

## **Valorização agrícola de lamas de ETAR**

**Ramily Micheleti de Azevedo Oliveira Meneses**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Orientado por

**Dra. Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues**  
**Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues**  
**Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco**

**Bragança**  
**2023**

# **VALORIZAÇÃO AGRÍCOLA DE LAMAS DE ETAR**

Ramily Micheleti de Azevedo Oliveira Meneses

Dra. Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues (IPB)  
Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues (IPB)  
Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco (UTFPR)

Bragança, 2023.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou muito grata a vida por toda oportunidade e privilégio que tenho. Realizar uma dupla diplomação em Portugal, é um sonho. Neste espaço, desejo exteriorizar os meus agradecimentos a todos que colaboraram de alguma forma para a realização da minha tese de mestrado. Agradeço aos meus pais, Silvia e Heitor, por serem meus guias nessa grande jornada: a vida. Agradeço aos meus irmãos Pedro, Emiliana, Lúgia, Lucas e Rayane por todo apoio, incentivo e amor. Agradeço a minha avó Lélia, que mesmo em outro plano, me ensina sobre força.

Agradeço aos meus orientadores Margarida Arrobas, Manuel Rodrigues e Tatiane Dal Bosco por todo ensinamento, dedicação e por serem responsáveis no meu desenvolvimento profissional. As técnicas do laboratório de solos Rita e Ana por toda ajuda e disponibilidade, a Soraia pelo auxílio no experimento e a empresa Águas do Norte por ceder as lamas, obrigada. Agradeço também ao sistema de educação brasileiro, por me proporcionar ensino de qualidade e gratuito em toda minha formação acadêmica.

Por fim, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos que foram minha segunda família nessa trajetória. Agradeço ao Rodrigo por estar comigo desde o começo, ao Gustavo e Regis pela amizade de longa data e a Ana Paula, por ser a melhor companheira de Bragança que eu poderia ter.

A todos que colaboraram para a concretização dessa fase, meu muito obrigada! Sozinha eu não teria conseguido.

## RESUMO

Com o aumento da população, a produção de água residual tem crescido e a escassez de água tem se tornado um problema cada vez mais frequente. Para lidar com essa questão, as estações de tratamento de água residual (ETAR) têm como objetivo tratar a água residual de forma que ela possa ser descartada de acordo com padrões de qualidade. No processo de tratamento são formadas as lamas residuais que por sua vez, precisam de um tratamento e destino adequados. Essas lamas contêm nutrientes e, quando tratadas, podem ser utilizadas como fertilizante em solos agrícolas, em vez de serem descartadas em aterros sanitários. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial agrônomico da aplicação de lamas de duas ETARs do norte de Portugal (Amarante, A e Gelfa, G) em uma produção da cultura da alface. As lamas foram aplicadas em seu estado final de produção (sem tratamento, ST) e após terem sido sujeitas a tratamentos de estabilização com óxido de cálcio (OC) e hidróxido de cálcio (HC) em duas doses (20% e 40%). O experimento foi realizado em vasos, em dois ciclos, cada um com duração de 35 e 45 dias, respectivamente. As etapas do experimento foram a mistura da lama com o solo, plantio das alfaces, colheita e preparação da matéria seca e solo para análise. As lamas foram adicionadas de forma a aplicar na alface o equivalente a 60 kg de N/ha em cada um dos ciclos. As alfaces foram colhidas e analisadas para determinar a matéria seca e a concentração nos tecidos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, cobre, ferro, zinco, manganês, cádmio, níquel, chumbo e crômio. Foi também determinada a concentração de nitratos nos tecidos. O solo com a mistura de lama foi analisado ao final do segundo ciclo para determinar matéria orgânica, pH, elementos do complexo de troca, micronutrientes e metais pesados. Para fins de comparação, a plantação foi realizada também em solo sem a lama (N0, testemunha) e com adubo mineral (N60, correspondente a 60 kg/ha de nitrogênio). A aplicação das lamas resultou no aumento significativo do fósforo no solo, quando comparado com o teor nos tratamentos sem lamas. Os valores variam entre 357 mg/kg em N60 e 607 mg/kg no tratamento A 20 OC. Também aumentou de forma significativa o teor em ferro e manganês. Ferro apresentou o menor valor em N0 com 92,2 mg/kg e 251 mg/kg em A 40 OC. Foi a lama de Amarante que introduziu mais ferro no solo. Manganês variou entre 137,8 mg/kg em N0 e 191,8 mg/kg em G 20 OC. No que respeita aos metais pesados verificou-se um aumento significativo de chumbo e crômio, embora este aumento não represente risco de contaminação já que os valores se situaram abaixo do permitido na legislação. As demais propriedades não foram afetadas significativamente pela adição das lamas. A matéria seca nas alfaces foi maior no primeiro ciclo do que no segundo, variando de 8,1 g (N0) a 14,2 g (N60) no primeiro e 4,6 g (A 40 HC) a 9,9 g (N60) no segundo. A adição de lamas também resultou num efeito significativo na produção de matéria seca de alfaces, embora a lama de Gelfa esteja associada a maior produção. No que respeita ao teor em nitrogênio nas alfaces foi o tratamento N60 o que esteve associado a maior concentração nas alfaces (acima de 3%) com valores não diferentes da concentração em N nos tratamentos com lama de Gelfa. O menor valor (1,51%) foi registado em N0 no primeiro ciclo. A adição de lamas aumentou o teor de metais pesados nas alfaces mas as concentrações registadas estiveram sempre abaixo dos níveis admitidos na legislação. Em resumo, a aplicação de lamas de Gelfa e Amarante ao solo foi favorável ao aumento da disponibilidade de nutrientes que resultou num aumento da produção da alface e as quantidades aplicadas não resultaram em diminuição da qualidade do solo nem da qualidade da matéria seca.

**Palavras Chave:** Lamas de ETAR, valorização agronomica de lamas, contaminação ambiental, alface.

## ABSTRACT

With the increase in population, wastewater production has grown and water scarcity has become an increasingly frequent problem. To deal with this issue, wastewater treatment plants (WWTP) aim to treat wastewater so that it can be disposed of according to quality standards. In the treatment process, residual sludge is formed, which in turn needs proper treatment and disposal. These sludges contain nutrients and, when treated, can be used as fertilizer in agricultural soils, instead of being disposed of in sanitary landfills. The objective of this work was to evaluate the agronomic potential of the application of sludge from two WWTPs in the north of Portugal (Amarante, A and Gelfa, G) in a lettuce crop production. The sludge was applied in its final production state (untreated, ST) and after being subjected to stabilization treatments with calcium oxide (OC) and calcium hydroxide (HC) in two doses (20% and 40%). The experiment was carried out in pots, in two cycles, each lasting 35 and 45 days, respectively. The sludge was added in order to apply the equivalent of 60 kg of N/ha to the lettuce in each of the cycles. Lettuces were harvested and analyzed to evaluate dry matter and tissue content on nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, boron, copper, iron, zinc, manganese, cadmium, nickel, lead and chromium. The concentration of nitrates in the tissues was also determined. The soil with the mud mixture was analyzed at the end of the second cycle to determine organic matter, pH, complex exchange elements, micronutrients and heavy metals. For comparison purposes, planting was also carried out in soil without sludge (N0, control) and with mineral fertilizer (N60, corresponding to 60 kg/ha of nitrogen). The application of sludge resulted in a significant increase in phosphorus in the soil, when compared with the content in treatments without sludge. The values vary between 357 mg/kg in N60 and 607 mg/kg in the A 20 OC treatment. It also significantly increased the iron and manganese content. Iron had the lowest value in N0 with 92.2 mg/kg and 251 mg/kg in A 40 OC. It was the Amarante sludge that introduced more iron into the soil. Manganese varied between 137.8 mg/kg in N0 and 191.8 mg/kg in G 20 OC. With regard to heavy metals, there was a significant increase in lead and chromium, although this increase does not represent a risk of contamination as the values were below the legal limit. The other properties were not significantly affected by the addition of sludge. Lettuce dry matter was higher in the first cycle than in the second, ranging from 8.1 g (N0) to 14.2 g (N60) in the first and 4.6 g (A 40 HC) to 9.9 g (N60) in the second. The addition of sludge also had a significant effect on lettuce dry matter production, although Gelfa sludge is associated with higher production. With regard to nitrogen content in lettuce, the N60 treatment was associated with the highest concentration in lettuce (above 3%) with values not different from the N concentration in treatments with Gelfa slurry. The lowest value (1.51%) was registered at N0 in the first cycle. The addition of sludge increased the heavy metal content in lettuce, but the concentrations recorded were always below the levels allowed by law. In summary, the application of Gelfa and Amarante sludge to the soil was favorable to the increase in nutrient availability which resulted in an increase in lettuce production and the applied amounts did not result in a decrease in soil quality or dry matter quality.

**Keywords:** WWTP sludge, agronomic sludge valuation, environmental contamination, lettuce.

# Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Estação de tratamento de águas residuais (ETAR).....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Processamento da fase líquida na ETAR.....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Tratamento preliminar .....	4
2.2.2 Tratamento primário .....	5
2.2.3 Tratamento secundário.....	6
2.2.4 Tratamento terciário.....	6
<b>2.3 Fase sólida na ETAR: lamas residuais.....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Composição e caracterização das lamas .....	7
2.3.2 Principais etapas de tratamento .....	9
2.3.3 Destinação final .....	11
<b>2.4 ETAR em Portugal .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Valorização agrícola das lamas .....</b>	<b>15</b>
2.5.1 Solos Portugueses .....	15
2.5.2 Legislação sobre a utilização de lamas no solo .....	16
2.5.3 Vantagens e desvantagens da aplicação da lama sobre o solo.....	18
2.5.4 Cultivos com a lama de ETAR como substrato.....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Descrição do experimento .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Determinações nas alfaces.....</b>	<b>27</b>
3.2.1 Determinação de Nitrogênio.....	28
3.2.2 Determinação de Boro .....	28
3.2.3 Fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco, manganês, níquel, chumbo, cádmio e crómio. ....	29
3.2.4 Nitrato .....	29

<b>3.3 Análises do solo .....</b>	<b>29</b>
3.3.1 Determinação do carbono facilmente oxidável e do teor de Matéria Orgânica.....	30
3.3.2 Determinação do pH .....	31
3.3.3 Determinação de Fósforo e Potássio.....	31
3.3.4 Determinação do Boro .....	31
3.3.5 Determinação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) de bases e acidez de troca .....	32
3.3.6 Micronutrientes e metais pesados .....	32
<b>3.4 Análise dos dados .....</b>	<b>33</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Efeito das lamas em propriedades do solo.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Efeito da aplicação das lamas na cultura da alface .....</b>	<b>45</b>
4.2.1 Produção de matéria seca.....	45
4.2.2 Análise foliar .....	47
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema das etapas de tratamento de uma ETAR.....	4
<b>Figura 2</b> - Quantidade de estações de tratamento e fossas sépticas, com a proporção de produção de lamas .....	14
<b>Figura 3</b> - Nível de tratamentos nas ETAR em Portugal .....	14
<b>Figura 4</b> - Vasos com os diferentes tratamentos .....	25
<b>Figura 5</b> - Escopo do experimento.....	26
<b>Figura 6</b> - Início do experimento (primeiro ciclo) .....	27
<b>Figura 7</b> - Secagem das alfaces ao sol (a) e após a secagem na estufa (b) .....	27
<b>Figura 8</b> - Folhas da alface triturada .....	28
<b>Figura 9</b> - Solução para determinação de M.O .....	30
<b>Figura 10</b> - Leitura do pH .....	31
<b>Figura 11</b> - Filtração na análise do boro .....	32
<b>Figura 12</b> - Valores de matéria orgânica nas amostras de solo no fim do ensaio. .....	34
<b>Figura 13</b> - Valores de pH em função do tratamento. ....	36
<b>Figura 14</b> - Valores de fósforo e potássio extraíveis em função dos tratamentos com lamas. ....	39
<b>Figura 15</b> - Valores dos nutrientes boro, zinco, ferro, cobre e manganês amostras em função dos tratamentos com lamas. ....	41
<b>Figura 16</b> - Teores de metais pesados no solo em função dos tratamentos. ....	43
<b>Figura 17</b> - Valores de matéria seca das alfaces nos dois ciclos. ....	45
<b>Figura 18</b> – Crescimento das alfaces no 1º ciclo .....	47
<b>Figura 19</b> – Crescimento das alfaces no 2º ciclo .....	47
<b>Figura 20</b> - Valores de nitrogênio (%) nas alfaces nos dois ciclos.....	48
<b>Figura 21</b> – Teor de nitrato nas alfaces.....	49
<b>Figura 22</b> – Coloração típica da variedade das folhas da alface.....	50
<b>Figura 23</b> – Concentrações de fósforo e potássio em função dos tratamentos com lamas nos dois ciclos de alface .....	51
<b>Figura 24</b> – Concentrações de cálcio e magnésio amostras em função dos tratamentos com lamas nos dois ciclos de alface .....	52
<b>Figura 25</b> - Valores dos metais pesados .....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas destinadas a uso agrícola e valores máximos admissíveis no solo em função do pH.....	17
<b>Tabela 2</b> - Valores limites de concentração de compostos orgânicos nas lamas	17
<b>Tabela 3</b> – Características das lamas usadas no estudo .....	24
<b>Tabela 4</b> - Bases do complexo de troca e capacidade de troca catiónica efetiva em função dos tratamentos .....	37
<b>Tabela 5</b> – Concentrações de boro, ferro, manganês, zinco e cobre nas alfaces em função dos tratamentos com lamas (mg/kg) .....	54

## LISTA DE SIGLAS

**APA** - Agência Portuguesa do Ambiente

**Cd** - Cádmio

**Cr** - Cromo

**Cu** - Cobre

**DBO** - Demanda Bioquímica de Oxigênio

**DGADR** - Direção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural

**DRAP** - Direções Regionais de Agricultura e Pescas

**EG** - Entidades Gestoras

**ENRUBDA** - Estratégia Nacional para o Desvio de Resíduos Urbanos

Biodegradáveis de Aterro

**ESAB** - Estufa da Escola Superior Agrária de Bragança

**ETAR** - Estação de Tratamento de Águas Residuais

**Hg** - Mercúrio

**INIAV** - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

**IPB** - Instituto Politécnico de Bragança

**KCl** - Cloreto de Potássio

**LAS** - Alquilo benzenossulfonatos lineares

**LRU** - Lamas Residuais Urbanas

**MS** - Matéria seca

**N** - Nitrogênio

**NaOH** - Hidróxido de Sódio

**Ni** - Níquel

**NPE** - Nonilfenóis e Nonilfenóis etoxilados

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**P** - Fósforo

**PAH** - Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

**Pb** - Chumbo

**PCB** - Bifenilos Policlorados

**PCDD** - Policlorodibenzodioxinas

**PCDF** - Furanos

**RU** - Resíduos Urbanos

**Zn** - Zinco



## 1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1950, quando os países membros da Organização das Nações Unidas (ONU) iniciaram os seus censos demográficos, tem sido possível verificar um crescimento populacional exponencial na grande maioria dos países e há evidências de que a população tende a continuar crescendo (Tavares & Pereira Neto, 2020). Atualmente, existem cerca de 8 bilhões de pessoas no mundo (IBERDROLA, 2022).

Portugal possui, aproximadamente, 10.321.900 habitantes e apesar de não apresentar uma taxa de crescimento positiva nos últimos anos (desde 2010), ou seja, de ter uma taxa de mortalidade superior que a taxa de natalidade, a produção de resíduos urbanos (RU) aumentou em cerca de 11% de 2014 até 2020 (PORDATA, 2022; APA, 2021). Além disso, Portugal é um dos países da União Europeia que mais consome água, com uma média diária de 186 litros por habitante (ERSAR, 2020).

Assim, o gerenciamento dos resíduos e águas residuais urbanas é um assunto atual de extrema importância (ERSAR, 2021). De acordo com a ONU, até 2050 a escassez da água tende a aumentar, sublinhando assim uma necessidade de gestão adequada de saneamento e água (ONU, 2022). Aproximadamente 86% dos alojamentos em Portugal continental são servidos por sistemas públicos de recolha e tratamento das águas residuais e proporcionam 1,8 milhões de m<sup>3</sup>/dia de água tratada (ERSAR, 2020).

O Objetivo 6 da Agenda 2030 das Nações Unidas defende o acesso universal a água potável e ao saneamento até 2030 (ONU, 2022) e isso pode ser feito através dos sistemas de abastecimento e tratamento (ERSAR, 2021). As estações de tratamento de água residual (ETAR) visam tratar a água residual por meio de processos físicos, químicos e biológicos, de forma a que se atinjam padrões de qualidade para a descarga (Decreto-Lei n°152/97) sem prejudicar os corpos hídricos.

Em uma ETAR, durante o tratamento da água, são formadas lamas residuais, devido aos sólidos presentes, que por sua vez, precisam de um tratamento e destinação adequada (von Sperling et al., 2007). A composição dessas lamas varia de acordo com a origem e processos a que são submetidas (Tchobanoglous et al., 2003) mas de forma geral, apresentam substâncias orgânicas, inorgânicas, microrganismos, metais pesados e compostos orgânicos que podem ser tóxicos e prejudiciais à saúde humana (Metcalf & Eddy, 2003).

