

LACTUCA SATIVA COMO BIOINDICADOR DA CONTAMINAÇÃO POR ALUMÍNIO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Marcos Pereira de Araújo

marcoseng.unipe@gmail.com
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil.

Soraya Giovanetti El-Deir

sorayageldeir@gmail.com
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil.

Rosângela Gomes Tavares

rosangelagtavares@gmail.com
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil.

RESUMO

Destaques: O lodo de Estação de Tratamento de Água é um resíduo constituído por metais, como o alumínio, provenientes dos produtos coagulantes utilizados no processo. O alumínio pode ser responsável por impactos ambientais que causam sintomas de toxicidade em vegetais, como as hortaliças, sendo também utilizadas como indicadoras da presença deste elemento no ambiente. **Objetivo:** Sendo assim, este estudo buscou analisar as possibilidades da utilização da alface, *Lactuca sativa L.* como bioindicador da contaminação ambiental por alumínio proveniente do lodo gerado em Estação de Tratamento de Água. **Desenho/Metodologia/Abordagem:** Para isso, foi realizada uma análise ponderada que considerou parâmetros qualiquantitativos para a determinação da bioindicação ideal, na qual foram atribuídos pesos e notas aos aspectos relacionados às características da alface, comparando o somatório a valores apresentados em estudos que utilizaram a mesma metodologia. **Resultados:** Na ponderação realizada, observou-se que o somatório das notas apresentadas em relação aos parâmetros de bioindicação ideal para a alface foi bastante satisfatório, com valores aproximados e superiores aos observados em outras pesquisas. **Implicações práticas:** A partir disso, foi possível analisar que a alface apresenta um potencial de uso na bioindicação da qualidade ambiental, principalmente para os impactos ambientais por metais, como o alumínio, presentes no lodo de Estação de Tratamento de Água. **Originalidade/valor:** Sendo assim, este estudo contribuiu para a compreensão em relação ao bom desempenho da alface nos estudos de identificação da bioindicação ideal e da caracterização da espécie como um bom bioindicador da qualidade ambiental, assim como para o fato de que os bioindicadores são elementos essenciais para a avaliação dos níveis de tolerância relacionados a possíveis efeitos provenientes da poluição ambiental. **Limitações da investigação:** Presume-se que estudos de campo e análises laboratoriais podem comprovar os aspectos aqui evidenciados, principalmente a capacidade da hortaliça em indicar impactos ambientais por metais presentes no lodo de ETA, nesse caso, o alumínio.

Palavras-chave: Alface; Bioacumulação; Bioindicação; Resíduos de ETA; Fitotoxicidade.

1. INTRODUÇÃO

No processo de remoção das impurezas contidas nas águas naturais captadas para o consumo humano, processo realizado nas Estações de Tratamento de Água (ETA), é necessária a adição de produtos conhecidos como coagulantes que auxiliam e facilitam esse processo (Kamiwada; Andrade; Reis, 2020; Lopes *et al.*, 2020). Os produtos coagulantes mais utilizados, principalmente no Brasil, são formados à base de alumínio e ferro, o que contribui para a formação de um resíduo rico em quantidades desses metais (Bartiko; Julio, 2015; Tavares, 2016; Russo *et al.*, 2020).

O lodo de ETA, assim como é conhecido o resíduo gerado no tratamento de água, caracteriza-se por apresentar propriedades de uma massa densa e viscosa descartada, na maioria das vezes, em corpos hídricos e em terrenos próximos às estações, sem passar por nenhum tipo de tratamento. Além de ser constituído por metais, como alumínio e ferro, o lodo de ETA apresenta compostos orgânicos biodegradáveis e outros compostos inorgânicos (Shahin; *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2020; Mañosa *et al.*, 2020). Nesse contexto, as grandes discussões acerca das questões relacionadas ao descarte final do resíduo surgem dos possíveis impactos que o lodo lançando no ambiente pode causar. Dentre esses impactos, pode-se destacar a indisponibilização do fósforo no solo, caracterizado como um nutriente essencial, principalmente para as culturas agrícolas (Tavares, 2016).

Há alguns anos tem se tornado crescente e, ao mesmo tempo indispensável, a utilização de seres como indicadores biológicos para avaliar o estado e a dinâmica de um ecossistema. Alguns estudos têm demonstrado a importância da utilização de diferentes espécies que podem comprovar e indicar, de maneira clara, possíveis efeitos negativos relacionados à poluição, seja esta hídrica, atmosférica ou do solo (Dube *et al.*, 2018; Ng *et al.*, 2020; Terneus-Jácome *et al.*, 2020).

Nesse sentido, serão apresentadas, neste escrito, algumas discussões sobre a utilização de bioensaios em estudos com resíduos gerados no processo de tratamento de água, assim como alguns impactos da bioacumulação de alumínio para os vegetais e as propriedades que podem conferir à alface um potencial bioindicador da contaminação ambiental por metais, principalmente o alumínio presente nos resíduos de ETA.

