function `waasb()`. The variance components were estimated by function "`vcomp`".

In the stability analysis, the WAASB index, described by Olivoto et al. (2019), and the ASV index (AMMI stability value), described by Purchase et al. (2000), were adopted, in which the lower the index, the more stable the genotype. Considering that the WAASB method is based on the decomposition of singular values (DSV), applied to the GE interaction matrix, obtained by a

linear-mixed effect model, it was possible to obtain the biplots Y x WAASB and AMMI2 (PC1 x PC2). Cultivar means were predicted by the BLUP method. All analyses were performed in the R software (R Core Team, 2021), from the *metan* package, version 1.16.0 (Olivoto et al., 2020).

Results and Discussion

Significant interaction ($P < 0.01$) was observed between cultivars and growing environments, both for the seedling quality index (SQI) and for the commercial lettuce yield (Table 1), demonstrating the differential performance of cultivars in the different substrate compositions. Therefore, the use of methods that seek to increase efficiency in recommending the cultivars that best interact with the substrate composition is justified.

Table 1. Deviance analysis (Anadev) and variance components (VC; %) for the seedling quality index (SQI) and commercial yield of five lettuce cultivars and nine environments.

Effect	SQI			Yield		
	Deviance	LRT	VC (%)	Deviance	LRT	VC (%)
Cultivar (Cult)	183.6	1.38ns	10.1	463.2	5.24**	11.9
Environment (Env)	175.4	1.79**	--	432.6	1.58ns	12.7
Cult x Env	145.1	7.84**	67.6	446.2	15.17**	22.4
Block/Env	--	--	--	--	--	20.3

Residual	--	--	22.3	--	--	32.7
----------	----	----	------	----	----	------

** and ns: significant at 1% and not significant at 5% by the X² test.

It was observed that the genetic factor contributed with 10.1 and 11.9% of the phenotypic variation, for the SQI and yield, respectively (Table 1). On the other hand, the G x E interaction and the residual variance, respectively, were the most important variations, which most contributed to the phenotypic variation, evidencing the influence of the substrate compositions on the cultivars. Meier et al. (2021) started that greater residual variation is associated to the components of the random effects that are considered in the prediction of the response variable.

The SQI ranged from 0.19 for 'Veneranda' cultivar, indicating less developed seedlings, to 0.29 for 'Diva' cultivar, more developed and above average (Table 2). Both indexes (WAASB and ASV) indicated the 'Camila' cultivar as the most stable, reflecting predictable behavior in all environments (Souza et al., 2020). According to Oliveira et al. (2016), stable genotypes contribute little to GE interaction. On the other hand, the 'Diva' cultivar had the highest values, being the most unstable.

Table 2. Mean and stability indices of five lettuce cultivars for the seedling quality index (SQI) and for yield.

Cultivar	Stability indexes	
	SQI	Yield (Mg ha ⁻¹)

	Mean	ASV	WAASB	Mean	ASV	WAASB
'Veneranda'	0.19	0.748	0.185	5.26	1.891	0.425
'Camila'	0.22	0.267	0.078	4.50	1.347	0.360
'Elba'	0.22	1.197	0.235	5.41	1.431	0.578
'Vitória			0.095	5.76	0.192	0.501
Verdinha'	0.21	0.327				
'Diva'	0.29	1.724	0.320	6.04	0.992	0.971
Mean	0.23	0.852	0.183	5.39	1.171	0.567

When taken to the field, the commercial yield ranged from 4.50 to 6.04 Mg ha⁻¹ for 'Camila' and 'Diva' cultivars, respectively. 'Vitória Verdinha' and 'Veneranda' cultivars were classified as stable and unstable, respectively, using the ASV method. By the WAASB index, 'Camila' and 'Diva', respectively. The latter is considered more accurate, as it considers all significant PCs in the AMMI analysis, different from the former, which considers only PC1 and PC2.

Considering that the WAASB method uses the multiplicative effects of the principal component analysis to unfold the GE interaction, it was observed, for SQI and yield, that the first two accumulated 85.9 and 84.1% of the total variation, respectively. This information indicates low existence of uncontrolled factors (noise), increasing the quality of estimates.

The composition of substrates 1, 2 and 8 promoted higher SQI than the general average (Figure 2a). This biplot allows visualizing the stability and adaptability, in which the 'Diva' cultivar had the highest SQI when specifically associated with substrate 4 (quadrant II), specific adaptability (Souza et al.,

2020); however, it was the most unstable (long vector and large angle in relation to the abscissa), according to Yan et al. (2007). As it is a heat tolerant cultivar, mechanisms responsible for higher energy expenditure promote greater phosphorus demand, so the higher P concentration in this substrate (52%) can explain its performance. Both, 'Diva' cultivar and environment 4 (Bioplant 434 + 0% sludge), were those that most contributed to GE interaction (Figure 2a).