De acordo com o Decreto-Lei n°276/2009 as lamas podem e devem ser valorizadas, ao invés de descartadas em aterros sanitários. Desde 1998 a disposição das

lamas em corpo hídrico é proibida (Diretiva 91/271/CEE) e a melhor opção é a valorização agrônômica, com aplicação direta ou indireta nos solos (Sousa, 2005; Berco 2013). Outras formas de valorização das lamas passam pela compostagem, aplicação na área civil, incineração e quando não possível nenhuma alternativa, podem ter como destino os aterros sanitários (Gonçalves, 2017).

Independente da forma de destinação, o tratamento das lamas é essencial para garantir que não se verifiquem situações de contaminação do solo e água (von Sperling et al. 2007; Pedra, 2007). Os metais pesados, microrganismos patogênicos e compostos orgânicos, elementos que colocam em risco as formas de vida, possuem valores limites estabelecidos na legislação referente a destinação (Diretiva nº86/278/CEE). Este fator pode limitar, de certa forma, a aplicação das lamas em solos com utilização agrícola (Rizzardini & Goi, 2014).

Em contrapartida, a valorização agrícola das lamas de ETAR acarreta benefícios ao solo, às culturas e ao meio ambiente (Carteiro, 2002). Em Portugal, por exemplo, uma boa parte dos solos são deficientes em nutrientes, apresentam baixo pH e não atingem boas condições para cultivos (Alvarenga et al., 2015). A aplicação das lamas colabora com a ciclagem de nutrientes e pode corrigir o pH, tornando o solo mais adequado para o crescimento das culturas (Sullivan et al., 2007). Além de agregar valor de qualidade aos solos, a aplicação da lama em solos é uma destinação ambientalmente correta e menos dispendiosa que evita os aterros sanitários (Domingues, 1990; Carteiro, 2002; Baran & Oleszczuk, 2003).

Assim, como objetivo principal deste trabalho, estabeleceu-se a necessidade de avaliar o potencial agrônômico da aplicação de lamas ao solo, usando a alface como cultura teste. Para isso recorreu-se a aplicação de lamas provenientes de duas ETAR's do norte de Portugal, no seu estado final de produção e após terem sido sujeitas a tratamentos de estabilização com óxido de cálcio e hidróxido de cálcio em duas doses. Como objetivos secundários pretende-se avaliar o efeito da aplicação das lamas na biomassa produzida, na composição mineral da alface e nas características químicas do solo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)**

A conservação e o gerenciamento da água, por ser um elemento vital para os seres vivos, são um dos pilares mais importantes no desenvolvimento sustentável (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010). É utilizada em inúmeras atividades antropogênicas (ONU, 2022), e do seu uso resultam as águas residuais. Tal como o próprio nome indica, segundo a legislação em vigor, as águas residuais podem ser de origem doméstica, industrial, pluvial ou a mistura delas (Decreto-Lei nº 152/97).

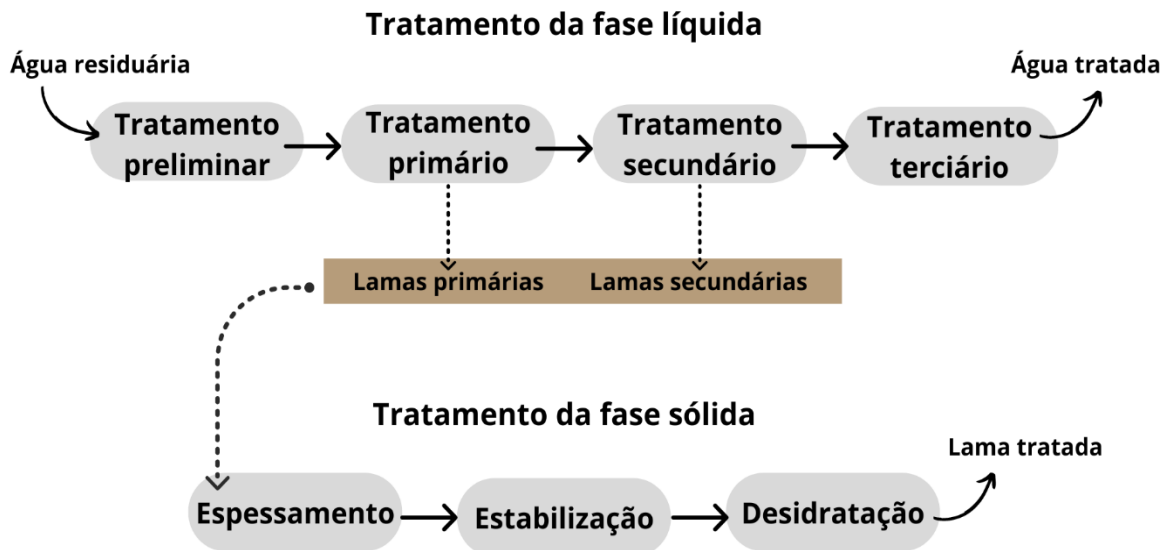
As águas residuais são efluentes que consistem em uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010) e para que sejam reutilizadas ou descarregadas em meio hídrico, é necessário o seu tratamento afim de evitar qualquer contaminação ou impacto negativo no meio receptor (Gonçalves & Souza, 1997).

A água tratada, para ser despejada em corpo hídrico, precisa atender os padrões do Decreto-Lei nº 152/1997, que transpõe a Diretiva 91/271/CEE do Conselho Europeu, pois, dependendo da quantidade de alguns elementos que são encontrados no efluente, pode ocasionar problemas como a eutrofização (Decreto-lei nº 152/1997)

Uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) tem por objetivo ter um tratamento apropriado, que utiliza diferentes processos físicos, químicos e biológicos e qualquer sistema de eliminação que permita atingir os padrões de qualidade para descarga (Decreto-Lei nº 152/97). Independentemente da linha de tratamento que tenha a estação, durante os procedimentos, os sólidos grosseiros, em suspensão, compostos orgânicos, gorduras, areias e microrganismos patogênicos, devem ser separados ou eliminados do efluente (Carvalho, 2010).

De modo geral, os processos de tratamento utilizados em uma estação são divididos em processamento da fase líquida e processamento da fase sólida. Na fase líquida devem ocorrer quatro etapas, sendo na maioria dos casos 1) tratamento preliminar, 2) tratamento primário, 3) tratamento secundário ou biológico e 4) tratamento terciário (Figura 1) (Souza, 2016; Metcalf & Eddy, 2003).

A medida que as fases de tratamento ocorrem, são formados subprodutos denominados de lamas, resultante tanto da etapa primária quanto da secundária, que necessitam também de um tratamento e destinação adequada (Gonçalves, 2017).



**Figura 1** - Esquema das etapas de tratamento de uma ETAR  
Adaptado de Marecos do Monte et al. (2016); Metcalf & Eddy (2003).

No que refere ao tratamento da fase sólida, este tem por objetivo reduzir o teor de água para reduzir o volume das lamas e facilitar o transporte, estabilizar a matéria orgânica, reduzir a presença de microrganismos patogênicos e por fim, valorizar as lamas, buscando a melhor alternativa de destinação (Metcalf & Eddy, 2003). Vale ressaltar que os tratamentos podem variar de acordo com as ETARs.

## 2.2 Processamento da fase líquida na ETAR

### 2.2.1 Tratamento preliminar

No transporte das águas residuais até o sistema de tratamento, são carreados muitos sólidos de pequenas e de maiores dimensões. Estes precisam ser retirados logo no início pois podem causar danos nos equipamentos e, assim, afetar a eficiência do processo (von Sperling, 2007; Pereira, 2008). As operações efetuadas no tratamento preliminar são tratamentos predominantemente mecânicos como: gradagem, tamisação, desarenação e remoção de gorduras (desengorduramento) (von Sperling, 2007; Marecos do Monte et al., 2016).

A gradagem é a operação responsável pela retirada dos sólidos grosseiros (von Sperling, 2007) e materiais de difícil degradação como pedaços de madeiras, papéis, plástico e outros. São grades, de um ou mais tamanhos diferentes constituídas por barras de ferro ou aço que são inseridas em posição vertical com uma certa inclinação logo no canal de chegada (Metcalf & Eddy, 2003; Silva 2012). A remoção do material para

limpeza das grades pode ser feita de forma manual, mecânica ou automática (von Sperling, 2007).

Os tamisadores podem ou não serem inseridos no processo para auxiliar na remoção de sólidos suspensos ou gradados mais finos que não foram retirados na primeira gradagem (Farias, 2020). São malhas que variam, aproximadamente, de 0,2 mm a 5 mm de diâmetro, que provocam a elevação dos sólidos até a sua total retirada (Metcalf & Eddy, 1993).

Além dos sólidos, as águas residuais chegam na estação com óleos, areias, solo, partículas e cascalhos. Assim como na gradagem, o objetivo da etapa de desarenação é evitar obstruções e problemas nos maquinários, retirando as areias e outras partículas semelhantes (Silva, 2012). Pode ser efetuado de diversas formas, como por exemplo em caixas de areia por sedimentação, onde os grãos de areia vão para o fundo do tanque devido a gravidade e, posteriormente, são retirados e encaminhados para um classificador e para a destinação final (von Sperling, 2007).

A remoção da areia e a remoção de óleos (desengorduradores) podem ser operados no mesmo órgão de tratamento. Enquanto os grãos de areia sedimentam ao fundo, os óleos e gorduras, como são menos densos, acumulam-se na superfície e podem ser retirados por raspadores mecânicos. Por fim, são colocados em contentores específicos e encaminhados ao destino final adequado (APA, 2021).

### *2.2.2 Tratamento primário*

Este tratamento visa a retirada de sólidos em suspensão, por meio de processos que podem ser físicos e químicos, como decantação e posterior a flotação e coagulação (Metcalf & Eddy, 2003). Os floculantes e coagulantes possibilitam a formação de flocos maiores, que decantam mais facilmente (Marecos do Monte et al., 2016). Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares e a massa de sólidos que está decantada no fundo, é chamada de lamas primárias (von Sperling, 2007). Estas lamas apresentam uma concentração de sólidos, que pode variar de 2,0 a 8,0% (Mackenzie, 2010).

De acordo com o Decreto-Lei nº. 152/97 o total de partículas em suspensão das águas em tratamento precisa ser reduzido em, pelo menos, 50%. von Sperling (2007) cita que nesta fase da ETAR, a eficiência de remoção de coliformes é de 30 a 40% e de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é de 25 a 40%, o que facilita, de certa forma, a operação nos tratamentos seguintes.

### *2.2.3 Tratamento secundário*

O tratamento secundário pode ser definido como uma etapa que envolve geralmente um tratamento biológico (Decreto-Lei nº. 152/97). A água residual é colocada em contato com microrganismos como bactérias, fungos, protozoários e outros, que, por sua vez, metabolizam a matéria orgânica presente, convertendo-a em dióxido de carbono, água e material celular (von Sperling, 2007).

Os processos podem ser aeróbios (processos com a presença de oxigênio), anaeróbios (processos sem a presença de oxigênio) e anóxicos (sem oxigênio dissolvido e com a presença de nitritos e/ou nitratos). Além disso, esta etapa do tratamento permite a maior variedade de sistemas de tratamento de biomassa, podendo ser sistemas de biomassa fixa, suspensa, híbridos e sistemas combinados (Simões et al., 2008). A classificação do sistema conforme a biomassa em relação com a classificação do oxigênio, dão origens a diversos processos (Metcalf & Eddy, 2003) que são escolhidos de acordo com as necessidades da estação.

No sistema com biomassa suspensa, os microrganismos que metabolizam a matéria orgânica ficam em suspensão na água residual. Para os sistemas com biomassa fixa, os microrganismos fixam-se num substrato inerte (pedra, areia ou plástico) e criam um biofilme que permite a degradação da matéria orgânica presente no efluente (Simões et al., 2008). Nos sistemas híbridos, a biomassa se encontra fixa a um meio que se mantém em suspensão por agitadores ou arejadores (Simões et al., 2008).

A eficiência de remoção de DBO e de coliformes nesta etapa é entre 60 a 99% (von Sperling, 2007), superior a fase anterior. Os sólidos formados durante esta etapa são nomeados por “lamas secundárias”, as quais são mais diluídas e com menor teor de matéria orgânica que a lama do processo anterior.

### *2.2.4 Tratamento terciário*

O tratamento terciário, também chamado de pós tratamento, complementa os tratamentos anteriores, pois tem a função de remover substâncias, microrganismos e alguns nutrientes que não foram removidos suficientes nas outras etapas (Simões et al., 2008). Os nutrientes como nitrogênio e fósforo, quando despejados em um corpo hídrico em altas concentrações, podem causar a eutrofização. Assim, nesta etapa dos tratamentos, são retirados os nutrientes da água, caso ainda estejam presentes (Metcalf & Eddy, 2003).

A remoção de microrganismos patogênicos, antes de depositar a água tratada em algum corpo hídrico, é exigida pelos órgãos legisladores por questões de saúde pública

(Marecos do Monte et al., 2016). O tratamento pode ocorrer por meio de desinfecção com agentes químicos ou agentes físicos como a radiação ultravioleta (Metcalf & Eddy, 2003).

### **2.3 Fase sólida na ETAR: lamas residuais**

As lamas de depuração são, de acordo com o Decreto-Lei 276/2009 de 2 de outubro, provenientes das estações de tratamento de água residuárias domésticas, urbanas e de outras estações, ou seja, ao longo do processo de uma ETAR são geradas lamas primárias (oriundas do tratamento primário) e lamas secundárias (oriundas do tratamento secundário), que por sua vez, necessitam de tratamentos antes do seu destino final.

A composição das lamas varia de acordo com as características das águas residuais de que provêm e também varia com o processo a que são submetidas (Tchobanoglous et al., 2003). As lamas primárias contêm um elevado teor de matéria orgânica, elevada percentagem de água e um forte odor (Metcalf & Eddy, 2003). As lamas secundárias, conhecidas também como lamas biológicas (devido ao processo biológico no tratamento secundário da ETAR) apresentam uma percentagem bem menor de sólidos em comparação com a lama primária (Metcalf & Eddy, 2003).

As lamas secundárias são mais difíceis de serem desidratadas que as lamas primárias, pois existem flocos biológicos aderentes as lamas e que são pouco densos (Turuvskiy & Mathai, 2006). Em algumas estações, as lamas são misturadas, passando a ser denominadas como lamas mistas (Metcalf & Eddy, 2003).

Visando facilitar o transporte e obter o melhor descarte final, o teor excessivo de água presente nas lamas precisa ser reduzido. Além disso, as lamas precisam passar por tratamentos para diminuir o tamanho das suas partículas, para reduzir microrganismos patogênicos que podem pôr em risco a saúde pública e eliminar o potencial de putrefação (Decreto-Lei nº 276/2009).

A gestão de tratamento das lamas visa avaliar qual sistema é mais adequado, levando em conta a sua composição, característica e intenção de destino (Tomei et al., 2016). Os tratamentos incluem geralmente os processos de espessamento, estabilização e desidratação (Metcalf & Eddy, 2003).

#### *2.3.1 Composição e caracterização das lamas*

A sua composição, como citado no tópico 2.3, depende da origem e também dos processos de tratamento que são submetidas. De forma geral, são compostas por

substâncias orgânicas, inorgânicas, minerais metais pesados e diversos microrganismos que podem ser patogênicos (Metcalf & Eddy, 2003).

A composição química das lamas pode servir de fertilizante para as culturas. Os nutrientes como carbono (C), oxigênio (O), fosforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K) são os presentes em maior quantidade. Porém, nutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e ferro (Fe) podem também ser encontrados em quantidades significativas (Metcalf & Eddy, 2003; Turovskiy & Mathai, 2006).

Geralmente, é a matéria orgânica o principal constituinte das lamas, representando cerca de 50% a 70% da massa total (Mendes, 2014). É normalmente composta por aminoácidos, hidratos de carbono, proteínas e lipídios, composto que são facilmente biodegradáveis (Tavares, 2007).

As lamas de ETAR podem apresentar também, em sua composição, alguns metais pesados como por exemplo: arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), mercúrio (Hg), crômio (Cr), níquel (Ni) e manganês (Mn) os quais, dependendo da concentração, podem afetar o crescimento das culturas e prejudicar o ambiente (Metcalf & Eddy, 2003; Carvalho, 2012).

Podem também ser encontrados nas lamas alguns compostos orgânicos, que são tóxicos e apresentam risco para saúde. Assim, se pensada a sua utilização na agricultura, a concentração destes elementos não pode exceder o estabelecido na legislação (Tavares, 2007). A degradação desses compostos pelos microrganismos é lenta, podendo gerar um acúmulo no solo (Godinho, 2009). Podem ser: dioxinas, furanos, bifenilos policlorados (PCB), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), fenóis e seus derivados (como NPE) e outros compostos (Foladori et al., 2010; Decreto-Lei nº276/2009).