Em estudo, Barceló *et al.* (2020) analisaram a utilização de bioensaios no monitoramento da diminuição de toxicidade associada a poluentes na água tratada. Segundo os autores, os bioensaios baseiam-se na medição da resposta de organismos ou linhas celulares expostas a diferentes tipos de classes de contaminantes e têm sido utilizados para estabelecer os níveis de toxicidade de contaminantes alvos,

individualmente ou como misturas. De acordo com os supracitados, geralmente, os organismos de teste usados são microrganismos, pseudomonas, plantas, algas, invertebrados, peixes e linhas celulares. Dentre algumas espécies utilizadas para avaliar a eficiência da remoção de toxicidade em sistemas de tratamento de água, os autores destacaram *Cyprinus carpio*; *Vibrio fischeri*; e *Daphnia magna* como espécies com potencial para a bioindicação ou biomonitoramento.

Ng *et al.* (2020) estudaram o efeito potencial do lodo de estação de tratamento de água como substrato do solo no processo de esverdeamento de uma gramínea. Para isso, os autores realizaram um bioensaio com grama bermuda *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Em uma pesquisa realizada com o objetivo de avaliar a utilização de resíduos (lodo) de ETA na alteração de um solo afetado por atividades de mineração, Alvarenga *et al.* (2018) realizaram bioensaios, buscando verificar os efeitos da alteração causada pelo lodo nas propriedades ecotoxicológicas do solo. De acordo com o estudo, foram utilizados quatro tipos diferentes de bioensaios, cada um com um organismo bioindicador de diferente nível trófico. Foram estruturados os seguintes bioensaios: inibição da luminescência de *Vibrio fischeri*; teste de imobilização aguda de *Daphnia magna*; teste de mortalidade de 24 horas com *Thamnocephalus platyurus*; e inibição do crescimento de 72 horas da microalga verde *Pseudokirchneriella subcapitata*.

Howells *et al.* (2018) realizaram um estudo sobre os efeitos dos resíduos gerados no processo de tratamento de água enquanto meios corretivos do solo. Essa pesquisa buscou compreender o comportamento e os efeitos dos resíduos de ETA quando aplicados ao solo. Para isso, tiveram lugar algumas análises específicas, em que uma consistiu na determinação da influência da incorporação dos resíduos ao solo sobre a sobrevivência, crescimento e reprodução de uma espécie de minhoca (*Eisenia fetida*).

Em um estudo desenvolvido por Dube *et al.* (2018), foram avaliados os efeitos da irrigação com diferentes diluições de água de lodo de ETA. Com isso, procederam-se as análises com duas espécies de vegetação (*Brachiaria decumbens* e *Medicago sativa*), buscando identificar como o processo de irrigação desenvolvido no estudo poderia impactar na produção, no desenvolvimento e na absorção dessas espécies, bem como nas propriedades dos solos de cultivo.

A bioacumulação e a biomagnificação são critérios que permitem avaliar os riscos que os contaminantes provenientes dos ecossistemas podem causar aos organismos (PENG *et al.*, 2017). A bioacumulação está associada à absorção e ao acúmulo de substâncias ou compostos químicos provenientes do ambiente, enquanto a biomagnificação ocorre a partir do aumento progressivo das concentrações desses contaminantes a cada nível trófico da teia alimentar (Romero-Romero *et al.*, 2017).

A absorção e o acúmulo direto de substâncias provenientes do ambiente, como metais, podem levar à bioacumulação de contaminantes nos organismos. Isso pode ser observado a partir da ação dos agentes abióticos que passam a causar uma perturbação nos organismos, fazendo com que a toxicidade possa ser identificada em diferentes níveis ambientais (Romero-Romero *et al.*, 2017; Cunha Neto *et al.*, 2020).

Além disso, a bioacumulação de metais pode causar mudanças na membrana plasmática, bem como comprometer a fotossíntese e causar efeitos prejudiciais na cadeia de transporte de elétrons, na inativação das enzimas do Ciclo de Calvin e na redução da condutância estomática (Cunha Neto *et al.*, 2020). Segundo Santos (2009), a toxicidade dos metais em plantas é proveniente de uma série de processos que têm início na alteração do nível molecular, causando alterações celulares, até o momento em que ocorre uma modificação no tecido do vegetal.

Dentre os metais presentes no solo, o alumínio caracteriza-se por ser um dos mais abundantes entre estes. Isso ocorre, principalmente, pelo fato de que a maioria das rochas formadas através do intemperismo possuem minerais classificados como aluminossilicatos, que podem liberar o alumínio trocável (Al^{3+}). Aspectos associados à solubilidade do alumínio podem elevar a condições de toxicidade iônica no solo, limitação de nutrientes e baixa disponibilidade de fósforo, além de que processos, como lixiviação e percolação, podem intensificar a acidez do solo (Miguel *et al.*, 2010).