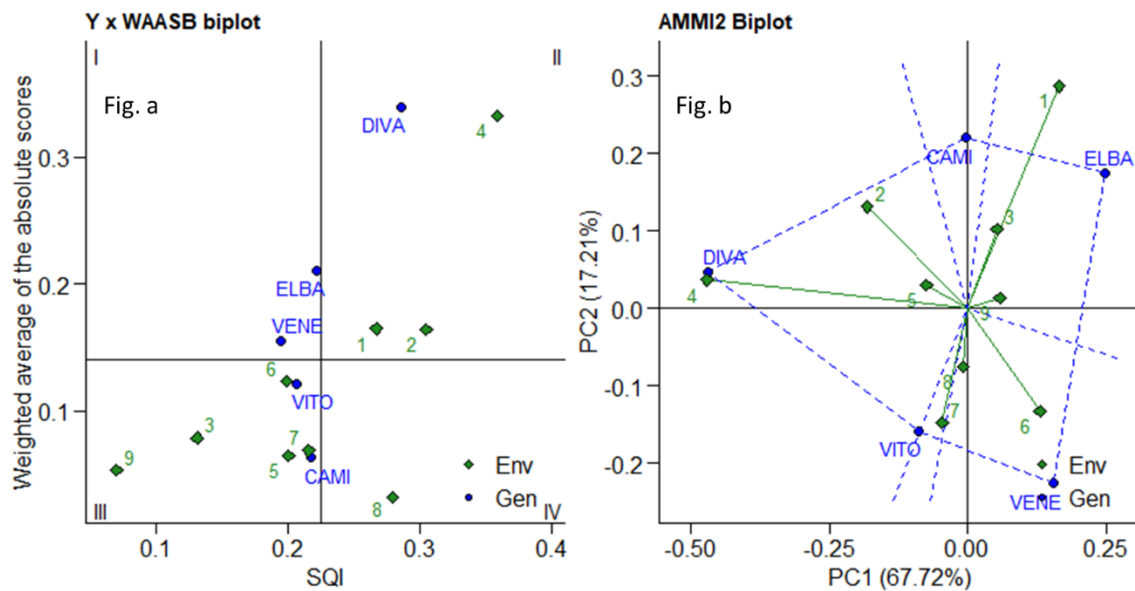


Figure 2. Biplot Y x WAASB (a) and AMMI2 (b) for the predicted seedling quality index (SQI) of five lettuce cultivars in nine environments. Substrate + WTP sludge ratio: 1) 'Vida Verde' + 0% sludge; 2) 'Vida Verde' + 20% sludge; 3) 'Vida Verde' + 4 0% sludge; 4) Bioplant 434 + 0% sludge; 5) Bioplant 434 + 20% sludge; 6) Bioplant 434 + 40% sludge; 7) Bioplant 401 + 0% sludge; 8) Bioplant 401 + 20% sludge; 9) Bioplant 401 + 50% sludge. VENE: 'Veneranda'; CAMI: 'Camila'; VITO: 'Vitória Verdinha'.

Cultivars that are close to the origin, 'Veneranda' and 'Elba', tend to show general adaptation (Figure 2a) which, according to Duarte & Vencovsky (1999), tend to have sub-optimal performance, which is confirmed in this research (Table 2). Environments 5 and 7, with short vectors, close to the origin (low scores), provide little information about the genotype and should not be used to discriminate the best cultivars (Yan et al., 2007). Environment 9 promoted lowest SQI values, probably due to its physical composition, consisting of 80.1% of fine particles and 13.1% of organic matter. According to Ludwig et al. (2014), substrates that present a large percentage of small particles, when associated with small containers, promote less aeration, due to greater microporosity, with reflections on poor drainage and seedling development.

The effects of the GE interaction, from PC1 and PC2 (Figure 2b), showed the relationship of each cultivar with the specific substrate, as well as the formation of five mega environments, such as substrates 2, 4, 5, and 1, 3, 9, which were grouped together, being, therefore, similar to each other. Environment 9 (Bioplant 401 + 40% sludge), close to the origin, promoted low growth conditions for all cultivars. The negative effect of the 40% sludge dose can be observed in the negative correlation between substrates 4 and 6 which, being the same input (Bioplant 434), promoted unfavorable conditions for the growth of the 'Diva' cultivar.