Além de todos os componentes citados, as lamas podem conter ainda microrganismos, alguns patogênicos, que resultam da excreção humana, animal e outras fontes (European Commission, 2001). São eles: bactérias, vírus, protozoários, helmintos e fungos (Davis & Cornwell, 1998) e a presença deles no solo e nas culturas, podem ser fonte de contaminação (Metcalf & Eddy, 2003).

As concentrações de todos os componentes citados variam de acordo com o tratamento que a lama origina: primário ou secundário (Caroço, 2009; Foladori et al., 2010). A lama do tratamento primário possui elevado teor de matéria orgânica, e isso resulta, muitas vezes, em odores desagradáveis (Metcalf & Eddy, 2003; Pinhal, 2021).

Já as lamas secundárias, denominadas também como biológicas, apresentam algumas substâncias orgânicas, concentração de sólidos voláteis em menor proporção e

diferentes microrganismos (Metcalf & Eddy, 2003). Apresenta um odor semelhante a “terra molhada”, diferente das lamas primárias, e pode apresentar uma coloração acastanhada.

A cor é uma característica que pode, em muitos casos, ser um índice de composição e estado das lamas. Por exemplo, uma cor mais escura pode indicar um estado séptico e/ou putrefação; já uma cor muito clara pode indicar falta de arejamento (Metcalf & Eddy, 2003). Lamas com concentrações significativas de cal podem apresentar uma coloração mais acinzentada e com a presença de ferro pode conferir uma coloração mais avermelhada (Pinhal, 2021; Santos, 2012).

### *2.3.2 Principais etapas de tratamento*

Segundo von Sperling et al. (2007) reduzindo o volume da lama, a manipulação e o transporte ficam mais fáceis, tanto para os tratamentos seguintes quanto para o destino final, contribuindo mesmo para uma futura valorização do produto. Os tratamentos a que as lamas são submetidas, são feitos de acordo com suas características e a sua destinação final (Cabrita, 2013).

O processo de espessamento tem como principal objetivo diminuir o volume das lamas, reduzindo o teor de umidade e aumentando a concentração de sólidos (Metcalf & Eddy, 2003). Nesta etapa, o tratamento é de natureza física podendo ser realizado, geralmente, em tanques de sedimentação, espessadores gravíticos, centrífugos ou de flotação e bacias de armazenamento (Metcalf & Eddy, 2003; Zhu et al., 2012). Após o processo, as lamas ficam mais compactas, com volume reduzido a cerca de 1/5 do valor inicial.

O espessamento gravítico é um dos métodos mais utilizados, onde a força gravitacional faz com que a lama espessada vá para o fundo dos tanques e a água fique próxima a superfície, facilitando a sua extração no topo (Metcalf & Eddy, 1991). Já nos espessadores centrífugos, a força é aplicada para ocorrer a separação dos sólidos, variando de 500 a 3000 vezes a força da gravidade. As lamas primárias podem conter materiais mais rígidos que são prejudiciais para as centrífugas e, por este motivo, este processo é limitado para algumas estações (Turoskiy & Mathai, 2006).

As lamas contêm nutrientes que podem ser utilizados, por exemplo, para fertilizar o solo, mas, para isso, precisam ser estabilizadas antes da aplicação. O processo de estabilização visa reduzir os microrganismos patogênicos, eliminar o odor e seu poder de

putrefação, ou seja, visa estabilizar a lama para sua destinação e valorização (Speir et al., 2003; Bahar & Ciggin, 2016).

Segundo o Decreto-Lei nº 276/2009 a estabilização é definida como um processo em que a fermentação das lamas esteja concluída ou imobilizada desde a saída da lama da estação de tratamento até a aplicação em solos agrícolas. Os métodos utilizados neste procedimento são geralmente estabilização química, estabilização por digestão anaeróbia ou aeróbia e compostagem (US EPA, 2003).

A estabilização química (alcalina) consiste na adição de cal as lamas para elevar o pH a 12 ou superior e é recomendada uma adição de 30% de cal (Tchobanoglus et al., 2003). Porém, essa adição gera um aumento no peso final das lamas, o que pode dificultar o armazenamento e o transporte (Turoskiy & Mathai, 2006). Ainda assim, este método é viável devido ao seu baixo custo, fácil operação e boa estabilização das lamas (Turoskiy & Mathai, 2006).

A digestão aeróbia é um processo biológico onde os microrganismos consomem o material, degradando-o em um ambiente com presença de oxigênio (Bahar & Ciggin, 2016). É um processo exotérmico, libera calor, que pode destruir os organismos nocivos. Já na digestão anaeróbia, o processo é livre de oxigênio e nele ocorre a conversão de sólidos voláteis em dióxido de carbono, metano e amoníaco (Tchobanoglus et al., 2003). A digestão anaeróbia apresenta um custo energético menor que a aeróbia (European Commission, 2001).

Após os tratamentos, as lamas ainda podem apresentar um teor elevado de umidade. A desidratação, que tem objetivo reduzir ainda mais a umidade, pode ocorrer por processos mecânicos (como centrifugação, filtros de prensa ou filtros de banda) e por processos naturais (evaporação e/ou percolação em lagoas ou leitos de secagem) (Metcalf & Eddy, 2003; Tchobanoglu et al., 2003). O processo escolhido depende do tipo de lama e do destino final (Metcalf & Eddy, 1991).

As lagoas ou leitos de secagem, que permitem que ocorram os processos de evaporação ou percolação, são sistemas considerados de baixo custo e fácil manutenção (Sousa, 2005). São estruturas que permitem que os processos sejam eficientes, fazendo com que as lamas atinjam grandes graus de estabilização, muitas vezes superiores a processos mecânicos (Metcalf & Eddy, 2003). Porém, necessita de áreas espaçosas para a implementação, pode gerar maus odores e no caso dos leitos de sacagem, este método pode não ser tão eficiente em climas frios e a remoção das lamas precisa ser feita manualmente (Metcalf & Eddy, 2003).

A centrifugação, processo mecânico, pode desidratar grandes quantidades de lama, libera pouco odor e a operação pode ser automática. Porém, o processo exige alto consumo de energia e tanto o equipamento quanto as manutenções são dispendiosas (Metcalf & Eddy, 1993).

Outros processos mecânicos ocorrem em filtros de prensa e filtros de banda. Apesar do filtro de prensa permitir atingir o maior grau de desidratação, também são métodos dispendiosos, complexos e exigem grandes espaços (European Commission, 2001; Wang, Shammas & Hung, 2009). Já os filtros de banda apresentam menores custos operacionais e é um pouco mais fácil a manutenção que o método anterior. No entanto, são sensíveis a concentração das lamas e podem emitir odores (Turovskiy & Mathai, 2006).

O decreto atual, Decreto-Lei nº 276/2009, define lama tratada como:

“as lamas após serem submetidas a tratamento por via biológica, química ou térmica, por armazenagem a longo prazo ou por qualquer outro método adequado que reduza significativamente o seu poder de fermentação e os inconvenientes sanitários da sua utilização.”

### *2.3.3 Destinação final*

O destino final das lamas residuais é uma problemática atual devido a sua crescente produção (crescimento populacional) e composição. Desde 1998, a disposição de lamas em corpos hídricos foi proibida pela Diretiva da União Europeia 91/271/CEE, e desde então, têm surgido práticas e métodos para destina-las de forma ambientalmente correta (Diretiva nº91/271/CEE).

O Decreto-Lei nº 102-D/2020 de 17 de junho, define uma hierarquia para gestão de resíduos, iniciando pela prevenção, redução e reciclagem dos resíduos, o que demonstra uma prioridade para valorização das lamas. Segundo a Comissão Europeia (2015) as opções de valorização e destinação para as lamas são a aplicação na agricultura, compostagem, disposição em aterro ou incineração.

Autores como Berco (2013) e Sousa (2005) afirmam que a melhor destinação é a valorização agrícola (aplicação direta ou indireta nos solos), aplicação em áreas florestais para recuperar solos, compostagem, aplicação na área civil, incineração e por fim, a disposição em aterros.

Um dos objetivos definidos na Estratégia Nacional para o Desvio de Resíduos Urbanos Biodegradáveis de Aterro (ENRUBDA) em 2003 foi diminuir o depósito de materiais que podem ser reciclados ou valorizados, inclusive lamas de ETAR, em aterros

sanitários. Atualmente, tanto Portugal quanto outros países europeus evitam esta última opção de destinação para as lamas (Novak, 2006).

Os aterros devem ser acionados quando há presença de elementos tóxicos e/ou metais pesados nas lamas, como o cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), zinco (Zn), cádmio (Cd), crómio (Cr) e chumbo (Pb) (Gonçalves, 2017). Ainda assim, é necessário realizar a estabilização e a monitorização do processo para evitar que esses contaminantes atinjam o solo e os lençóis freáticos.

Além da preocupação com a contaminação dos solos e água, a disposição das lamas em aterros resulta também em formação de gases, odores e outros efeitos desagradáveis, fora a redução da área disponível para os rejeitos (Valderrama et al., 2013).

A incineração também é uma opção de destinação, porém, apesar de oferecer maior redução do volume, pode ser considerada uma forma incompleta pois no final do processo gera-se um outro produto: as cinzas (Souza, 2005). Além disso, é um tratamento bastante dispendioso, que pode produzir gases nocivos (Garrido-Baserba et al., 2014; von Sperling et al., 2007).

Este método é utilizado em muitos países na Europa e pode ser viável em alguns casos específicos, onde a aplicação da lama é bastante restrita ou em grandes centros urbanos com grandes produções (Foladori et al., 2010; von Sperling et al., 2007). Para ocorrer este tratamento, é preciso seguir a regulamentação do Decreto-lei nº85/2005 de 28 de abril, que define todas as condições para um bom funcionamento.

A aplicação das lamas na agricultura além de ser a melhor opção de destinação é também uma forma de correção orgânica aos solos (Carteiro, 2002). Mais da metade dos solos portugueses, segundo Carvalho (2012), apresentam pH inferiores a 5,5 e são considerados solos com baixa fertilidade. Dessa forma, a aplicação das lamas contribuiria na disposição de nutrientes, na correção do pH, na capacidade de retenção de água e permitiria ainda a diminuição do uso de fertilizantes químicos (Labrecque et al., 1998).

As plantas precisam de alguns nutrientes para se desenvolver. Estes precisam ser fornecidos pelo solo, por fontes orgânicas ou por fertilizantes minerais (Reetz, 2016). Os nutrientes essenciais, geralmente, são nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), variando a concentração de cada de acordo com a cultura (Acosta, 2003).

A aplicação em solos agrícolas é uma forma de valorização conforme o anexo III-B da Portaria nº209/2004 e é uma das melhores destinações, desde que se sigam todos os

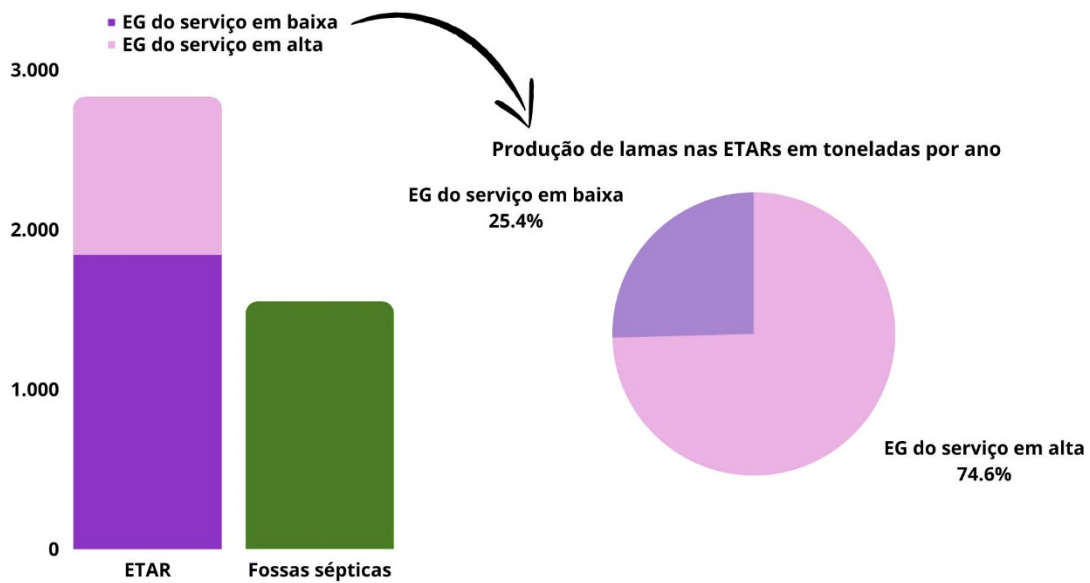
parâmetros estabelecidos por lei para evitar contaminações (Decreto-Lei nº276/2009). Para esta atividade, é necessário realizar um Plano de Gestão de Lamas (PGL), por um técnico habilitado, que cumpra o disposto nos artigos 4º a 13º do atual decreto-lei (Decreto-Lei nº276/2009).

Vale ressaltar que para esta aplicação (e para quaisquer outras disposições) é necessário um tratamento das lamas, que assegure que não haja contaminações por lixiviação (Pedra, 2007). As concentrações e quantidade da aplicação da lama variam de acordo com a cultura, com o solo e com o teor de nutrientes necessário para as plantas (Reed et al., 1995).

## **2.4 ETAR em Portugal**

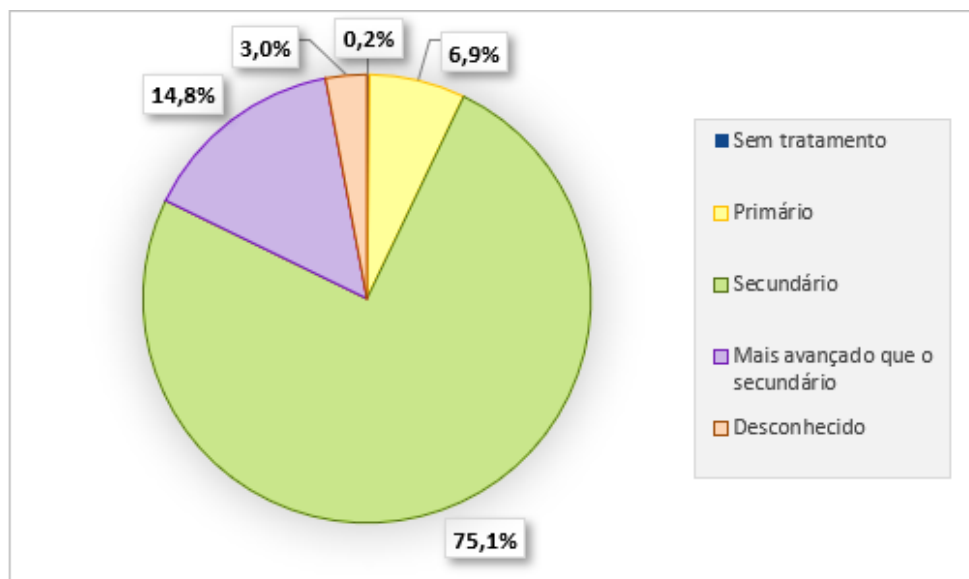
De acordo com o Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos em Portugal (2021), em Portugal Continental há 4376 instalações de tratamento de águas residuais, onde 2829 (65%) correspondem a ETAR e 1547 (35%) são fossas sépticas coletivas (ERSAR, 2022). Entre 2016 a 2020, ocorreu um aumento na quantidade de instalações de tratamento, em torno de 25 unidades durante esses 5 anos (ERSAR, 2022).

No que diz respeito as entidades gestoras (EG): entidade designada como responsável pela prestação dos serviços de águas e resíduos, 227 EG do serviço em baixa (responsáveis pela prestação, total ou parcial, do serviço aos utilizadores finais) há 1841 estações de tratamento e uma produção de lamas desidratadas de 133049 toneladas por ano (99% das EG), já das 12 EG do serviço em alta (responsáveis pela prestação, total ou parcial, do serviço a outras entidades gestoras) há 988 estações de tratamento e produção de 390553 toneladas por ano de lamas desidratadas (Figura 2) (ERSAR, 2018; ERSAR, 2022).



**Figura 2** - Quantidade de estações de tratamento e fossas sépticas, com a proporção de produção de lamas Adaptado do ERSAR (2022).

Referente a quantidade de ETAR públicas urbanas em Portugal Continental, pode-se notar que a grande maioria engloba o tratamento secundário em seu processo, como apresentado na Figura 3. As unidades que apresentam apenas o tratamento primário, são instalações pequenas, geralmente fossas sépticas (APA, 2021). Os dados foram coletados em 2018.



**Figura 3** - Nível de tratamentos nas ETAR em Portugal Adaptado de APA, 2021.

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), dados entre 2015 e 2018 demonstram uma evolução das ETAR no que se refere ao cumprimento da legislação atual para a União Europeia, Diretiva 91/271/CEE. Desde dezembro de 2012, a carga coletada em estações é de quase 100% e em 2018 cerca de 91,6% da carga foi submetida ao tratamento secundário e 86% cumpriu os requisitos de descarga (APA, 2021).