No solo, a acidificação excessiva contribui para a liberação de alguns metais, principalmente o alumínio fitotóxico, o que pode representar uma ameaça ao desenvolvimento das culturas agrícolas (Niu *et al.*, 2020; Shetty *et al.*, 2020). Quando o alumínio biodisponível acumula-se nos solos, pode interferir no crescimento e no desenvolvimento das plantas (Silambarasan *et al.*, 2019). Altas concentrações de alumínio podem inibir o crescimento das raízes, danificar os tecidos nessa região do vegetal e causar deficiências de cálcio, magnésio e fósforo nas plantas. Além de limitar a obtenção de nutrientes e o desenvolvimento, o alumínio pode comprometer a propriedade dos vegetais de inibirem patologias. Isso ocorre principalmente porque a planta depende da interação entre a raiz e a microbiota do solo, e a toxicidade do alumínio pode afetar os microrganismos na região onde ocorre essa relação (Niu *et al.*, 2020).

Miguel *et al.* (2010) apresentam uma discussão sobre diversos aspectos associados aos efeitos da toxicidade do alumínio para as espécies vegetais. Segundo os autores, nas raízes, por exemplo, as pontas podem se apresentar grossas e amareladas, tortas e corrompidas, assim como os tecidos da epiderme podem se desintegrar e, no topo das raízes, as células ficam enrugadas e colapsadas. Por sua vez, na coifa

pode ocorrer uma redução de seu tamanho e um desalinhamento no tecido meristemático. Ainda de acordo com Miguel *et al.* (2010), nas folhas pode ocorrer um processo de amarelamento e serem verificados aspectos arroxeados nas bainhas e margens do limbo, bem como um atrofiamento.

A partir disso, percebe-se que metais como o alumínio são potencialmente tóxicos para os organismos. As plantas, por exemplo, são sensíveis a esses contaminantes, apresentando sintomas de toxicidade, podendo indicar a presença desses elementos no ambiente (Cunha Neto *et al.*, 2020). Sendo assim, as plantas são potenciais bioindicadores da contaminação ambiental.

Diante deste contexto, este escrito pretende analisar as possibilidades da utilização da alface (*Lactuca sativa L.*) como bioindicador da contaminação ambiental por alumínio proveniente do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água, a partir de parâmetros quali-quantitativos. A utilização da alface é motivada por essa ser caracterizada como uma espécie vegetal enquadrada entre as hortaliças com tolerância moderada a sais, além da aplicação dessa em alguns estudos de bioindicação (Guerber *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017). A alface é hortaliça folhosa mais vendida e consumida no Brasil, principalmente pela facilidade de produção e aquisição, sendo responsável pela movimentação de um alto volume de recursos (Souza *et al.*, 2019; Aires *et al.*, 2020; Carini *et al.*, 2020).

2. MÉTODO

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de cunho descritivo/exploratório. Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico, a partir da compilação de dados provenientes da literatura especializada, objetivando identificar, compreender e definir os principais aspectos relacionados à temática estudada.

Buscando métodos que possibilitassem a definição de parâmetros e critérios para analisar a alface (*Lactuca sativa L.*) como bioindicador, utilizou-se as considerações apresentadas por Neumann-Leitão e El-Deir (2009), ratificada por Guimarães e El-Deir (2019). De acordo com os supracitados, um bioindicador ideal deve ser caracterizado a partir de aspectos como os seguintes: apresentar uma taxonomia bem definida; ser facilmente reconhecida por não-especialistas; apresentar ampla distribuição geográfica; ser abundante; ter baixa variabilidade genética e ecológica; ter preferencialmente um tamanho grande; dispor de características ecológicas bem definidas; ter um longo ciclo de vida; apresentar baixa mobilidade; e ter possibilidade de uso em estudos de laboratório. Em relação aos aspectos anteriormente apresentados, consideram-se as definições e características (Quadro 1) apresentadas por Paz *et al.* (2013).

Quadro 1. Aspectos associados à bioindicadores ideais e características relacionadas

Aspecto	Características
Taxonomia	Estudar a taxonomia da espécie e verificar se essa encontra-se bem definida, além de analisar outras espécies do mesmo gênero e verificar suas características morfológicas e funcionais, assim como suas respostas à contaminantes específicos.
Facilmente reconhecível por não-especialistas	Este aspecto é de grande relevância, pois a coleta é facilitada quando a espécie possui características físicas bem definidas.
Distribuição geográfica ampla	Permite que o trabalho seja replicável e não restrito às pesquisas locais.
Ser abundante	Reflete-se na facilidade da coleta da espécie a ser analisada.
Variabilidade genética e ecológica	Tem relação com a evolução, mutação e capacidade de adaptação. A espécie escolhida deve ter baixa variabilidade e características sempre bem definidas
Tamanho	Organismos macroscópicos são visualizados a olho nu e dessa forma são mais bem identificados.
Ciclo de vida	Ciclos mais longos facilitam análises temporais.
Mobilidade	Espécies com baixa mobilidade são indicadas, pois sofrem alterações no mesmo ambiente em que fornecem as respostas, contribuindo na análise de causa e efeito.
Características ecológicas	Nicho, hábitat e as interações dos fatores bióticos e abióticos com a espécie são algumas das características que se deve levantar da espécie bioindicadora.
Estudos em laboratório	Algumas respostas fornecidas pelas espécies só podem ser diagnosticadas através de análises laboratoriais.