In general, environment 4 (Bioplant 434 + 0% sludge) promoted the best conditions for all cultivars, reflecting in SQI above the average, highlighting the

'Diva' cultivar, not only in this environment, but also in 2, 3, 5, 7 and 8 environments; 'Elba', in environments 1 and 9; and 'Veneranda', in environment 6 (Figure 3). On the other hand, environment 9 (Bioplant 401 + 40% sludge) promoted the lowest rates, followed by environments 2, 5 and 6.

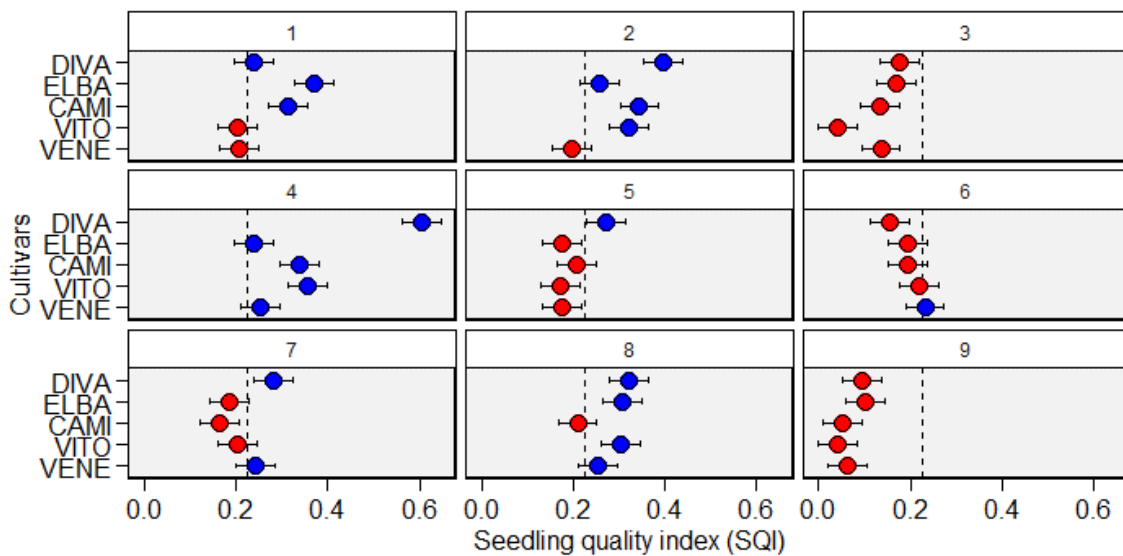


Figure 3. Predicted seedling quality index of five lettuce cultivars in each environment. Blue and red indicate cultivars that had BLUPs above and below the average, respectively. Horizontal error bar represents 95% confidence interval by the t test. Substrate + WTP sludge ratio: 1) 'Vida Verde' + 0% sludge; 2) 'Vida Verde' + 20% sludge; 3) 'Vida Verde' + 40% sludge; 4) Bioplant 434 + 0% sludge; 5) Bioplant 434 + 20% sludge; 6) Bioplant 434 + 40% sludge; 7) Bioplant 401 + 0% sludge; 8) Bioplant 401 + 20% sludge; 9) Bioplant 401 + 50% sludge. VENE: 'Veneranda'; CAMI: 'Camila'; VITO: 'Vitória Verdinha'.

'Diva' and 'Vitória Verdinha' cultivars had above average yield (Figure 4a). However, unlike the SQI, at field level, the 'Vida Verde' substrate (0 and 40% sludge) promoted the most favorable environment for the development

of the 'Diva' (specific adaptation) cultivar seedlings, probably due to the contribution of super simple, potassium nitrate and NPK (14-16-18), present in this substrate. Likewise, 'Vitória Verdinha' showed specific adaptation to substrate 4 (Bioplant 434 +0% sludge).