Verifica-se a necessidade de reutilização da água tratada pelas estações. Porém, ainda são poucos os sistemas em Portugal que realizam a atividade que se verifica apenas em 30 entidades gestoras, sendo 20 em baixa e 10 em alta, correspondendo em torno de 1,1% da água tratada nas estações de tratamento (ERSAR, 2022).

As entidades gestoras que avaliam a qualidade do serviço, afirmam que as lamas produzidas tem um encaminhamento totalmente adequado para operadores licenciados que gerem as lamas e destinam corretamente este resíduo (ERSAR, 2022).

## **2.5 Valorização agrícola das lamas**

### *2.5.1 Solos Portugueses*

A caracterização dos solos é importante para identificar e conhecer as unidades pedológicas existentes nas diferentes regiões do país, assim como evidenciar os riscos de erosão, alcalinização, salinização e impactos com o uso do mesmo (AQUALOGUS, 2022).

A Direção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural (DGADR) atribui uma classificação de solos de acordo com a aptidão da terra, considerando as características agro-climáticas e topográficas (Decreto-Lei nº 73/2009). Podem ser classificados em A1, A2, A3, A4 e A0, sendo A1 solos com maior aptidão para uso agrícola e A0 solos inaptos para uso agrícola (Decreto-Lei nº 73/2009).

Durante muitos anos, os cereais dominaram a agricultura em Portugal e com o intuito de aumentar a produtividade, os afolhamentos tradicionais foram, de certa forma, desrespeitados (Cabral, 1991). O aumento do cultivo dos cereais acarretou como consequência, perda de fertilidade do solo e assim, um gasto maior para manutenção (Coelho, 2000). Alguns autores destacam que dependendo do uso do solo, a estrutura e funcionamento do ecossistema terrestre são afetadas profundamente (Walker, Canadell & Ingram, 1999).

De acordo com o uso e ocupação do solo em Portugal, cerca de 92% do território é para ocupação de natureza agrícola, florestal e agroflorestal, onde apenas 26% da área

é da agricultura (COS, 2018). Esta circunstância deve-se a várias limitações nas suas características. Um fato importante dos solos portugueses, é que a grande maioria apresenta pH inferior a 5,5 (Carvalho, 2012) e um teor baixo a médio de matéria orgânica (Alvarenga et al., 2015; DGADR, 2021).

O uso das lamas de ETAR pode contribuir para a melhora desses parâmetros, nomeadamente o pH e o teor de matéria orgânica. Alguns autores, como Bancessi (2009) e Bartolo (2016), realizaram aplicação de lamas nos solos de Portugal e comprovaram a correlação da aplicação com a melhoria dos parâmetros para um bom desenvolvimento do solo e, conseqüentemente, das culturas.

Um dos objetivos dos agricultores é garantir a maior produtividade de uma forma ambientalmente sustentável e, para isso, é necessário que os nitratos e fosfatos dos fertilizantes não sejam arrastados ou lixiviados para cursos de água (DGADR 2021). Uma boa fertilização fornece as plantas os nutrientes que esta necessita e condiciona o solo para um bom desenvolvimento (DGADR, 2021).

### *2.5.2 Legislação sobre a utilização de lamas no solo*

Visando proteger o meio ambiente, em especial os solos devido a utilização de lamas de depuração nos solos agrícolas, foi adotada a Diretiva nº 86/278/CEE em 12 de junho de 1986. Tal diretiva, instituída pela Comunidade Econômica Europeia, tem a finalidade de regulamentar a utilização agrícola das lamas sem gerar efeitos nocivos aos seres humanos, animais e vegetação.

O Decreto-Lei nº 276/2009 é a legislação atual em Portugal, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 86/278/CEE. Tal decreto visa incentivar e credibilizar a valorização de resíduos e, ao mesmo tempo, proteger o meio ambiente, estabelecendo padrões de qualidade e quantidade de lamas que pode ser adicionada ao solo.

O âmbito deste decreto aplica-se à utilização “em solos agrícolas, de lamas de depuração provenientes de estações de tratamento de águas residuais domésticas, urbanas, de atividades agro-pecuárias, de fossas sépticas ou outras de composição similar” (Decreto-Lei nº276/2009, Capítulo I). Para gerenciar as lamas, independentemente da sua origem, é necessário um licenciamento de armazenagem e tratamento.

De acordo com o decreto, é obrigatório realizar análises nas lamas que serão destinadas ao uso agrícola de matéria seca, matéria orgânica (MO), pH, nitrogênio total, fósforo total, potássio total, magnésio total, cálcio total e metais pesados. A frequência

das análises varia de acordo com a proporção de lamas que é aplicada (Decreto-Lei nº276/2009, Anexo II).

O Decreto-Lei atual exige valores limites de concentração de alguns metais pesados nas lamas (Decreto-Lei nº276/2009). Na Tabela 1 estão os metais pesados e seus respectivos valores limites em mg/kg de matéria seca para aplicação em solo agrícola, valores limites dos metais em função do pH e os valores limites para as quantidades anuais de metais que podem ser aplicados em solo cultivados, com uma base média de 10 anos.

E referente aos compostos orgânicos, precisam obter valores limites de concentração como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 1** - Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas destinadas a uso agrícola e valores máximos admissíveis no solo em função do pH

Parâmetros	Valor limite para uso agrícola	pH ≤ 5,5	5,5 < pH ≤ 7	pH > 7	Valor limite anual em solos cultivados
	(mg/kg de matéria seca)	(mg/kg de matéria seca)			(kg/ha/ano)
Cádmio	20	1	3	4	0,15
Cobre	1000	50	100	200	12
Níquel	300	30	75	110	3
Chumbo	750	50	300	450	15
Zinco	2500	150	300	450	30
Mercúrio	16	1	1,5	2	0,1
Crômio	1000	50	200	300	4,5

(Decreto-Lei nº276/2009, Anexo 1)

**Tabela 2** - Valores limites de concentração de compostos orgânicos nas lamas

Compostos orgânicos	Valores limites (matéria seca)
LAS (alquilo benzenossulfonatos lineares)	5000 mg/kg
NPE (nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados)	450 mg/kg
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)	6 mg/kg
PCB (compostos bifenilos policlorados)	0,8 mg/kg
PCDD (policlorodibenzodioxinas)	100 ng TEQ/kg
PCDF (furanos)	

(Decreto-Lei nº276/2009, Anexo 1)

Outro ponto importante a ser avaliado é a existência de microrganismos patogênicos. A legislação em vigor exige que as lamas de depuração passem pelo processo de estabilização de forma adequada para serem utilizadas nas atividades

agrícolas. O valor limite da concentração do microrganismo *Escherichia coli* precisa ser menor que 1000 células/g de matéria fresca e da *Salmonella spp.* precisa estar ausente em 50g de material original (Decreto-Lei nº276/2009, Anexo 1).

Para definir a quantidade de nutrientes a introduzir no solo são necessárias análises de solo, água e ou análise foliar. Além disso, é preciso levar em conta a produção esperada da cultura que se deseja fertilizar (Decreto-Lei nº276/2009, Artigo 10º). É proibida a aplicação quando a concentração de um ou mais metais pesados e a concentração de um ou mais compostos orgânicos ultrapasse o valor limite (Decreto-Lei nº276/2009, Artigo 12º).

As lamas precisam ser armazenadas em locais impermeabilizados e cobertos. De acordo com o decreto atual, visando ainda evitar a contaminação das águas, as lamas só podem ser aplicadas a uma faixa de terreno de 50 metros quando é margem de água do mar, uma faixa de 30 metros quando é margem de outras águas navegáveis e faixa de 10 metros em caso de margens de água não navegáveis (Decreto-Lei nº276/2009, Artigo 12º).

A aplicação das lamas varia de acordo com o teor de matéria seca (MS). Quando é inferior a 20% deve ser imediatamente injetada no solo e/ou espalhada no terreno no prazo de máximo de 24 horas. Quando a MS é superior ou igual a 20%, deve ser espalhada no solo no prazo máximo de 48 horas, com alfaia apropriada (Decreto-Lei nº276/2009, Artigo 13º).

A nível nacional, o Plano de Gestão das Lamas deve incluir: a composição e caracterização das lamas, o teor de umidade, de MO, metais pesados, microrganismos patogênicos, quantidade de lamas que é produzida, quantidade de lamas destinada a agricultura e quantidade de lamas destinada a outras finalidades (Simões, Rosmaninho & Henriques, 2008).

### 2.5.3 Vantagens e desvantagens da aplicação da lama sobre o solo.

A estabilidade do solo, a formação dos agregados e a capacidade de reter água e nutrientes são condições físicas e químicas de muita importância para a qualidade do solo (Reinert & Reichert, 2006). As lamas, como descrito no item 2.3.1, são ricas em matéria orgânica (MO), e esta contribui diretamente para a estabilidade do solo, a formação dos agregados e podem aumentar a capacidade de reter água e nutrientes para as plantas (Stevenson, 1994). Assim, a MO contribui para uma melhoria significativa das propriedades físicas do solo (Vezzani & Mielniczuck, 2011).

A MO contribui ainda para propriedades biológica e química mais favoráveis, pois aumenta a diversidade de organismos e estes contribuem para a mineralização da matéria orgânica e consequente liberação de nutrientes, respectivamente (Grando, Cavalheiro & Rhoden, 2017). Os macronutrientes e micronutrientes, que são encontrados nas lamas de depuração, são importantes para as culturas e auxiliam na redução da utilização de outros tipos de adubação, diminuindo custos (Menino, Castelo-Branco & Martins, 2018).

Além disso, o pH adequado do solo é essencial para a produtividade das culturas. A aplicação das lamas pode corrigir esta propriedade, especialmente se forem estabilizadas com cal e, desta forma, poderão corrigir solos ácidos, onde a sua aplicação permitirá a elevação do pH para valores que sejam mais favoráveis para as culturas (Sullivan, Cogger & Bary, 2007).

Assim, a aplicação de lamas após um tratamento adequado e em quantidades aconselhadas, apresenta vantagens por melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo, fornecendo estabilidade, resistência a erosão, correção do solo, retenção de água (Outwater, 1994; Silva et al., 1997). Com isso, consequentemente, as lamas podem trazer benefícios para as culturas.

Serrão et al. (2007) verificaram que, após aplicação das lamas no solo, a produção de biomassa aumentou. Também Campos, Horta-Monteiro e Carneiro (1998) obtiveram aumentos significativos e melhoria no valor nutritivo das plantas. Em contrapartida, a aplicação das lamas pode apresentar algumas desvantagens e riscos para o meio ambiente, se utilizadas de forma e quantidade inadequada (Fernandes et al, 1996).

Alguns metais pesados podem estar presentes nas lamas, os quais são tóxicos para as plantas e causam riscos para saúde humana e animal (Rizzardini & Goi, 2014). Para ocorrer a aplicação das lamas no solo, alguns metais pesados precisam estar dentro dos limites exigido pela legislação atual: caso contrário, a lama não está em condições adequadas de uso (Decreto-Lei nº 276/2009).

Autores como Domingues et al. (2002) analisaram lamas de diversas ETARs de Portugal e concluíram que os metais pesados presentes, além de não excederem os valores limites permitido por legislação, apresentam baixa solubilidade, podendo assim ser utilizados no solo sem risco de contaminação (Domingues et al., 2002). Fernandes et al., (2014) revelaram que a aplicação de lamas, mesmo com elevado teor de umidade, não contaminou o solo com os metais pesados que estavam presentes. Serrão et al. (2007) mostraram que não houve contaminação do solo em relação a compostos orgânicos e

microrganismos patogênicos após a aplicação de lamas, para além de terem obtido produção de biomassa superior do que sem a aplicação da lama.

Porém, em alguns casos, mesmo que os metais pesados estejam conforme a legislação, a aplicação continuada das lamas pode fazer com que ocorra um acúmulo na superfície, podendo resultar em absorção excessiva pelas plantas (Rizzardini & Goi, 2014).

Compostos orgânicos e microrganismos patogênicos também podem ser encontrados (Verlicchi & Zambello, 2015) e algumas substâncias químicas chamam bastante atenção devido seu elevado risco para a saúde humana, caso sejam ingeridas. São substâncias provenientes de produtos cosméticos e saúde pessoal, ou seja, são encontradas nas águas residuais e, em caso de remoção incompleta nos tratamentos, podem ser encontradas nas lamas de depuração (Wu et al., 2015).

Dessa forma, vale sublinhar que o acúmulo de compostos orgânicos, microrganismos patogênicos e metais pesados associado a continuidade de aplicação das lamas no solo em cultivo agrícola, pode ser um problema. Para evitar riscos é necessário seguir então a Diretiva nº86/278/CEE ao nível europeu e o Decreto-Lei nº276/2009 em vigor em Portugal. Além disso, é necessário um investimento em locais de armazenamento já que a quantidade de lamas espalhadas no solo não acontece na mesma proporção em que são produzidas (AEA, 1997).

Pirra (2009) reforça que a aplicação das lamas precisa seguir a lógica de valorização e não de abandono e precisa de um acompanhamento agrônomo posterior. Análises tanto das lamas quanto do solo precisam ser feitas após as aplicações afim de se verificar os limites permitidos. A legislação atual proíbe que as aplicações sejam feitas perto de lagos e rios, e nas plantações forrageiras dentro das três semanas antes da colheita (Decreto-Lei nº276/2009).

A distribuição de lamas de ETAR no solo, é uma prática simples e econômica, desde que tenha os valores de metais pesados, compostos orgânicos e microrganismos patogênicos dentro do limite (Pirra, 2009).

#### *2.5.4 Cultivos com a lama de ETAR como substrato*

Seguindo todos os requisitos impostos pela legislação atual, as lamas de depuração podem ser valiosos fertilizantes (Soveral-Dias, 2004). O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o desenvolvimento e composição das plantas (Rodrigues, 2009)

e utilizando o subproduto das ETARs de forma controlada, pode-se aplicar teores consideráveis deste e de outros elementos que satisfaçam as culturas (Joo et al., 2015).

É possível obter um aumento significativo na biomassa de certas plantas, como o milho por exemplo, com a aplicação de lamas em um solo pobre em matéria orgânica e nutrientes, mesmo num curto período de tempo (Sempiterno, Fernandes & Peixoto, 2017). Ainda que, em alguns casos, a utilização de adubação mineral possa apresentar maior eficiência na disponibilidade de nitrogênio comparada com a adubação orgânica (lama de ETAR), a orgânica acarreta benefícios ao solo e contribui para o aumento da disponibilidade de outros nutrientes (Sempiterno, Fernandes & Peixoto, 2017).

A região do Alentejo, em Portugal, apresenta riscos de desertificação e também, solos com baixas concentrações de M.O, e nutrientes para as plantas (Roxo, 1994). Alguns estudos sobre a região Norte de Portugal, reportam uma deficiência de Mg e uma necessidade de correção da acidez do solo (Melo, 1980; Portela, 1981; Costa, 1982; Coutinho et al., 1984) além das quebras de produtividade e culturas com crescimentos reduzidos (Portela & Louzada, 2018). Um fertilizante como as lamas de ETAR, pode solucionar várias deficiências e necessidades das plantas.

Serrão et al., (2018) demonstraram benefícios na camada superficial do solo para pastagem após a aplicação de lamas residuais e que, mesmo depois de um ano de utilização do fertilizante, a contaminação inicial dos metais pesados e bactérias de origem fecal, não foi alterada. Sobre a produtividade de culturas, segundo Boswell (1975) o cultivo de festuca obteve um rendimento cerca de 30% maior com a aplicação de lodo num período de dois anos em comparação com os controles.

As atividades microbianas e enzimáticas tendem também a aumentar com o uso de lama no solo (Banerjee, Burton & Depoe, 1997). No entanto, se a concentração de metais pesados presentes for consideravelmente alta, pode ocorrer uma redução nas atividades das enzimas (FlieBbach, Martens & Reber, 1994). Mas, Branson et al. (1975) verificaram uma concentração abaixo do valor limite para metais lixiviados com a lama após um tratamento adequado, neste caso, também sujeitas ao processo de compostagem.

Os autores Rui Fernandes et al. (2014) analisaram os efeitos da aplicação de lama coletada na ETAR de Castro Verde, em solo e nas culturas de trigo e aveia, com foco nos metais pesados. Como resultado, observaram que ocorreu um aumento nos valores dos metais no solo após a aplicação mas, ainda assim, os valores finais de metais como cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco e mercúrio foram inferiores ao limite de

concentração exigido pela legislação. Estes metais também se encontraram em níveis abaixo do permitido nos tecidos das duas culturas (Rui Fernandes et al., 2014).

Um outro estudo sobre a aplicação de lamas de ETAR em cultura de milho mas com foco no fosfato disponível, realizado no Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), mostrou um aumento significativo na produção mas destacou a importância de estabelecer limites para quantidade de lama a ser aplicada (Bartolo, Fernandes & Sempiterno, 2017) para evitar futuras contaminações.