Fonte: Elaborado a partir de Paz *et al.* (2013)

A análise consistiu na utilização dos aspectos anteriormente apresentados como parâmetros que pudessem caracterizar uma espécie e o potencial de bioindicação. Sendo assim, foi realizada uma ponderação para os aspectos, definindo pesos que variaram de acordo com a relevância do parâmetro para a realidade analisada, segundo escala utilizada em outros estudos (Guimarães *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2015; Santos; *et al.*, 2016; Guimarães; El-Deir, 2019): 1 – baixa relevância; 2 – média relevância; 3 – alta relevância. Nesse contexto, todo o processo de análise foi realizado considerando as premissas de ponderação (Tabela 1).

Tabela 1. Ponderação atribuída aos parâmetros que caracterizam um bioindicador

Parâmetros	Peso
Taxonomia bem definida	3
Disponer de características ecológicas bem conhecidas	3
Facilmente reconhecida por não-especialistas	2
Apresentar ampla distribuição geográfica	2
Ter baixa variabilidade genética e ecológica	2
Ter preferencialmente um tamanho grande	2
Apresentar longo ciclo de vida	2
Apresentar baixa mobilidade	2
Ter possibilidade de uso em estudos em laboratório	2
Ser abundante	1

Fonte: Os próprios autores

Por fim, foram atribuídas notas para cada parâmetro a fim de obter uma pontuação que possibilitasse verificar o potencial da alface como bioindicador, baseando-se em análises de pontuação já realizadas em alguns estudos (Guimarães *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2015; Santos; *et al.*, 2016; Guimarães; El-Deir, 2019). Para isso, foi utilizado um critério de valores, que variaram em uma escala de 1 a 5, de acordo com a relevância da característica para a espécie em estudo, em que: 1 – representatividade mínima; 2 – representatividade baixa; 3 – representatividade média; 4 – representatividade boa; e 5 – representatividade excelente.

3. RESULTADOS

A *Lactuca sativa* possui uma elevada importância socioeconômica diante de suas contribuições em diversos aspectos, como na alimentação e na saúde humana, principalmente por ser fonte de diversas vitaminas, minerais e fibras alimentares, além de ser uma das hortaliças mais comercializadas no Brasil (Moraes *et al.*, 2020; Maione *et al.*, 2022). Além disso, a obtenção da alface caracteriza-se por possuir sucessivos cultivos ao longo do ano, diante das suas características relacionadas principalmente à ampla adaptação às diferentes condições climáticas, ciclo curto, baixo custo de produção, baixa suscetibilidade a diversas pragas e doenças, e à segurança pós-comercialização (Pereira *et al.*, 2019).

Taxonomicamente, a alface (*Lactuca sativa* L.) é do gênero *Lactuca* L., tribo *Lactuceae*, subfamília *Cichorioideae*, família *Asteraceae*, ordem *Asterales*, subclasse *Asteridae*, classe *Magnoliopsida*, divisão *Magnoliophyta*, superdivisão *Spermatophyta*, sub-reino *Tracheobionta*, reino *Plantae* (Neves, 2011).

Em relação aos aspectos morfológicos, a *Lactuca sativa* apresenta algumas características como porte herbáceo com folhas alternas presas a um caule curto. As folhas podem ser lisas ou crespas, soltas ou formando uma cabeça que, de acordo com a cultivar, podem apresentar coloração que varia do verde-amarelado ao verde-escuro até diferentes tons de roxo (Azevedo Filho, 2017).

O sistema realizado em campo aberto ainda é o que predomina no cultivo da alface e as temperaturas entre 18 e 25 °C são as mais indicadas para o cultivo desta hortaliça. Em relação às condições do solo de cultivo, é necessário atentar-se a algumas características como, por exemplo, as seguintes: teores de matéria orgânica de, no mínimo, 2,5%; Capacidade de Troca de Cátions (CTC) constituída por 50% de cálcio, 10% de magnésio e 3,5% de potássio; teor de fósforo com valores de 20ppm; boa drenagem; disponibilidade de água; e boa exposição ao sol (Azevedo Filho, 2017).

Existem alguns tipos diferentes de culturas de alface que variam de acordo, principalmente, com o tipo de folha. Pode-se citar os seguintes grupos: americana, que apresenta uma cabeça com folhas grossas; lisa, que apresenta cabeça com folhas lisas; romana, caracterizada por uma cabeça alongada com folhas lisas, alongadas, duras e grossas; crespa, que não apresenta uma formação de cabeça e as folhas são crespas; e mimosa, que também não apresenta formação de cabeça, mas as folhas caracterizam-se por possuírem as bordas replicadas (Azevedo Filho, 2017).