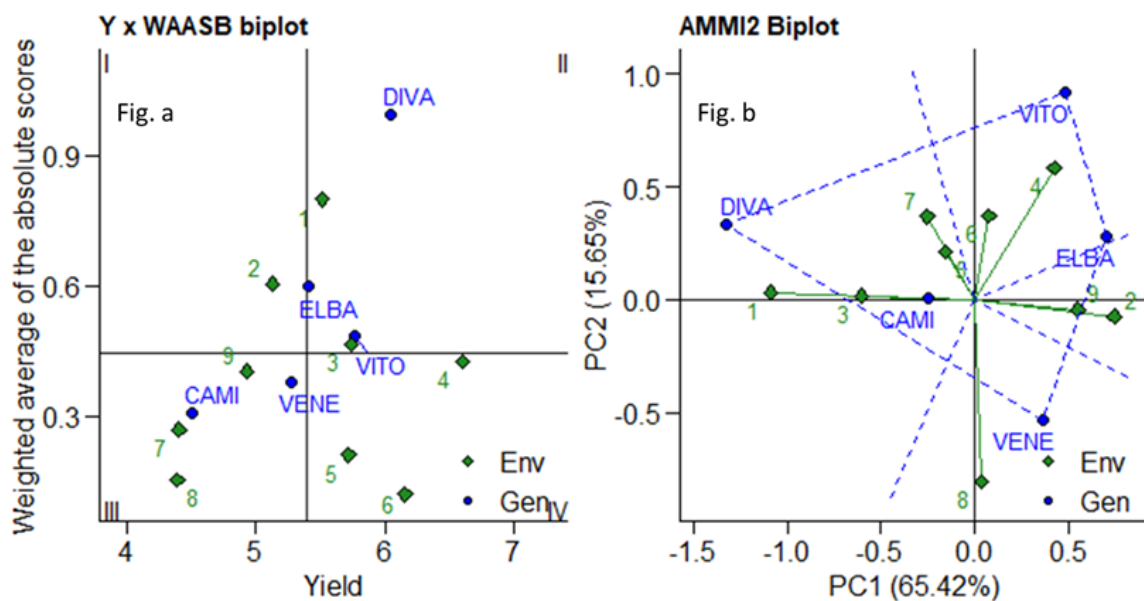


Figure 4. Biplot Y x WAASB (a) and AMMI2 (b) for yield of five lettuce cultivars in nine environments. Substrate + WTP sludge ratio: 1) 'Vida Verde' + 0% sludge; 2) 'Vida Verde' + 20% sludge; 3) 'Vida Verde' + 40% sludge; 4) Bioplant 434 + 0% sludge; 5) Bioplant 434 + 20% sludge; 6) Bioplant 434 + 40% sludge; 7) Bioplant 401 + 0% sludge; 8) Bioplant 401 + 20% sludge; 9) Bioplant 401 + 50% sludge. VENE: 'Veneranda'; CAMI: 'Camila'; VITO: 'Vitória Verdinha'.

Environments 5 and 6 (Bioplant 434 + 20 and 40% sludge) had the smallest WAASB index (quadrant IV), and were considered those that promote more stability, with yields close to the average, with little contribution to GE

interaction (Oliveira et al., 2016). The 1 x 2 and 1 x 9 substrates showed negative correlation, indicating an antagonistic effect on cultivars; 4 x 6, positive, indicating beneficial effect, mainly on the 'Vitória Verdinha' cultivar (Figure 3b). Environments 1 and 2, with long vectors and large angles to the horizontal axis, enabled identifying unstable genotypes (Yan et al., 2007), such as 'Diva' and 'Elba' cultivars (Table 2).

In general, the Bioplant 434 substrate with up to 40% sludge promoted above-average predicted yield (BLUP), while the opposite occurred for the Bioplant 401 substrate. 'Vida Verde' presented intermediate performance in relation to the sludge doses. 'Camila' cultivar presented below average performance in all environments, probably due to the semiarid climate of the region.