Bartolo (2016) definiu a quantidade de lama a ser aplicada em vasos com solo de acordo com a necessidade de nutrientes da cultura teste, a taxa de mineralização de fósforo orgânico e as características do solo utilizado. Penacho (2018) seguiu a primeira versão da legislação portuguesa (D.L n°446/1991) e utilizou 6 toneladas de lama desidratadas/ha/ano, mas, buscando explorar o aumento da concentração de lama no solo mantendo os níveis de matéria orgânica aceitável, realizou testes com 12 e 24 toneladas/ha (Penacho, 2018).

Outro estudo com as doses de 12 e 24 ton/ha de lama, aplicadas uma única vez, resultou em um aumento significativo na produção total de matéria seca num período de dois anos de ensaio, tendo o maior valor sido obtido com a dose de 24 ton/ha de LRU (Serrão et al., 2018). Além disso, ocorreu uma melhoria nos teores de P assimilável, de M.O e N totais com ambas dosagens de lama (Serrão et al., 2018).

Com o objetivo de medir a quantidade de nitrogênio disponível por uma determinada lama de ETAR para as culturas, os autores Sempiterno, Fernandes e Peixoto (2017) testaram quatro tratamentos com níveis crescentes de lama (15, 30, 60 e 90 ton/ha) e consequentemente, crescentes na dose de nitrogênio. Estes autores obtiveram um aumento na produção de biomassa até a quantidade de 60 ton/ha, que não diferiu significativamente da dose mais elevada.

Em uma cultura de milho, foram testadas doses de 20, 30, 40 e 50 ton/ha peso seco de lama como biofertilizante e a menor porcentagem de germinação foi registrada com a quantidade de 50 ton/ha de lama. Já os comprimentos máximos de raízes e área foliar, foram obtidos com a quantidade de 20 ton/ha (Qasim et al., 2001). Os autores Bozkurt e Yartilgac (2003) testaram diferentes doses de lama por dois anos e obtiveram um aumento na produção de frutos em comparação com o controle e as árvores apresentaram eficiência de produção com a dose de 75 ton/ha.

A quantidade de lamas a aplicar, pode ser feita com a quantidade de nitrogênio ou e pela concentração de metais pesados presentes (Sempiterno et al., 2021). Em Portugal,

é recomendado que a quantidade a aplicar anualmente por hectare seja de 6 toneladas, podendo variar para maiores quantidades caso o teor de metais pesados seja reduzido (Decreto-Lei 446/91). Vale ressaltar, que a quantidade pode depender também de uma série de fatores (Schowanek et al., 2004), inclusive para qual tipo de cultura será utilizada, que pode ter alguma restrição a um determinado elemento ou ser mesmo tolerante a doses mais elevadas.

Souza (2005) mostrou que a aplicação de lamas de depuração em solo com cultivo de alfaces, resultou num aumento significativo do peso fresco das alfaces comparada com o ensaio testemunha e, segundo o autor, isto pode ter ocorrido por conta dos macro e micronutrientes presentes na lama que são essenciais para a nutrição da alface (Sousa, 2005). Porém, é necessário um cuidado com o excesso de N, que causa um atraso na formação da alface e outros inconvenientes (Martinez, 2002).

Sendo assim, para o cultivo da alface e de outros tipos de hortaliças, deve ser ponderada a quantidade de fertilizante aplicado, já que podem ser sensíveis a salinidade (Maas & Hoffman, 1977), ou a acidez (Almeida, 2006). E mesmo que resulte num aumento na sua produção conforme aumenta a M.O no solo, devem evitar-se doses exageradas que podem originar problemas de fitotoxicidade (Capitão, 2020).

A alface é uma das hortaliças mais consumidas no mundo (Yuri et al., 2017) e pode ser produzida tanto em produção intensiva quanto na agricultura familiar (Alencar et al., 2012). O seu ciclo é considerado predominantemente curto, sendo em média de 45 dias, e é uma cultura que se desenvolve melhor com temperaturas amenas, com máximo de 30°C e mínima de 6°C (Radin et al., 2004). Estas culturas exigem cuidados na questão da irrigação, que precisa ser frequente, sendo necessária a manutenção do solo úmido (Geisenhoff, 2008).

Têm sido utilizados adubos de diversas origens para melhorar a produção das hortaliças (Oliveira et al., 2010). Um composto de lama de três meses, com diferentes doses (10, 20 e 40 ton/ha), fez com que o peso fresco das folhas da alface aumentasse significativamente em todas quantidades e evidenciou que a dose de 40 ton/ha resultou em valores de N e P superiores nos seus tecidos (Capitão, 2020).

Estes trabalhos que tem sido desenvolvidos com base no efeito das lamas na produção das culturas e nas propriedades do solo mostram, assim, o seu valor fertilizante, dando ênfase a adequação do seu uso na agricultura.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição do experimento

O experimento decorreu na área exterior circundante das Estufas da Escola Superior Agrária de Bragança (ESAB) com dois ciclos de alface (*Lactuca sativa*, variedade Maravilha de Verão). Foram usados vasos de polietileno com capacidade para 3 kg de solo. O solo foi recolhido na zona das estufas da ESAB, na camada 0-20 cm e tem a classificação de um Regossolo êutrico (WRB, 2015). Como principais características destaca-se o seu teor de matéria orgânica de 4%,  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  de 6,0, valores altos de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e capacidade de troca catiónica, 54,4% de areia, 23,8% de limo e 21,8% de argila, com uma textura franco-arenosa.

As lamas usadas neste trabalho foram coletadas em duas ETARs do norte de Portugal: Gelfa, pertencente ao Município de Caminha, que possui cerca de 16.000 habitantes e pertence ao distrito de Viana do Castelo, e a de Amarante, um município do distrito do Porto que serve cerca de 52.000 habitantes.

Os tratamentos que ocorrem nas ETARs visam facilitar o transporte, armazenamento e aplicação, homogeneizando e retirando o excesso de umidade do material, e são feitos de acordo com os métodos implementados em cada estação. As lamas de Gelfa foram submetidas a tratamentos como o espessamento e desidratação mecânica. As de Amarante, passaram por espessamento, digestão a 35°C e desidratação mecânica. As principais características das lamas encontram-se descritas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Características das lamas usadas no estudo

	<b>Amarante</b>	<b>Gelfa</b>
C (%)	23,56 ± 2,43	36,25 ± 0,28
N (%)	4,68 ± 0,46	6,96 ± 0,81
C/N	5,04 ± 0,03	5,28 ± 0,66
M. O. (%)	23,56	62,35
P (%)	2,30 ± 0,15	1,25 ± 0,20
K (%)	0,33 ± 0,02	0,31 ± 0,02
Ca (%)	1,45 ± 0,10	0,85 ± 0,05
Mg (%)	0,46 ± 0,05	0,25 ± 0,03
B (mg kg <sup>-1</sup> )	47,70 ± 1,40	14,58 ± 0,94
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	4778,90 ± 11,90	3481,50 ± 391,50
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	227,23 ± 6,09	54,97 ± 0,56
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	579,60 ± 20,91	419,59 ± 23,08
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	195,58 ± 6,31	118,80 ± 1,42
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	0,49 ± 0,06	0,61 ± 0,08
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	46,31 ± 3,19	17,43 ± 2,20
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	15,66 ± 2,56	16,17 ± 0,58
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	37,89 ± 3,51	10,12 ± 1,29
pH *	7,58	6,32
Matéria Seca (%) *	19,40	19,00

Resultados médios de 3 repetições de análises efetuadas na ESAB

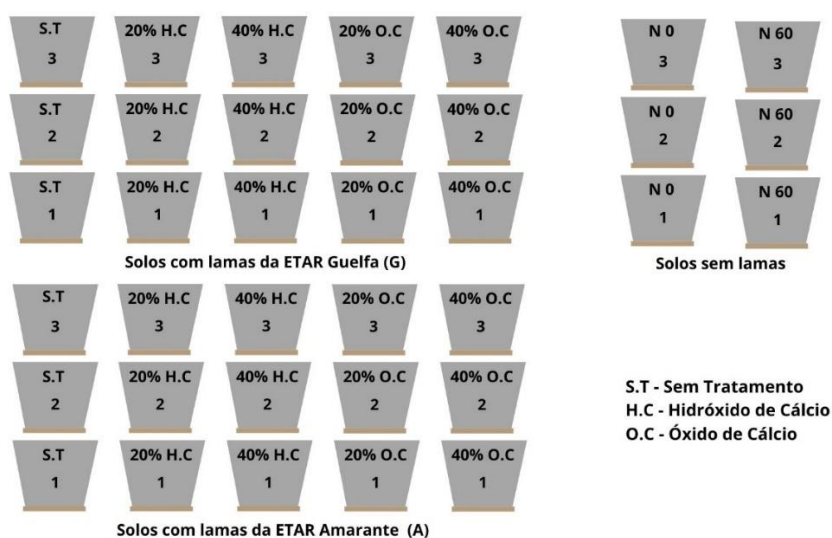
\*Dados fornecidos pela empresa ADP

Além dos tratamentos nas ETARs, as lamas foram sujeitas ainda a tratamentos com duas doses de óxido de cálcio e hidróxido de cálcio nas proporções de 20 e 40% massa/massa, tratamentos efetuados com vista à estabilização e higienização das lamas. Foram usadas também, lamas sem tratamento. A denominação de todos os tratamentos das amostras encontra-se no Quadro 1.

**Quadro 1** - Denominação dos tratamentos para identificação das amostras

Nomenclatura	Definição
A ST	Solo com lamas da ETAR de Amarante
A 20 HC	Solo com lamas da ETAR de Amarante com 20% de hidróxido de cálcio
A 40 HC	Solo com lamas da ETAR de Amarante com 40% de hidróxido de cálcio
A 20 OC	Solo com lamas da ETAR de Amarante com 20% de óxido de cálcio
A 40 OC	Solo com lamas da ETAR de Amarante com 40% de óxido de cálcio
G ST	Solo com lamas da ETAR de Gelfa
G 20 HC	Solo com lamas da ETAR de Gelfa com 20% de hidróxido de cálcio
G 40 HC	Solo com lamas da ETAR de Gelfa com 40% de hidróxido de cálcio
G 20 OC	Solo com lamas da ETAR de Gelfa com 20% de óxido de cálcio
G 40 OC	Solo com lamas da ETAR de Gelfa com 40% de óxido de cálcio
N 0	Solo sem lama e sem adubo mineral
N 60	Solo com adubo mineral

O experimento foi realizado em triplicata, logo foram usados 15 vasos para cada tipo de lama. No total foram instalados 36 vasos, com a inclusão dos tratamentos N0, sem lamas nem adubo mineral e N60, com aplicação de N na forma mineral. Na Figura 4 apresenta-se o resumo dos tratamentos deste experimento.

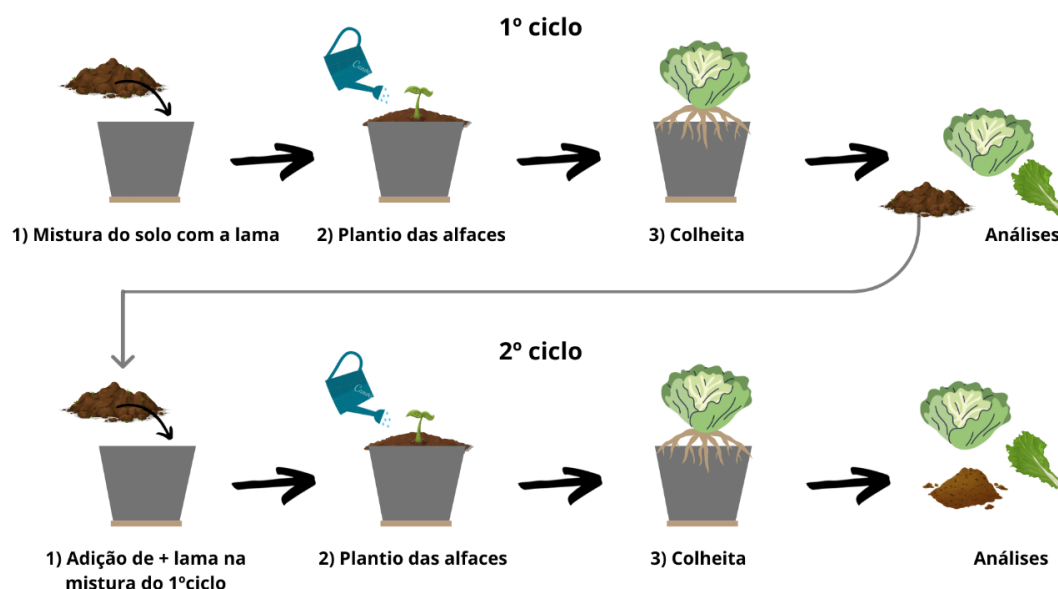


**Figura 4** - Vasos com os diferentes tratamentos

A quantidade de lamas adicionada foi então calculada com base no seu teor de umidade e teor em nitrogênio (Tabela 3) e de forma a aplicar 60 kg de N/ha, admitindo uma densidade de 140000 plantas nesta área. Assim, cada alface recebeu a quantidade de 0,43 gramas de N. Para além da aplicação do N a partir das lamas, foi incluído um tratamento com N mineral (nitrato de amônio 26%N) e um tratamento testemunha sem aplicação de N.

O primeiro ciclo de alface iniciou em 19 de maio de 2022 e teve duração de 35 dias, e o segundo ciclo iniciou em 31 de agosto de 2022, com duração de 45 dias.

O trabalho experimental foi dividido em três etapas: preparação do solo (mistura de solo com a lama), plantio das alfaces e colheita das alfaces, as quais foram direcionadas para análises (Figura 5). No segundo ciclo, após a colheita das alfaces, fez-se a separação da alface, raízes e solo. O material vegetal das alfaces dos dois ciclos foi previamente seco numa estufa de ar forçado a uma temperatura de 70°C, avaliado o peso seco e moído para posterior análise. No solo foram feitas determinações para caracterização de algumas das suas propriedades, na fração terra fina (diâmetro das partículas igual ou inferior a 2 mm).



**Figura 5** - Escopo do experimento

Em ambos os ciclos, o cultivo foi regado uma a duas vezes ao dia, dependendo do tempo, de modo a fornecer a umidade adequada para o desenvolvimento da alface. Foram colocados tábuas em torno dos vasos externos, visando garantir a mesma intensidade solar para todos tratamentos (Figura 6).



**Figura 6** - Início do experimento (primeiro ciclo)

### 3.2 Determinações nas alfaces

As folhas das alfaces foram colocadas ao sol por um dia (Figura 7a), e depois levadas para uma estufa de ventilação forçada durante 48 horas para secagem (Figura 7b). A pré-secagem teve como objetivo reduzir a concentração de umidade na estufa. Todas as alfaces tinham sacos com identificações para avaliação da biomassa produzida e para análise de minerais.



**a)**



**b)**

**Figura 7** - Secagem das alfaces ao sol (a) e após a secagem na estufa (b)

As folhas foram pesadas após secagem para obter o teor de massa seca. A matéria seca foi posteriormente moída num moinho Cyclotec com um crivo de 1mm (Figura 8). Posteriormente, foram realizadas as análises químicas para avaliar a concentração de nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn). Também foi realizada a determinação dos metais pesados como níquel (Ni), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e crômio (Cr) para avaliação da eventual presença de contaminantes.



**Figura 8** - Folhas da alface triturada

### *3.2.1 Determinação de Nitrogênio*

Pesou-se 1 grama da alface triturada e transferiu-se para um tubo de digestão para utilizar o equipamento Kjeldahl. Foi adicionado ao tubo com a amostra duas pastilhas de um catalizador e 15 mL de ácido sulfúrico concentrado (95-97%). Os tubos ficaram durante 1h20min em um digestor a 420°C. Após a digestão, aguardou-se o resfriamento e utilizou-se um equipamento automático (Kjeltec TM 8400 FOSS) para as leituras das amostras. Neste equipamento, foi adicionado hidróxido de sódio e com isso, formou-se amônia, que foi levada pela corrente de vapor e foi titulada com ácido clorídrico em solução de ácido bórico com indicadores (Bremner, 1996).

### *3.2.2 Determinação de Boro*

Pesou-se 1 g da amostra e 0,10 g de óxido de cálcio. Estes componentes foram misturados em um cadinho de porcelana até obtenção de uma mistura homogênea. Em seguida, os cadinhos foram levados a uma mufla a 500°C por 1h 30min, para ocorrer a

queima. Após o processo e os cadinhos esfriarem, adicionou 10 mL de ácido sulfúrico, agitou-se a suspensão e após 30 minutos de repouso, procedeu-se a filtração. Posteriormente, foi transferido 1 mL da amostra filtrada para tubos de polipropileno e adicionado 2 mL de uma solução de azometina-H e 2 mL de uma solução tampão a base de acetato de amônio e EDTA de sódio, para o desenvolvimento de cor. Os tubos foram agitados e depois de 30 minutos, foram realizadas as leituras no espectrofotometro de absorção molecular a 420 nm.

### *3.2.3 Fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco, manganês, níquel, chumbo, cádmio e crômio.*

Para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn e Mn procedeu-se a mineralização de 0,25 gramas de amostra com 10 mL de ácido nítrico num equipamento de digestão por micro-ondas MARSXpress. O fósforo foi determinado num espectrofotómetro de absorção molecular após o desenvolvimento de uma cor azul com uma solução de molibdato de amônio e ácido ascórbico, a 882 nm. Os restantes elementos foram determinados no espectrofotómetro de absorção atômica (PYE Unicam PU 9100X).