Existem alguns aspectos que justificam a utilização da alface em testes de toxicidade em efluentes, solos ou sedimentos. Dentre estes, destaca-se o rápido crescimento (rápida germinação), a necessidade de pouca energia para a germinação da semente, a sensibilidade a agentes químicos, crescimento linear em ampla faixa de variação de pH e baixa sensibilidade aos potenciais osmóticos, assim como o baixo custo, fácil cultivo, disponibilidade durante todo o ano e a possibilidade de utilização em testes de toxicidade em laboratório e em campo. Tem-se ainda o fato de as cipselas da hortaliça permitirem a inspeção dos efeitos da fitotoxicidade de acordo com diferentes variantes, como germinação, biomassa vegetal e alongamento da raiz (Simões *et al.*, 2013; Bolonhesi; Lopes, 2018). Para Silva *et al.* (2020), a *Lactuca sativa* é um bioindicador confiável, particularmente porque é simples, barato e requer uma quantidade relativamente pequena de amostra.

Em relação aos aspectos analisados sobre a bioindicação ideal, determinaram-se os valores atribuídos aos parâmetros definidos (Tabela 2) com base no estudo para a alface (*Lactuca sativa* L.). Mediante os resultados analisados, pode-se constatar que o somatório das notas apresentadas em relação aos parâmetros de bioindicação ideal para a alface mostrou-se bastante satisfatório, alcançado um valor total

de 88 pontos. Essa pontuação aproxima-se de valores apresentados em estudos que investigaram e buscaram definir bioindicadores ideais utilizando a mesma metodologia aqui apresentada (Guimarães *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2016; Guimarães; El-Deir, 2019).

Tabela 2. Análise ponderada dos parâmetros de bioindicação ideal para a alface

Parâmetros	Peso	Nota	Total
Dispor de características ecológicas bem conhecidas	3	5	15
Taxonomia bem definida	3	4	12
Facilmente reconhecida por não-especialistas	2	5	10
Apresentar ampla distribuição geográfica	2	5	10
Ter preferencialmente um tamanho grande	2	5	10
Apresentar baixa mobilidade	2	5	10
Ter possibilidade de uso em estudos em laboratório	2	5	10
Ser abundante	1	5	5
Ter baixa variabilidade	2	2	4
Apresentar longo ciclo de vida	2	1	2
Somatório			88

Fonte: Os próprios autores

Nesse contexto, é importante destacar que algumas características da alface foram preponderantes para o valor definido, como o fato da espécie apresentar uma distribuição geográfica ampla (a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil), apresentar características bem definidas e que podem ser visualizadas num aspecto macroscópico, assim como apresentar possibilidade de uso em análises laboratoriais. De forma a complementar a análise realizada, verificaram-se alguns aspectos relacionados à utilização da alface em estudos mais aprofundados de bioindicação (Lombi *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2017; Gerber *et al.*, 2017).

No estudo apresentado por Lombi *et al.* (2010), foi realizada uma análise da resposta da *Lactuca sativa* cultivada em solos que continham a presença de lodo de ETA. Os autores supracitados investigaram, então, o rendimento da alface em relação às concentrações de alumínio, fósforo e cobre. Nesse contexto, foi possível verificar os possíveis efeitos da aplicação do lodo para a biomassa vegetal da alface, bem como compreender a forma como a concentração dos metais presentes no resíduo poderia comprometer ou não a qualidade do cultivar. Diante dos resultados analisados no estudo, foi possível constatar o uso da alface como uma espécie bioindicadora de impactos que possam ocorrer devido à contaminação ambiental por metais, nesse caso, no solo.

O estudo de Santos *et al.* (2017) levou em consideração a utilização da alface (*Lactuca sativa*), especificamente as sementes da hortaliça, para investigar a toxicidade da água de dois córregos urbanos. Segundo os autores supracitados, a utilização da alface no estudo apresentou um potencial significativo para a pesquisa, uma vez que foi possível identificar o desenvolvimento da radícula, que teve o crescimento alterado de acordo com diferentes diluições de água dos córregos utilizadas.

Gerber *et al.* (2017) avaliaram os possíveis efeitos fitotóxicos de efluentes brutos e tratados de um abatedouro de suínos sobre sementes de alface, buscando principalmente identificar e determinar correlações entre as características do efluente e a germinação das sementes. Para isso, foi feita uma caracterização do efluente nas duas condições (bruto e tratado) e, em relação às sementes, foram determinados o índice de germinação, o comprimento da raiz e o número de sementes germinadas. De acordo com as análises realizadas no estudo, constatou-se um potencial fitotóxico do efluente para as sementes de alface, uma vez que a germinação foi menor que no tratamento controle, que utilizou apenas água destilada. Para os autores, é importante analisar as características do efluente e a fitotoxicidade em conjunto, principalmente porque a redução de alguns parâmetros pode estar relacionada a menores efeitos fitotóxicos sobre as espécies bioindicadoras utilizadas. Ainda de acordo com os supracitados, pode ocorrer um sinergismo entre vários contaminantes presentes nos efluentes, não só aumentando a fitotoxicidade geral, mas também possivelmente superando os efeitos tóxicos individuais, dificultando a identificação precisa das causas da toxicidade.