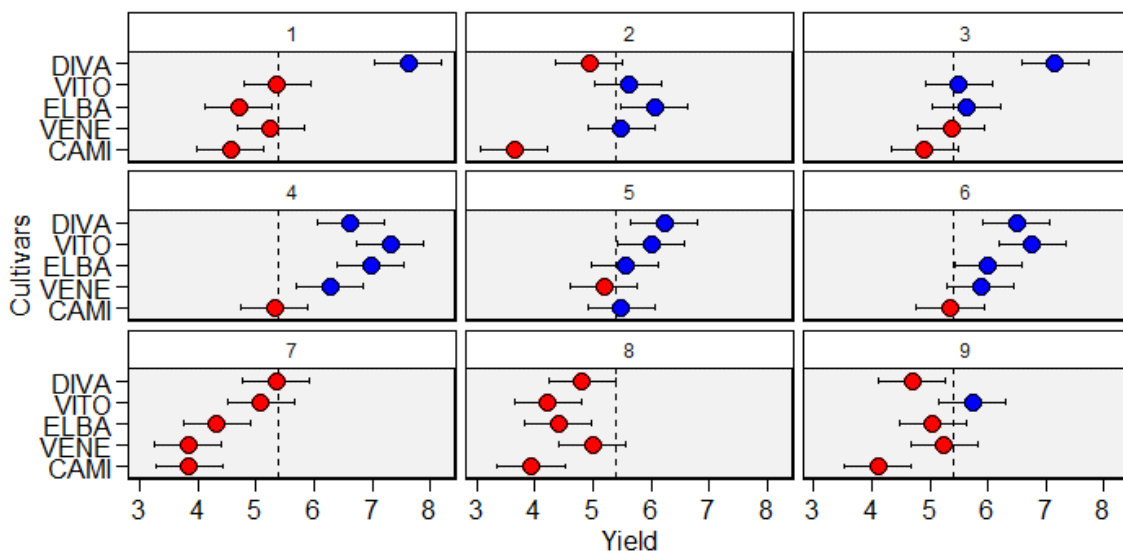


Figure 4. Predicted commercial yield of five lettuce cultivars in each environment. Blue and red indicate cultivars with BLUPs above and below average, respectively. Horizontal error bar represents 95% confidence interval by the t test. Environments (Substrate + WTP sludge ratio): 1) 'Vida Verde' + 0%

sludge; 2); 'Vida Verde' + 20% sludge; 3) 'Vida Verde' + 40% sludge; 4) Bioplant 434 + 0% sludge; 5) Bioplant 434 + 20% sludge; 6) Bioplant 434 + 40% sludge; 7) Bioplant 401 + 0% sludge; 8) Bioplant 401 + 20% sludge; 9) Bioplant 401 + 50% sludge. VENE: 'Veneranda'; CAMI: 'Camila'; VITO: 'Vitória Verdinha'.

In the initial evaluation, in the seedling stage, the addition of 40% of WTP sludge reduced the characters linked to the seedling quality index. However, at field level, it was observed that seedlings resumed vegetative growth, probably due to the residual effect of nutrients present in substrates. The high organic matter content present in the WTP sludge, associated with the fine particle content, may have increased water retention in the rhizosphere, reflecting better development and productivity, as observed by Nagase & Dunnett (2011).

Conclusions

There is no universal commercial substrate that can be used for the production of lettuce seedlings.

'Vida Verde' (0 and 20% sludge), Bioplant 434 (0% sludge) and Bioplant 401 (20% sludge) substrates promote better seedling quality index, highlighting the 'Diva' cultivar.

The commercial yield of lettuce was higher using Bioplant 434 and 'Vida Verde' with up to 40% of sludge, highlighting 'Diva' and 'Vitória Verdinha' cultivars.

References

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. 2004. *NBR 10.004: resíduos sólidos – classificação*. ABNT, Rio de Janeiro, Brasil. 77 p.

Aboughadareh, A.P., Abad, H.N.C., Mehrvar, M.R., Asadi, A., Amini, A. 2021. MGIDI and WAASB indices: The useful approaches for selection of salt-tolerant barley genotype at the early growth and maturity stages. *Research Square* 1: 1-36.

Brito, S.A., Silva, M.J., Pereira, A.R. 2021. Utilização do lodo da ETA de Xique-Xique, BA: produção de mudas de *Cnidocolus quercifolius* originária da Caatinga. *Revista Sertão Sustentável* 3: 1-13.

Brunini, O., Lisboa, R.S., Bernardi, J.B., Fornasier, J.B., Pedro Júnior, M.J. 1976. Temperatura-base para alface cultivar "white boston", em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia* 35: 213-219.

Cavalcanti, F.J.A. 2008. *Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação*. Instituto Agrônomo de Pernambuco, Recife, Brasil. 212 p.

Climate-Data. *Clima Alagoas*. 2022. Available at: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/alagoas-214>. <Accessed on 22 Mar. 2022>.

Correa, B.A., Pereira, M.C., Martins, J.S., Ribeiro, R.C., Silva, E.M. 2019. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável* 9: 97-101.

Cunha, G.D., Stachiw, R., Quadros, K.M. 2020. Lodo de estação de tratamento de água como componente para germinação de mudas florestais. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* 11: 40-53.

Dickson, A., Leaf, A.L., Hosner, J.F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36:10-13.

Duarte, J.B., Vencovsky, R. 1999. *Introdução genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI*. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, Brasil. 61 p.

Gonçalves, F., Souza, C.H.U., Tahita, F.S., Fernandes, F., Teixeira, R.S. 2017. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. *Revista DAE* 65: 5-14.