No mesmo extrato foram também determinadas as concentrações de Ni, Pb, Cd e Cr, com recurso ao equipamento de absorção atômica (Temminghooff & Houba, 2004).

### *3.2.4 Nitrato*

Para a determinação da concentração de nitratos na matéria seca foi pesado um grama de matéria seca moída para frascos de polietileno, ao qual foram adicionados 50 mL de água. A mistura foi agitada durante 1 hora e posteriormente filtrada com papel de filtro watman 42. Depois de feitas as diluições adequadas, os nitratos foram determinados num espectrofotómetro de absorção molecular na gama ultra violeta, com uma leitura a 220 nm e uma segunda leitura a 275 nm para eliminação de interferências associadas a presença de compostos orgânicos dissolvidos (Rice et al., 2017).

## **3.3 Análises do solo**

O solo de cada vaso foi peneirado e uma amostra foi levada para a estufa por 72 horas a uma temperatura de 40 °C. Nesta amostra foram realizadas análises de fertilidade do solo em geral e de metais pesados em particular como se segue:

### 3.3.1 Determinação do carbono facilmente oxidável e do teor de Matéria Orgânica

Para a determinação de carbono facilmente oxidável foi seguido o procedimento de Walkley-Black: foi pesado 1 grama de solo em erlenmeyer de 250 mL. Logo após, foi adicionado 10 mL de dicromato de potássio e 20 mL de ácido sulfúrico. Os erlenmeyers foram completados com aproximadamente 200 mL de água destilada, como na Figura 9, e adicionadas 3 gotas do indicador fenantrolina para realizar a titulação. Em seguida, iniciou-se a titulação com sulfato de ferro amoniacal 0,5 M até ocorrer a mudança de cor. Foi feito também um ensaio em branco, sem solo.



**Figura 9** - Solução para determinação de M.O

O cálculo do teor em C facilmente oxidável seguiu a expressão, de acordo com o método:

$$\%C \text{ facilmente oxidável} = \frac{(B-S) * M \text{ de Fe}^{2+} * 12}{\text{gramas de solo} * 4000} * 100$$

B – ml da solução de ferro necessárias para titulação do branco

S- ml da solução de ferro necessárias para titulação da amostra

M – Molaridade da solução do sulfato de ferro amoniacal

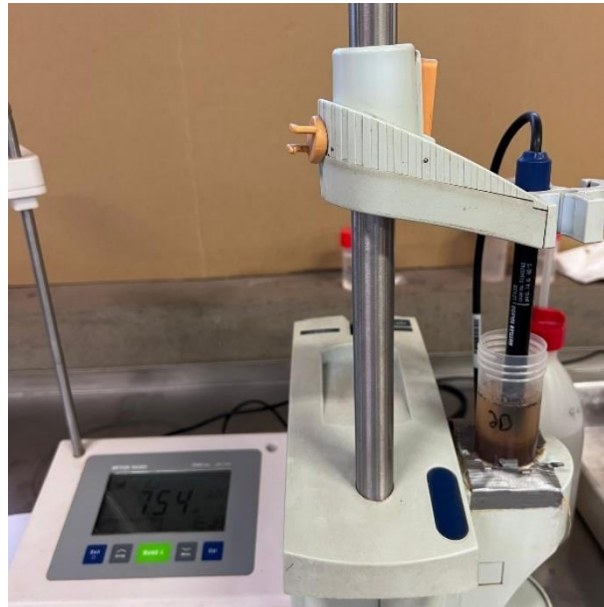
12/4000- peso de um miliequivalente de C em gramas

O teor de matéria orgânica foi calculado no pressuposto de que a matéria orgânica do solo contém 58% de carbono:

$$\% \text{ de matéria orgânica} = \%C/0.58 \text{ ou } \%C * 1,72$$

### 3.3.2 Determinação do pH

O pH foi determinado em água e em cloreto de potássio 1 M (KCl), após agitação de duas horas, com 10 g de solo para 25 mL de água e 25 mL de KCl. A leitura com ambas soluções foi realizada por potenciometria, como na Figura 10.



**Figura 10** - Leitura do pH

### 3.3.3 Determinação de Fósforo e Potássio

O fósforo e potássio do solo foi determinado após a agitação de 2 gramas com 40 mL de uma solução de ácido láctico e ácido acético (método Égner-Riehm) durante 2 horas. Após este tempo de agitação a suspensão foi filtrada. O fósforo foi determinado após o desenvolvimento de cor azul, num espectrofotômetro de absorção molecular a 882 nm e o potássio foi determinado num fotômetro de chama.

### 3.3.4 Determinação do Boro

Pesou-se 10 g de solo em sacos plásticos (15x12cm) e adicionou-se 20 mL de  $\text{CaCl}_2$ . Os sacos foram selados e colocados em um tacho, com água fervente. Após 10 minutos com os sacos dentro da água a ferver, foi retirado e deixou-se esfriar durante 10 minutos. Os sacos foram cortados e efetuou-se uma filtração para frascos de polietileno com o auxílio de papel de filtro, como na Figura 11.



**Figura 11** - Filtração na análise do boro

Foi transferida uma alíquota de 1 mL da solução da amostra filtrada em tubos de 10 mL, a qual foram adicionados 2 mL de uma solução tampão e 2 mL da solução de azometina-H para o desenvolvimento de cor. Após 30 minutos, foi realizada a leitura em um espectrofotômetro a 420 nm.

### *3.3.5 Determinação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) de bases e acidez de troca*

A CTC foi avaliada em duas partes: determinação de bases de troca e acidez de troca. Para determinação das bases de troca pesaram-se 2 gramas de solo as quais se adicionou uma solução de acetato de amônio tamponizada a pH 7,0 e agitou-se a suspensão durante 30 minutos, ao fim dos quais se filtrou a suspensão. Os cátions cálcio, magnésio, potássio e sódio foram determinados no espectrofotômetro de absorção atômica. Para determinação da acidez de troca, preparou uma mistura de 10 gramas de amostra de solo com 100 mL de solução KCl 1 M, a qual foi agitada por 30 minutos. Depois de filtrada a suspensão fez-se uma titulação com NaOH 0,1 M usando a fenolftaleína como indicador (Sims, 1996).

### *3.3.6 Micronutrientes e metais pesados*

Os micronutrientes e metais pesados foram determinados de acordo com o método descrito por Lindsay e Norvell (1978). De forma breve, 10 gramas de solo foram

misturadas com uma solução de DTPA e agitadas durante duas horas. Após este tempo, a suspensão foi filtrada e os cátions determinados no equipamento de Absorção Atômica.

Os métodos usados nestas análises são os que se encontram em vigor no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da ESAB e, salvo referência própria, encontram-se descritos em WRB (2015).

### **3.4 Análise dos dados**

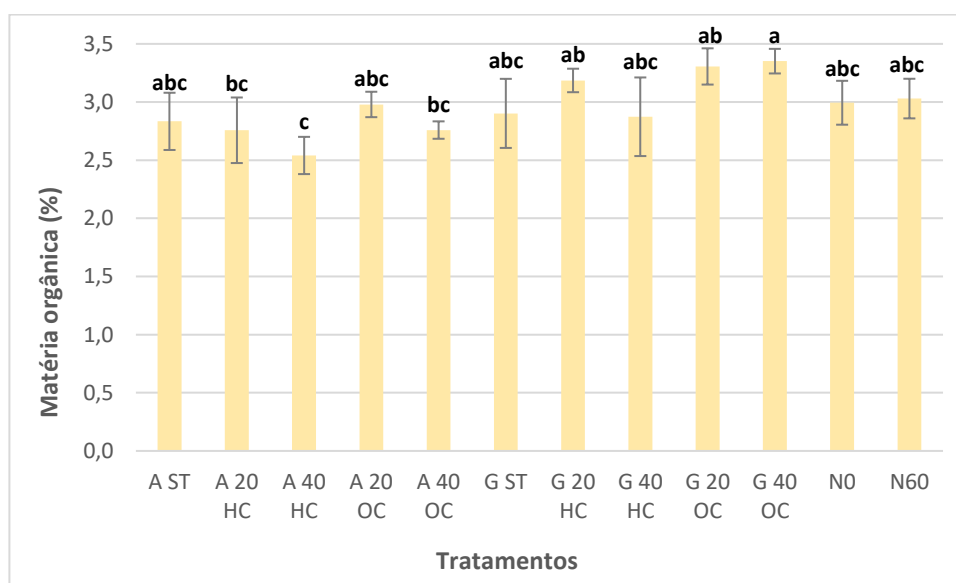
Para tratamento inicial dos dados, utilizou-se a folha de cálculo Excel, obtendo assim a média das triplicatas e o desvio padrão. Os valores foram submetidos a análise de variância ANOVA ( $P < 0,05$ ). As médias com diferenças significativas entre tratamentos foram sujeitas ao teste de comparação múltipla de médias, teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) no programa JMP

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Efeito das lamas em propriedades do solo

A aplicação de lamas incorpora matéria orgânica no solo. Na figura 12 pode-se observar que os valores de matéria orgânica variaram entre 2,5 a 3,3% nas amostras A 40 HC e G 40 OC, respectivamente. Os solos com a aplicação da lama de Amarante apresentaram valores tendencialmente inferiores comparados com a aplicação da lama de Gelfa. Não é clara a ocorrência de diferenças entre a aplicação de hidróxido de cálcio e óxido de cálcio nas amostras de lama, bem como entre estas e as amostras que não receberam tratamento de desinfecção microbiológica.

De uma maneira geral, a incorporação de substratos orgânicos no solo permite que o seu teor em matéria orgânica se mantenha em um nível mais conveniente para utilização agrícola (Costa, 1995). De acordo com INIAV (2022), valores de matéria orgânica entre 2 a 5% em solos de textura média ou fina, são designados de médios. Por outro lado, na maioria dos casos, o teor de matéria orgânica em solos com boas condições de produção não excede 5% (Costa, 1995).



**Figura 12** - Valores de matéria orgânica nas amostras de solo no fim do ensaio. ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

Um dos fatores que faz variar o teor de matéria orgânica no solo é a intensidade de decomposição (Weil & Brady, 2017). Assim, os processos a que as lamas foram submetidos podem interferir na intensidade de decomposição ou no ritmo de

mineralização. Por outro lado, segundo Dias et al. (2010) quanto maior o tempo em que a decomposição ocorre mais estável fica a matéria orgânica que vai ser aplicada, ou seja mais se avança no processo de humificação (Lhadi et al., 2004).

As lamas A (de Amarante) passaram por digestão a 35 °C, além dos tratamentos de espessamento e desidratação mecânica. Isso pode ter levado a valores inferiores de matéria orgânica comparados com os do solo tratados com as lamas de Gelfa, pois, a digestão auxilia na estabilização do material que está sendo tratado (Pires, 2015).

O solo utilizado já apresentava um teor de matéria orgânica consideravelmente elevado antes da aplicação das lamas e, talvez por isso, não tenham sido observadas mudanças relevantes, apenas se mantiveram as porcentagens próximas as da modalidade testemunha (N0), resultados que são comparáveis aos obtidos por outros autores que usaram diferentes tipos de fertilizantes (Lopes, 2014; Carvalho, 2020).

Lopes (2014) analisou o teor de matéria orgânica no solo em várias hortas na região de Bragança e obteve valores de 2,2 a 3,9%, na profundidade de 0-20 cm. Carvalho (2020) avaliou a aplicação ao solo de resíduos sólidos compostados e obteve como resultado um aumento significativo de matéria orgânica na camada superficial, sendo o valor médio de cerca de 2,8%. O autor afirma também que em um solo pouco evoluído, a adição regular de substratos orgânicos é essencial para manter o teor de matéria orgânica do solo (Carvalho, 2020).

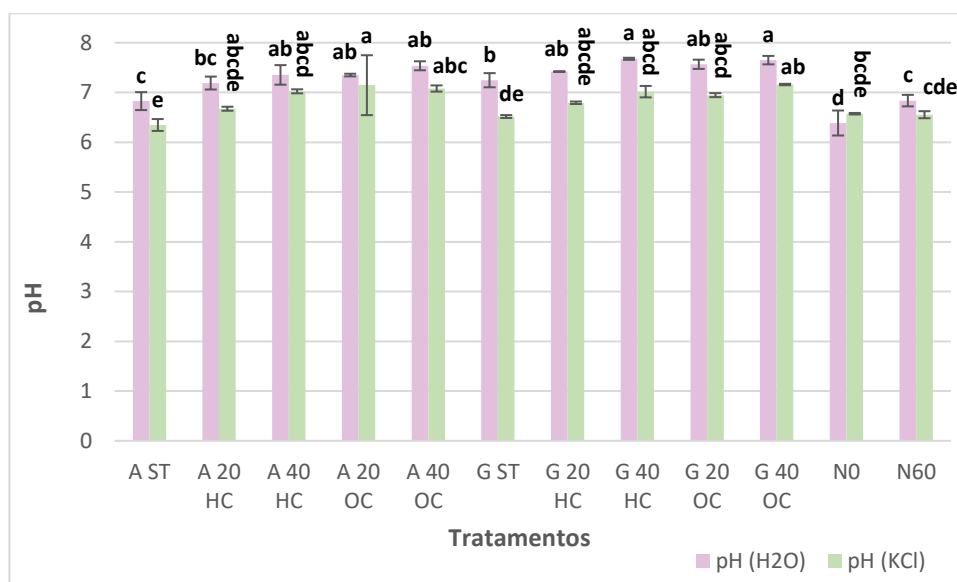
Fernandez et al. (2007) verificaram que em um cultivo de cevada uma aplicação única de elevada quantidade de lamas mistas, apresentou melhores resultados quando comparada com aplicação anual. Um estudo com aplicação de lamas durante dois anos sucessivos, resultou numa porcentagem máxima de 1,18% de matéria orgânica no primeiro ano, subindo no segundo ano para 1,71% (Penacho, 2018). Penacho (2018) destacou também, que os efeitos benéficos nas propriedades do solo são mais evidentes quando o produto orgânico se encontra mais estabilizado.

Neste presente estudo, a aplicação das lamas ocorreu em duas datas com intervalo de 4 meses, no início de cada um dos ciclos de alface. No final do segundo ciclo, as porcentagens de matéria orgânica no solo foram classificadas de médias (INIAV, 2022), demonstrando, assim, que em relação a matéria orgânica, as duas aplicações não terão sido prejudiciais. De qualquer forma, o teor de matéria orgânica maior das lamas de Gelfa (Tabela 3) acaba por resultar em valores tendencialmente maiores de M.O. no solo.

A utilização de lamas pode também fazer variar o pH do solo, sobretudo fazê-lo subir reduzindo a acidez (Sullivan, Cogger & Bary, 2007). O pH varia de 0 a 14, onde de

0-7 é considerado ácido, de 7-14 básico e próximo de 7 neutro (Andrade, 2010). A maioria das culturas tendem a crescer melhor em solos com pH próximo da neutralidade, cerca de 6,0 a 7,5. As alfaces, por exemplo, podem ser sensíveis a acidez e se desenvolvem melhor em solos com pH entre 6,5 a 7,5 (Almeida, 2016).

Pode-se observar na Figura 13, que os valores de pH (H<sub>2</sub>O) estão acima de 6 em todos os tratamentos, sendo o menor valor 6,4 para o tratamento N0 e o maior valor 7,6 para as amostras G 40 HC e G 40 OC. Ainda que este solo tivesse originalmente um pH próximo da neutralidade, fica claro que estas lamas podem contribuir para aumentar o pH em solos ácidos. As diferenças estatísticas entre tratamentos ocorreram tanto para os valores de pH em água como em KCl.



**Figura 13** - Valores de pH em função do tratamento. ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

Os tratamentos com a lamas, tanto de Amarante quanto de Gelfa, apresentaram os menores valores de pH (H<sub>2</sub>O) sem tratamento com óxido ou hidróxido de cálcio. Isto pode ter ocorrido pelo fato de que, o hidróxido e óxido de cálcio são considerados corretivos de acidez (EMBRAPA, 2004). Assim então, tanto a concentração de 20 como de 40%, contribuiriam para o aumento do pH. Em geral, os valores de pH em água são maiores que em KCl, pelo fato de que KCl em contato com a amostra induz uma troca de cátions liberando íons H<sup>+</sup>, levando, assim, a um aumento na acidez (Ebeling et al., 2008).

Com o objetivo de avaliar formas para gestão do solo, Nanvaro (2019) testou a aplicação de herbicida, pastoreio e mobilização em olival e obteve um valor médio de pH

(H<sub>2</sub>O) de 5,5. No mesmo ensaio alguns anos antes, o pH (H<sub>2</sub>O) variou de 4,8 a 5,7 fora da copa, em uma profundidade de 0 a 20 cm (Makilutila, 2017).