4. CONCLUSÃO

Por meio dos aspectos apresentados neste escrito, foi possível compreender que os bioindicadores são elementos essenciais para a avaliação dos níveis de tolerância relacionados a possíveis efeitos provenientes da poluição ambiental. Nesse contexto, considerado o potencial de contaminação dos metais presentes nos resíduos gerados em estações de tratamento de água, analisou-se que os bioensaios são parte relevante para a compreensão dos níveis de tolerância intra-específica, buscando estabelecer os melhores bioindicadores e/ou biomonitores para a poluição ambiental advinda da disposição inadequada do lodo contaminado por alumínio.

Diante disso e dos parâmetros analisados neste estudo, acredita-se que a alface (*Lactuca sativa* L.) apresenta um potencial de uso na bioindicação da qualidade ambiental, não apenas pelas características da espécie, como pela validação já apresentada em estudos mais aprofundados que utilizaram esta hortaliça como biomonitor. Verificou-se que

as características taxonômicas e ecológicas da *Lactuca sativa*, ampla distribuição geográfica, baixa mobilidade, tamanho que favorece análises macroscópicas e possibilidade de ser facilmente reconhecida por não especialistas, assim como as propriedades de uso em estudos de laboratório, foram fatores preponderantes para o valor obtido na análise ponderada realizada. Todos esses aspectos possibilitaram a compreensão em relação ao bom desempenho da alface nos estudos de identificação da bioindicação ideal e da caracterização da espécie como um bom bioindicador.

Considerando que o alumínio é um metal que está presente de maneira significativa nos resíduos gerados em estações de tratamento de água e que possui mecanismos de ação que podem comprometer a qualidade de vegetais, como a alface, presume-se que estudos de campo e análises laboratoriais podem comprovar os aspectos aqui evidenciados, principalmente a capacidade da hortaliça em indicar impactos ambientais por metais presentes no lodo de ETA, nesse caso, o alumínio. Nesse contexto, analisou-se que os processos de acúmulo de metais no ambiente, principalmente no solo, podem favorecer a bioacumulação dessas substâncias e, conseqüentemente, o comprometimento do desenvolvimento dos vegetais. Sendo assim, compreende-se que altas concentrações de alumínio podem interferir em processos essenciais de constituição das plantas, principalmente as que são sensíveis a esses contaminantes.

Mediante os resultados aqui analisados e buscando contribuir para o desenvolvimento de futuros trabalhos, recomenda-se a realização de estudos que objetivem: identificar outras espécies que possuam potencial de utilização para a bioindicação dos efeitos do alumínio presente nos resíduos de estação de tratamento de água; determinar a absorção de alumínio proveniente do lodo de ETA pela alface; avaliar o efeito de diferentes concentrações do alumínio presente no lodo de ETA, agregado ao solo, sobre o crescimento e desenvolvimento da alface; e investigar os possíveis efeitos da biomagnificação do alumínio a partir da acumulação do metal na alface.

REFERÊNCIAS

- Aires, E. S.; Aragão, C. A.; Marinho, L. B.; Gomes, I. L. S.; Oliveira, A. B. N.; Yuri, J. E. (2020), "Performance of crisphead lettuce cultivars under protected environment in different times of production". *Revista Ceres*, v. 67, n. 4, p. 263-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x202067040003>.
- Alvarenga, P.; Ferreira, C.; Mourinha, C.; Palma, P.; Varennes, A. (2018), "Chemical and ecotoxicological effects of the use of drinking-water treatment residuals for the remediation of soils degraded by mining activities". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 161, p. 281-289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.094>.