Gull, A., Lone, A.A., Wani, N.U.I. 2019. Biotic and abiotic stresses in plants. In: Oliveira, A.B. (Ed.). *Biotic and abiotic stresses in plants*. IntechOpen, London, UK. p. 3-8.

Guto, R., Silva, E.S. 2018. Produção de mudas de tomateiro, pimenteiro e pepineiro. In: Brandão Filho, J.U.T., Freitas, P.S.L., Berian, L.O.S., Goto, R. (Ed.). *Hortaliças-fruto*. Eduem, Maringá, Brasil. p. 387-400.

Lúcio, A.D., Santos, D., Cargnelutti Filho, A., Schabbarum, D.E. 2016. Método de Papadakis e tamanho de parcela em experimentos com a cultura da alface. *Horticultura Brasileira* 34: 66-73.

Ludwig, F., Guerrero, A.C., Fernandes, D.M. 2014. Caracterização física e química de substratos formulados com casca de pinus e terra de subsolo. *Cultivando o Saber* 7: 152-162.

Meier, C., Marchioro, V.S., Meira, D., Olivoto, T., Klein, L.A. 2021. Genetic parameters and multiple-trait selection in wheat genotypes. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 51: e67996.

Nagase, A., Dunnett, N. 2011. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning* 103: 230-236.

Nascimento, W.M., Croda, M.D., Lopes, A.C.A. 2012. Produção de sementes, qualidade fisiológica e identificação de genótipos de alface termotolerantes. *Revista Brasileira de Sementes* 34: 510-517.

Nataraj, V.N., Bhartiya, A., Singh, C.P., Devi, H.N., Deshmukh, M.P. 2021. WAASB-based stability analysis and simultaneous selection for grain yield and early maturity in soybean. *Agronomy Journal* 113: 3089-3099.

Oliveira, R.C., Panno, B.A. 2011. Formação de mudas de repolho em substratos a base de húmus, vermiculita e fertilizantes. *Cultivando o Saber* 4: 105-111.

Oliveira, V.M., Hamawaki, O.T., Nogueira, A.O., Sousa, L.B., Santos, F.M., Hamawaki, R.L. 2016. Selection for wide adaptability and high phenotypic stability of Brazilian soybean genotypes. *Genetics and Molecular Research* 15: gmr.15017843.

Olivoto, T., Lúcio, A.D.C., Silva, J.A.G., Marchioro, V.S., Souza, V.Q., Jost, E. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal* 3: 2949-2960.

Olivoto, T., Lúcio, A.D.C. 2020. metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution* 11: 783-789.

Purchase, J.L., Hatting, H., Deventer, C.S.V. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil* 17: 101-107.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing: R Foundation for Statistical Computing (4.1.1). 2021. Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/>. <Accessed on 10 Sep. 2021>.

Salvador, J.O., Moreira, A., Marcante, N.C. 2013. Waste use as substrate to yield guava seedlings. *Semina* 34: 2793-2802.

Souza, M.H., Pereira Júnior, J.D., Stecklig, S.M., Mencialha, J., Dias, F.S., Rocha, J.R.A. S.C., Carneiro, P.C.S., Carneiro, J.E.S. 2020. Adaptability and stability analyses of plants using random regression models. *Plos One* 15: e0233200.

Teodoro, M.S., Pereira, A.M.L. 2021. Use of fish waste in the production of organic compounds for lettuce seedling production. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 26: 441-449.

Verma, A., Singh, G. 2021. Stability, adaptability analysis of wheat genotypes by AMMI with BLUP for restricted irrigated multi location trials in Peninsular zone of India. *Agricultural Sciences* 12: 198-212.

Vries, I.M. 1977. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44: 156-174.

Wei, S., Zhang, L., Huo, G., Ge, G., Luo, L., Yang, Q., Yang, X. 2021. Comparative transcriptomics and metabolomics analyses provide insights into thermal resistance in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae* 289: 110423.

Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S., Cornelius, P.L. 2007. GGE Biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science* 47: 643-653.

Zhou, J., Wang, J.Z., Hang, T., Li, P.P. 2020. Photosynthetic characteristics and growth performance of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different light/dark cycles in mini plant factories. *Photosynthetica* 58: 740-747.

Zuffo, A.M., Aguilera, J.G., Lima, R.E., Alves, C.Z. 2020. Substrates for the production of lettuce seedlings. *European Journal of Horticultural Science* 85: 372-379.