Chiochetta Junior (2019) estudou o efeito no pH do solo de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes, de fertilizantes minerais convencionais, de um corretivo orgânico (estrume de vaca) e uma modalidade testemunha sem fertilização. O autor obteve valores de pH entre 5 a 5,5 aproximadamente, que foi classificado de ácido (Chiochetta Junior, 2019). Ressaltando que a grande maioria das culturas se desenvolve melhor em solos com pH próximos a neutralidade, a aplicação de lamas pode ser uma técnica importante para o aumento do pH, comparada com outros métodos de gestão de solo.

A aplicação de lamas residuais urbanas durante dois anos, em diferentes concentrações e quantidades, resultou em um pH entre 7,5 a 7,8 no primeiro ano e 6,1 a 7,1 no segundo (Penacho, 2018). Mesmo com uma redução no segundo ano, o pH se manteve próximo a neutralidade. Os resultados apresentados na Figura 13 foram obtidos ao final do segundo ciclo, onde ocorreu uma segunda aplicação de lamas no solo e, ainda assim, o pH (H<sub>2</sub>O) apresentou valores acima de 6,4, que pela escala adotada em Portugal (escala de Prato Longo) é neutro e subalcalino (Costa, 1995; INIAV, 2022).

Os cátions de troca dominantes nos solos que apresentam uma reação neutra a alcalina são denominados bases de troca, sendo eles cálcio, magnésio, potássio e sódio (Costa, 1995). Na Tabela 4 estão apresentados os valores destes elementos para todos os tratamentos e também a capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe).

**Tabela 4** - Bases do complexo de troca e capacidade de troca catiônica efetiva em função dos tratamentos

	cmol(+)/kg					CTCe
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	AT	
<b>A ST</b>	11,34 ± 2,35	4,65 ± 0,12	0,26 ± 0,01	0,42 ± 0,03	0,10 ± 0,10	16,76 ± 0,21
<b>A 20 HC</b>	12,65 ± 1,85	4,14 ± 0,74	0,21 ± 0,01	0,38 ± 0,02	0,07 ± 0,06	17,44 ± 0,23
<b>A 40 HC</b>	14,38 ± 1,28	4,23 ± 0,46	0,22 ± 0,04	0,45 ± 0,14	0,07 ± 0,06	19,34 ± 0,10
<b>A 20 OC</b>	14,44 ± 1,74	4,12 ± 0,29	0,25 ± 0,01	0,55 ± 0,09	0,10 ± 0,00	19,45 ± 0,21
<b>A 40 OC</b>	15,03 ± 1,95	3,75 ± 0,74	0,20 ± 0,02	0,44 ± 0,15	0,03 ± 0,06	19,44 ± 0,40
<b>G ST</b>	13,10 ± 0,86	4,85 ± 0,63	0,24 ± 0,03	0,49 ± 0,12	0,10 ± 0,00	18,78 ± 0,26
<b>G 20 HC</b>	16,14 ± 0,83	5,16 ± 0,35	0,26 ± 0,01	0,55 ± 0,13	0,03 ± 0,06	22,14 ± 0,14
<b>G 40 HC</b>	15,45 ± 3,53	4,45 ± 0,73	0,21 ± 0,00	0,41 ± 0,05	0,13 ± 0,06	20,64 ± 0,42
<b>G 20 OC</b>	15,27 ± 3,04	4,15 ± 0,40	0,26 ± 0,01	0,53 ± 0,10	0,07 ± 0,06	20,28 ± 0,29
<b>G 40 OC</b>	20,98 ± 9,40	5,95 ± 2,75	0,24 ± 0,02	0,37 ± 0,03	0,10 ± 0,00	27,63 ± 1,24
<b>N0</b>	13,60 ± 0,14	5,94 ± 0,12	0,29 ± 0,01	0,45 ± 0,04	0,13 ± 0,06	20,41 ± 0,04
<b>N60</b>	14,45 ± 0,54	5,97 ± 0,16	0,23 ± 0,00	0,43 ± 0,03	0,10 ± 0,00	21,18 ± 0,10

ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

Não há diferença estatística significativa entre as amostras. O  $\text{Ca}^{++}$  foi o elemento que mais contribuiu para a capacidade de troca catiônica, seguido do  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ . Segundo Weil e Brady (2017), esta é a ordem mais frequentemente encontrada nos solos agrícolas.

A relação Ca:Mg é de extrema relevância para as propriedades químicas e físicas do solo (Barreto et al., 2008) e também para a produtividade das culturas. De acordo com Lange et al. (2021), o acúmulo de massa seca e da parte aérea da soja e do milho, foi melhor com uma proporção Ca:Mg de 4:1. É possível observar na Tabela 3 que esta proporção depende do tratamento, variando desde 2,5:1 (A ST, G ST, N0 e N60) até 4:1 (A 40 OC). Os demais tratamentos, apresentam uma relação aproximada Ca:Mg de 3,5:1.

A aplicação de cal pode alterar as concentrações destes elementos (Lange et al., 2021). Os maiores teores de  $\text{Ca}^{++}$  em cada grupo de solo com as lamas foram observados nas amostras A 40 OC e G 40 OC, o que pode ser justificado pela maior porcentagem de aplicação de óxido de cálcio (40%). Os menores valores em cada grupo foram obtidos nos tratamentos A ST e G ST, que são os que não receberam tratamento com produto alcalinizante.

O uso de RSU conduziu a um aumento de cálcio e uma diminuição de magnésio, obtendo-se variações de 7,7 para 12,1  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  em cálcio e 3,31 para 5,48  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  em magnésio (Carvalho, 2020). Ainda no estudo de Carvalho (2020) a CTC variou significativamente de 14,4 para 17,2  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ . Já em um solo com hortas, o Ca variou de 14,2 até 17,5  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , o Mg de 3,9 a 5,5  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  e a CTC de 21,2 a 24,2 (Lopes, 2014), valores semelhantes aos que foram obtidos neste estudo.

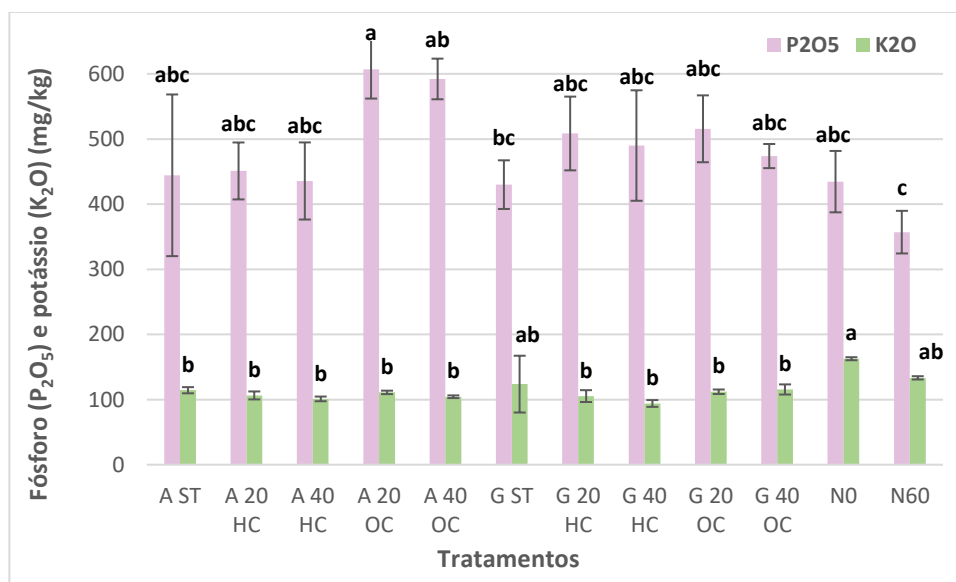
O  $\text{Ca}^{++}$  variou de 11,34 a 20,98  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , o  $\text{Mg}^{++}$  variou de 3,75 a 5,97  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  e a CTC de 16,76 a 27,63  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ . O menor valor de  $\text{Na}^+$  foi registrado no tratamento G 40 OC e o maior foi observado no tratamento A 20 OC, 0,37 e 0,55  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  respectivamente. O menor valor de  $\text{K}^+$  foi do tratamento A 40 OC, sendo 0,2  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  e o maior foi do tratamento testemunha, 0,29  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ . De acordo com os resultados da capacidade de troca catiônica e das bases de troca do solo, a classificação é alta para CTC,  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  e média para  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  (INIAV, 2022). Estes valores elevados de Ca e Mg estão de acordo com a natureza ultrabásica do material originário destes solos (Afonso, 2006).

Em relação ao fósforo e potássio no solo, destacam-se os valores genericamente elevados de fósforo no solo, como se pode ver na Figura 14. Esta figura também mostra um contributo significativo das lamas para o fósforo do solo. O maior valor obtido de

fósforo foi registrado no tratamento A 20 OC, com cerca de 607 mg/ de fosforo kg expresso em  $P_2O_5$  que diferiu significativamente do valor registrado em G ST e N60.

Nota-se que os tratamentos com lamas de Amarante não diferiram significativamente entre si, o que pode estar relacionado com a sua maior concentração neste nutriente, relativamente a lama de Gelfa (Tabela 3). Neste grupo de tratamentos (G), os valores de fósforo no solo foram significativamente mais elevados que o do tratamento G ST. A adição de óxido ou hidróxido de cálcio contribuiu possivelmente para a alteração ou mineralização mais eficiente da lama que terá colocado maior quantidade deste nutriente no solo. No grupo de solos com lama de Gelfa, também foi a amostra com 20% de óxido de cálcio (G 20 OC), que registrou os maiores valores de fósforo com 515,7 mg/kg  $P_2O_5$ .

Nos tratamentos sem lama (N0 e N60) registou-se o menor valor observado no tratamento N60, designadamente 357 mg/kg de  $P_2O_5$ . Como se verá na produção de matéria seca de alface, este tratamento teve a maior produção que deverá ter retirado mais fósforo do solo, comparado com a produção do tratamento N0. Estudos comparando a aplicação de lamas de ETAR, compostos de RSU e compostos de resíduos agrícolas, mostraram maiores valores de fósforo extraível com as lamas, numa aplicação de 24 t/ha (Penacho, 2018), resultados semelhantes aos deste trabalho.



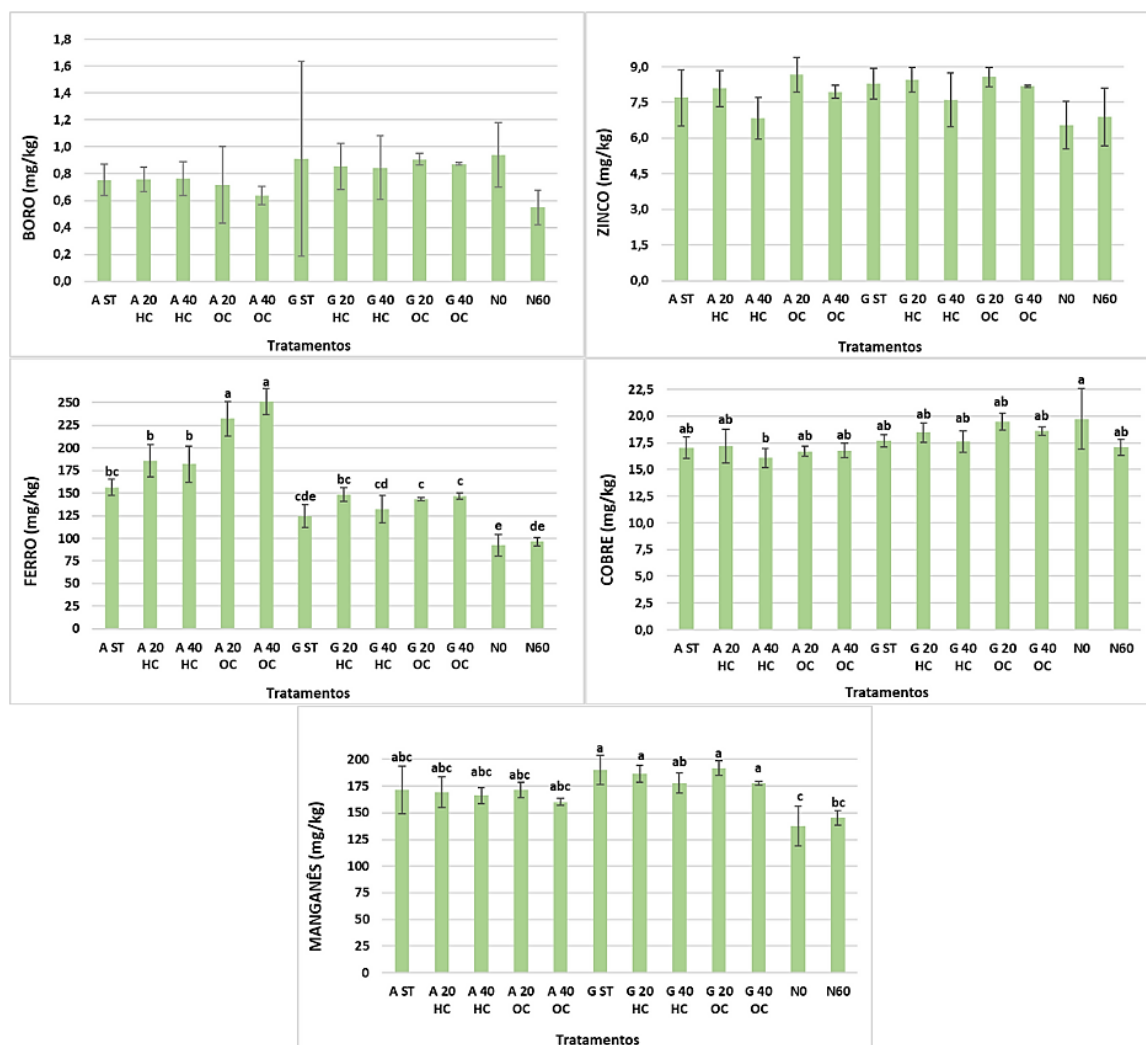
**Figura 14** - Valores de fósforo e potássio extraíveis em função dos tratamentos com lamas. ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

Pode-se visualizar ainda na Figura 14 que a variação e concentração do potássio foi menor, alterando de 94 para 162 mg/kg expresso em  $K_2O$ , nos tratamentos G 40HC e N0, respetivamente.

De acordo com a classificação de fertilidade do solo para fósforo, elaborada por INIAV (2022), os valores obtidos estão muito altos ( $>200$  mg/kg,  $P_2O_5$ ). Para potássio a classificação seria alta, uma vez que os teores estão entre 100-200 mg/kg de  $K_2O$  (INIAV, 2022). No caso do potássio, uma pequena parte encontra-se adsorvida no complexo de troca e outra dissolvida na solução do solo, formando assim o potássio disponível (INIAV, 2022).

O teor de potássio extraível em um solo com cultivo de oliveira, apresentou o valor mais alto em 174 mg/kg  $K_2O$  na profundidade 0-5 cm fora da copa (Makilutila, 2017). Um outro estudo com a aplicação de lamas em solo, obteve o maior teor em torno de 221 mg/kg  $K_2O$  (Penacho, 2018). Para o desenvolvimento das plantas o potássio é importante em diversas situações culturais (Portela e Abreu, 2018). Neste trabalho, a aplicação de lamas não resultou num aumento significativo deste elemento no solo o que poderá estar relacionado com o seu teor relativamente reduzido em ambas as lamas.

No que respeita aos micronutrientes, os valores de boro, zinco, ferro, cobre e manganês estão apresentados na Figura 15.



**Figura 15** - Valores dos nutrientes boro, zinco, ferro, cobre e manganês amostrados função dos tratamentos com lamas.

Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

O maior teor em boro, cerca de 0,94 mg/kg, foi encontrado nos tratamentos sem aplicação de lamas e na testemunha. Os solos tratados com as lamas de Gelfa apresentaram valores próximos entre si e mais altos que os das demais amostras, variando entre 0,9 a 0,84 mg/kg para G ST e G 40 HC, respectivamente, mas ainda assim, não foi obtida diferença estatística entre tratamentos. O menor teor foi obtido na amostra N60, com 0,55 mg/kg.

O boro é um micronutriente que não fica retido facilmente no solo. Possui uma mobilidade elevada e sua carência ou lixiviação pode ocorrer em solos com mais cal (INIAV, 2022). O maior teor encontrado foi na amostra sem a aplicação de óxido ou hidróxido de cálcio e N0, o que pode justificar uma possível adsorção deste nutriente nesta amostra de solo. A classificação de fertilidade para o boro, segundo Costa et al.

(1999), LQARS (2006) e INIAV (2022), seria de médio, a que correspondem valores entre 0,41-1,0 mg/kg.

A aplicação de RSU em um solo gerou um aumento significativo no teor de boro na camada superficial, chegando a 1,34 mg/kg (Carvalho, 2020). Em outro estudo, com aplicação de composto orgânico, nitrato de amônio, fertilizante estabilizado e fertilizante de liberação controlada, o nível de fertilidade para o boro também foi médio (Chiochetta Junior, 2019; INIAV, 2022). Os trabalhos citados apresentaram assim valores semelhantes nas amostras.