- Azevedo Filho, J. A. (2017), "A cultura da alface". In: Colarício, A.; Chaves, A. L. R. (coord.). *Boletim técnico: aspectos fitossanitários da cultura da alface*. 29. ed. São Paulo: Instituto Biológico, p. 9-14.
- Barceló, D.; Žonja, B.; Ginebreda, A. (2020), "Toxicity tests in wastewater and drinking water treatment processes: A complementary assessment tool to be on your radar". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104262>.
- Bartiko, D.; Julio, M. (2015), "Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento". *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 71-81. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1239>.
- si, I. B. T. M.; Lopes, D. D. (2018), "Analysis of toxicity from the effluent generated in a furniture industry spray booth using the species *Lactuca sativa* and *Allium cepa*". *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 13, n. 6. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2246>.
- Carini, F.; Cargnelutti Filho, A.; Pezzini, R. V.; Souza, J. M.; Chaves, G. G.; Provedi, A. (2020), "Nonlinear models for describing lettuce growth in autumn-winter". *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 50, n. 7. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190534>.
- Cunha Neto, A. R.; Ambrósio, A. S.; Wolowski, M.; Westin, T. B.; Govêa, K. P.; Carvalho, M.; Barbosa, S. (2020), "Negative effects on photosynthesis and chloroplast pigments exposed to lead and aluminum: a meta-analysis". *CERNE*, v. 26, n. 2, p. 232-237. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760202026022711>.
- Dube, S.; Muchaonyerwa, P.; Mapanda, F.; Hughes, J. (2018), "Effects of sludge water from a water treatment works on soil properties and the yield and elemental uptake of *Brachiaria decumbens* and lucerne (*Medicago sativa*)". *Agricultural Water Management*, v. 208, p. 335-343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.015>.
- Gerber, M. D.; Lucia Jr, T.; Correa, L.; Pereira Neto, J. E.; Correa, E. K. (2017), "Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators". *Science of the Total Environment*, v. 592, p. 86-90. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.075>.
- Guimarães, E. S.; El-Deir, S. G. (2019), "Analysis of Bioindicators Species of Wastewater of the Productive System, an Option of Environmental Monitoring for the Production Engineering". *International Journal of Recent Engineering Research and Development (IJRERD)*, v. 4, n. 1, p. 16-25. Disponível em: <http://www.ijrerd.com/volume4-issue1.html>. Acesso em: 17 dez. 2020.
- Guimarães, E. S.; Santos, J. S. G.; Silva, A. C. F. X.; El-Deir, S. G. (2014), "Análise de espécies bioindicadoras de águas residuais do sistema produtivo, uma opção de monitoramento ambiental para a Engenharia de Produção". In: XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014, Curitiba. *Anais [...]*.
- Howells, A. P.; Lewis, S. J. Beard, D. B.; Oliver, I. W. (2018), "Water treatment residuals as soil amendments: Examining element extractability, soil porewater concentrations and effects on earthworm behavior and survival". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 162, p. 334-340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.087>.
- Kamiwada, W. Y.; Andrade, P. V.; Reis, A. G. (2020), "Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação". *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 5, p. 667-676. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020180005>.
- Liu, Y.; Zhuge, Y.; Chow, C. Wk.; Keegon, A.; Li, D.; Pham, P. N.; Huang, J.; Suddique, R. (2020), "Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: Microstructural analysis, durability and leaching properties". *Journal of Environmental Management*, v. 262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110352>.
- Lombi, E.; Stevens, D. P.; Mclaughlin, M. J. (2010), "Effect of water treatment residuals on soil phosphorus, copper and aluminium availability and toxicity". *Environmental Pollution*, v. 158, p. 2110-2116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.03.006>.
- Lopes, V. S.; Silva, L. M. A.; Moruzzi, R. B.; Oliveira, A. L. (2020), "Estudo da coagulação/floculação de água com turbidez moderada na sedimentação e flotação por ar dissolvido". *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. 567-572. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020193514>.
- Maione, C.; Araujo, E. M.; Santos-Araujo, S. N.; Boim, A. G. F.; Barbosa, R. M.; Alleoni, L. R. F. (2022), "Determining the geographical origin of lettuce with data mining applied to micronutrients and soil properties". *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 79, n. 1, e20200011. Epub 18 jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0011>.
- Mañosa, J.; Formosa, J.; Giro-Paloma, J.; Maldonado-Alameda, A.; Quina, M. J.; Chimenos, J. M. (2020), "Valorisation of water treatment sludge for lightweight aggregate production". *Construction and Building Materials*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121335>.
- Miguel, P. S. B.; Gomes, F. T.; Rocha, W. S. D.; Martins, C. E.; Carvalho, C. A.; Oliveira, A. V. (2010), "Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos". *CES Revista*, v. 24, p. 13-29.
- Moraes, V. H.; Giongo, P. R.; Silva, F. F.; Mesquita, M.; Abreu, J. P.; Pereira, A. D. (2020), "Behavior of three lettuce

cultivars in a hydroponic system". *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, Medellín, v. 73, n. 2, p. 9165-9170. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v73n2.75423>.

Neves, B. M. P. (2011), *Influência do Molibdênio na acumulação de nitratos nas folhas de alface (Lactuca sativa L.)*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Ng, S. L.; Chu, L. M.; Chan, S. H.; Hin Ma, A. T. (2020), "The potential use of waterworks sludge in greening: A bio-assay with bermudagrass [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.]". *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126856>.

Niu, H.; Leng, Y.; Ran, S.; Ameer, M.; Du, D.; Sun, J.; Chen, K.; Hong, S. (2020), "Toxicity of soil labile aluminum fractions and aluminum species in soil water extracts on the rhizosphere bacterial community of tall fescue". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109828>.

Paz, Y. M.; Almeida, M. M.; Aravanis, N.; El-Deir, S. G. (2013), "Proposta metodológica para seleção de bioindicadores para monitoramento da qualidade ambiental de efluentes". In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. *Anais [...]*. Bento Gonçalves: ABRH. Disponível em: <http://anais.abrhidro.org.br/works/1843>. Acesso em: 20 jan. 2021.

Pereira, F. T.; Oliveira, J. B.; Muniz, P. H. P. C.; Peixoto, C. H. S.; Guimarães, R. R.; Carvalho, D. D. C. (2019), "Growth promotion and productivity of lettuce using *Trichoderma* spp. commercial strains". *Horticultura Brasileira*, Vitória da Conquista, v. 37, n. 1, p. 69-74. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620190111>.

Pinheiro, S. M. G.; Gonçalves, M. L. A.; Gonçalves, E. M.; El-Deir, S. G. (2015), "Espécies vegetais do bioma caatinga com potencial como bioindicador da qualidade ambiental". In: II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2015, Campina Grande. *Anais [...]*. Campina Grande: Realize. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/17288>. Acesso em: 20 jan. 2021.

Romero-Romero, S.; Herrero, L.; Fernández, M.; Gómarra, B.; Acuña, J. L. (2017), "Biomagnification of persistent organic pollutants in a deep-sea, temperate food web". *Science of the Total Environment*, v. 605-606, p. 589-597. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.148>.

Russo, A. C.; Pimentel, M. A. S.; Hemsli, P. S. (2020), "Emprego do monitoramento contínuo da floculação no controle de parâmetros de tratabilidade de água". *Engenharia*

Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 501-507. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020184285>.

Santos, A. R.; Sales, M. L.; Campolino, M. L. (2017), "Sementes de *Lactuca sativa* (alface) como bioindicador da toxicidade da água dos córregos urbanos J.K e Interlagos, região sudeste de Sete Lagoas, Minas Gerais". *Revista Brasileira de Ciências da Vida*, v. 5, n. 1. Disponível em: <http://jornalold.faculdadecienciasdavid.com.br/index.php/RBCV/article/view/518>. Acesso em: 20 jan. 2021.

Santos, E. I. A. (2009), *Avaliação do grau de contaminação da alface por metais pesados no município de Gurupi – TO*. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi.

Santos, T. C. G.; Luz, E. L. P.; El-Deir, S. G. (2016), "Avaliação de espécies vegetais como bioindicadores de áreas degradadas na Caatinga". In: I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2016, Campina Grande. *Anais [...]*. Campina Grande: Realize. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/23547>. Acesso em: 20 jan. 2021.

Shanin, S. A.; Mossad, M.; Fouad, M. (2019), "Evaluation of copper removal efficiency using water treatment sludge". *Water Science and Engineering*, v. 12, n. 1, p. 37-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.04.001>.

Shetty, R.; Vidya, C. S.; Prakash, N. B.; Lux, A.; Vaculík, M. (2020), "Aluminum toxicity in plants and its possible mitigation in acid soils by biochar: A review". *Science of the Total Environment*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142744>.

Silambarasan, S.; Logeswari, P.; Valentine, A.; Cornejo, P. (2019), "Role of *Curtobacterium herbarum* strain CAH5 on aluminum bioaccumulation and enhancement of *Lactuca sativa* growth under aluminum and drought stresses". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109573>.

Silva, W. L.; Lima, L. M.; Nunez, C. V. (2020), "Evaluation of the phytotoxic effect of extracts from endophytic fungi *Colletotrichum dianesei* and *Xylaria* sp. isolated from *Palicourea corymbifera* (Rubiaceae)". *Agrociencia Uruguay*, Montevideo, v. 24, n. spe2, e423. DOI: <http://dx.doi.org/10.31285/agro.24.423>.

Simões, M. S.; Madail, R. H.; Barbosa, S.; Nogueira, M. L. (2013), "Padronização de bioensaios para detecção de compostos alelopáticos e toxicantes ambientais utilizando alface". *Biotemas*, v. 26, n. 3, p. 29-36. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2013v26n3p29>.

Souza, J. T. A.; Costa, C. A.; Brandão Junior, D. S.; Menezes, J. B. C.; Nascimento, W. M.; Cardoso, W. J. (2019), "Yield and quality of seeds of lettuce genotypes produced under organic management". *Journal of Seed Science*, Londrina, v. 41, n. 3. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3220435>.

Tavares, R. G. (2016), *Atenuação do alumínio do resíduo de estações de tratamento de água por vermicompostagem e adsorção*. 2016. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ci-

vil) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife.

Terneus-Jácome, E.; Vallejo-Solano, B.; Torre, M. G.; Larenas-Uría, C. (2020), "Trophic status index of lentic systems from the diversity of aquatic plants from continental Ecuador (IMAE)". *Caldasia*, Bogotá, v. 42, n. 1, p. 115-128. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77638>.

Recebido: 28 mar. 2021

Aprovado: 5 jul. 2021

DOI: 10.20985/1980-5160.2021.v16n2.1717

Como citar: Araújo, M.P., El-Deir, S.G., Tavares, R.G. (2021). *Lactuca sativa* como bioindicador da contaminação por alumínio do lodo de Estação de Tratamento de Água. *Revista S&G* 16, 2. <https://revistasg.emnuvens.com.br/sg/article/view/1717>