Alguns autores destacam que os teores de cobre, ferro, manganês e zinco podem diminuir com o aumento de pH, ainda mais quando se adiciona algum tipo de calcário (Carmargo et al., 1982). Em relação aos teores de zinco, não houve um padrão para cada grupo de lamas nem diferença estatística significativa. O maior valor foi obtido no tratamento A 20 OC, sendo 8,7 mg/mg, e o menor valor foi 6,55 mg/kg registrado no tratamento N0.

Já para o cobre, ocorreu diferença estatística, onde o maior teor foi obtido no tratamento N0, sendo o valor médio de 19,7 mg/kg. O menor teor foi observado no tratamento A 40 HC, com 16,0 mg/kg. Os tratamentos com a lama de Amarante apresentaram valores próximos entre si, sendo o máximo de 17,2 mg/kg. De qualquer forma, esta diferença significativa identificada não deverá ter nenhum significado particular. De acordo com a classificação do INIAV (2022), o zinco apresenta nível alto em todas as amostras e o cobre está em nível muito alto.

Hendges (2020) obteve valores entre 6,1 a 9,9 mg/kg de Cu e 2,6 a 3,9 mg/kg de zinco em solos com diversos tratamentos. Com a aplicação de lamas residuais urbanas (LRU) em solo durante três anos experimentais, Serrão et al. (2018) demonstraram que é possível ter um aumento nos teores de zinco e cobre utilizando LRU, mas não ultrapassando o limite de concentração permitido pela legislação em vigor.

Ainda assim, os valores obtidos de cobre e zinco e apresentados na Figura 15 estão muito abaixo do que é permitido pelo Decreto-Lei 276/2009, tanto em relação ao valor limite para uso em solo agrícola quanto em relação aos valores de pH do solo.

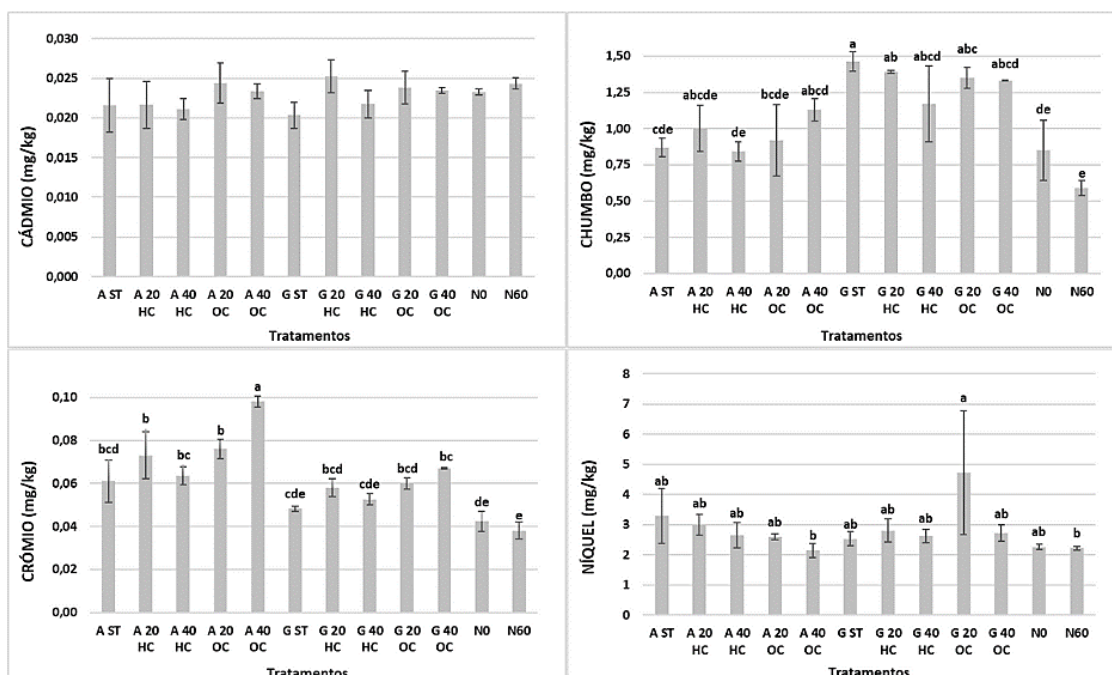
A Figura 15 mostra o maior contributo para o ferro do solo associado aos tratamentos com lamas de Amarante. Considerando os restantes tratamentos também se verifica a adição de ferro com as lamas de Gelfa relativamente aos tratamentos sem lamas, ainda que numa proporção menor. O maior valor foi de 251 mg/kg no tratamento A 40 OC. O menor valor entre todos os tratamentos, foi registrado em N0, com 92,2 mg/kg. Os

solos com as lamas de Gelfa apresentaram uma variação de 124,5 a 148,2 mg/kg, nos tratamentos G ST e G 20 HC, respectivamente. Os valores de manganês variaram de 137,8 (N0) a 191,8 mg/kg (G 20 OC), sendo os valores estatisticamente diferentes.

Vale destacar que o tratamento N0 apresentou os maiores teores de boro e cobre e os menores teores de zinco, ferro e manganês. A presença de um teor maior em cobre, favorece a diminuição e/ou deficiência em ferro e manganês (Resende, 2005) o que pode ter ocorrido com o tratamento N0. De forma resumida, pode dizer-se que as lamas adicionaram ferro e manganês ao solo, sendo a lama de Amarante a que adicionou mais ferro. No entanto, as quantidades incorporadas não contribuíram para a degradação da qualidade do solo.

Uma das maiores preocupações com o uso de lamas de depuração em solos agrícolas é a contaminação e lixiviação de metais pesados (Rizzardini & Goi, 2014; Decreto-Lei nº276/2009). Alguns autores destacam a necessidade de um bom acompanhamento em caso de aplicação contínua das lamas, para evitar o acúmulo desses elementos no solo (Serrão et al., 2007; Rizzardini & Goi, 2014).

Na Figura 16 apresentam-se os teores dos metais pesados cádmio, chumbo, crômio e níquel encontrados nas amostras. Apenas para o cádmio não ocorreu diferença estatística ( $P>0,05$ ) entre tratamentos.



**Figura 16** - Teores de metais pesados no solo em função dos tratamentos. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

O teor de cádmio variou entre 0,02 a 0,025 mg/kg para os tratamentos G ST e G 20 HC, respetivamente. Este é um dos metais que pode ser considerado mais perigoso, devido a sua alta mobilidade no solo, sendo é indicativo que o solo tenha teores médios de cádmio que variem entre 0,01 a 1 mg/kg (INIAV, 2022). Os valores observados não apresentaram diferenças significativas ( $P>0,05$ ) entre tratamentos e estão dentro do padrão para solo e muito abaixo do permitido pela legislação, quando há aplicação de lamas no solo (Decreto-Lei nº276/2009).

Em relação ao crómio, a Figura 16 mostra claramente um contributo das lamas para o teor deste elemento no solo. A lama de Amarante incorpora mais Cr no solo do que a lama de Gelfa, mas os valores são superiores aos dos tratamentos sem lamas. O menor teor foi de 0,04 mg/kg no tratamento N60 e o maior foi de aproximadamente 0,1 mg/kg no tratamento A 40 OC. Este elemento metálico apresenta baixa mobilidade no solo, sendo difícil sua introdução na cadeia alimentar. O seu teor no solo é dificilmente detetável (INIAV, 2022).

O chumbo também parece ser incorporado no solo com a adição das lamas. Os tratamentos de Gelfa estão associados aos maiores valores. O menor teor foi registrado no tratamento N60, com 0,6 mg/kg e o maior foi no tratamento G ST, com 1,5 mg/kg.

Ao contrário do crómio, o menor teor de níquel foi obtido no tratamento A 40 OC (2,1 mg/kg) já o maior foi em G 20 OC (4,7 mg/kg). De qualquer forma, o padrão dos resultados não indicia uma razão clara para as diferenças significativas verificadas e provavelmente estarão associadas apenas a variabilidades experimental.

Pode dizer-se que ambas as lamas incorporaram chumbo e crómio no solo, tendo sido a lama de Gelfa a que incorporou mais chumbo e a de Amarante a que incorporou mais crómio, ainda assim sem riscos de degradação da qualidade do solo.

Na pesquisa de Penacho (2018) as concentrações de crómio, cádmio e níquel não aumentaram com a aplicação de resíduos orgânicos ao solo, e os teores de chumbo foram muito baixos. Um experimento com a aplicação de lamas residuais em dois tipos de pastagem, com solos considerados ácidos, não obteve aumento de metais pesados e ainda apresentou aumento significativo em relação alguns nutrientes essenciais (Serrão et al., 2018).

Pedra e Castel-Branco (2018) analisaram as características físico-químicas de lamas de depuração que foram aprovadas pelas Direções Regionais de Agricultura e Pescas (DRAP). Concluíram que os teores de metais pesados são superiores para as LRU comparando com as lamas de outras origens (como a lama de produção da pasta de papel)

mas, ainda assim, os teores são muito inferiores aos valores limites previstos nos D.L n°276/2009.

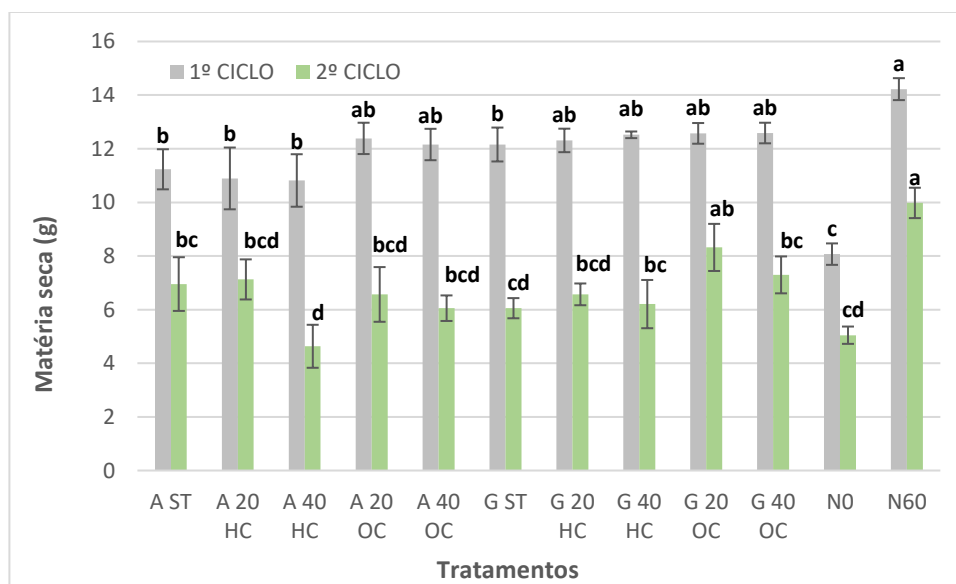
Neste estudo, os resultados obtidos para todos os metais analisados e para todos os tratamentos, estão muito abaixo do limite estabelecido pelo Decreto-Lei n° 276/2009. Nenhum apresentou risco de contaminação, mesmo com a segunda aplicação de lama no solo.

## 4.2 Efeito da aplicação das lamas na cultura da alface

### 4.2.1 Produção de matéria seca

A análise dos tecidos vegetais é necessária para saber a condição nutricional de uma cultura e da adubação/fertilização que está sendo utilizada (Resende, 2005). Para o crescimento normal das plantas, inclusive da alface, é preciso que sejam fornecidos todos os elementos em quantidades suficientes (Malavolta, 1980). A deficiência de nutrientes pode acarretar uma redução na matéria seca das plantas, gerando consequentemente, uma redução no rendimento.

Na Figura 17, está apresentada a quantidade de matéria seca da alface para cada tratamento nos dois ciclos.



**Figura 17** - Valores de matéria seca das alfaces nos dois ciclos.

ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

Pode-se observar que a matéria seca das alfaces, em todos os tratamentos, foi maior no primeiro ciclo do que no segundo ciclo. Também é clara a necessidade de nutrientes pois o tratamento sem aplicação de nitrogênio mostrou os valores mais baixos de produção. A aplicação de lamas mostrou ser importante na disponibilização de N para a alface e, genericamente, as características da lama de Gelfa mostraram ser melhores na disponibilização dos nutrientes já que estão associadas aos maiores valores de produção, quando comparadas com as da lama de Amarante.

A produção no primeiro ciclo variou entre 8,1 g e 14,2 g nos tratamentos N0 e N60, respectivamente. No segundo ciclo a variação foi entre 4,6 g no tratamento A 40 HC e 9,9 g no tratamento N60. Apesar de em ambos ciclos o tratamento com adubo mineral (N60) ter acarretado um maior valor de matéria seca, as amostras com aplicação de lamas, tanto de Amarante quanto de Gelfa, atingiram valores significativamente maiores que os da testemunha.

Um estudo avaliando o desenvolvimento da alface em solo com diferentes valores de pH, contendo como substrato uma mistura de pó de coco com vermiculite, obteve valores em média de 3,91 g/planta (Marrocos et al., 2007). Já um outro estudo de cultivo de alface em dois ciclos, comparando amostras sem fertilização mineral e com fertilização mineral, obteve valores de matéria seca abaixo de 8 g e abaixo de 16 g, respectivamente (Seixas, 2020), valores semelhantes aos encontrados neste trabalho.

A reaplicação de lama pode acarretar algumas complicações para as culturas (Rizzardini & Goi, 2014), o que poderia justificar a redução de matéria seca em todos os tratamentos no segundo ciclo. Porém, essa redução ocorreu também no tratamento N0, o qual não recebeu aplicação de lamas ou de adubo mineral. Outros fatores como o clima podem também ter influenciado.

Durante o segundo ciclo, as temperaturas foram mais elevadas, devido a estação de verão. Segundo Brunini et al. (1976) a temperatura média mais indicada para o bom desenvolvimento da alface varia de 15 a 18 °C, com máxima de 21 a 24 °C, temperaturas que ocorreram durante o primeiro ciclo.

Na Figura 18 e 19, pode-se observar a diferença do tamanho das folhas das alfaces durante o primeiro e segundo ciclo, sendo maior e mais volumosa no primeiro, mesmo tendo a duração menor que o segundo.



**Dia 1**



**Dia 13**



**Dia 34**

**Figura 18** – Crescimento das alfaces no 1º ciclo



**Dia 1**



**Dia 20**

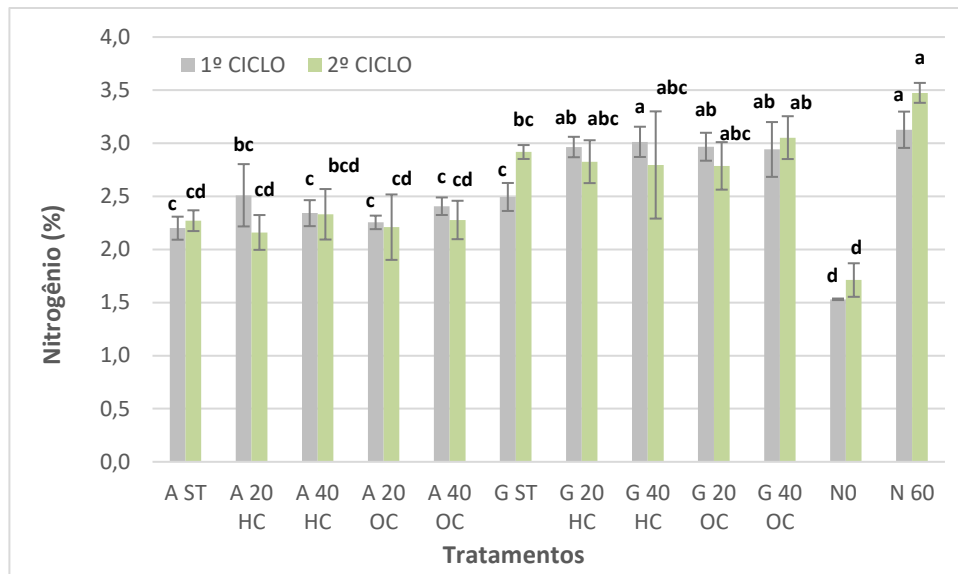


**Dia 41**

**Figura 19** – Crescimento das alfaces no 2º ciclo

#### *4.2.2 Análise foliar*

O nitrogênio é o elemento que mais limita o crescimento e desenvolvimento das culturas e está muito associado com a matéria orgânica do solo (INIAV, 2022). O teor de nitrogênio encontrado nas alfaces em cada um dos diferentes tratamentos, nos dois ciclos, está apresentado na Figura 20.



**Figura 20** - Valores de nitrogênio (%) nas alfases nos dois ciclos.

ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

O menor teor de nitrogênio foi obtido nas alfases do tratamento N0, com 1,53% no primeiro ciclo e 1,71% no segundo ciclo. O maior teor, em ambos os ciclos, foi no tratamento N60 com 3,1% e 3,5%, tendo sido verificada a maior porcentagem no segundo ciclo. Este fenômeno deve-se a uma maior concentração do nutriente numa produção menor. Apesar dos maiores teores serem da alface no tratamento N60, os teores nos tratamentos com aplicação de lamas apresentaram um aumento significativo, comparados com a testemunha.

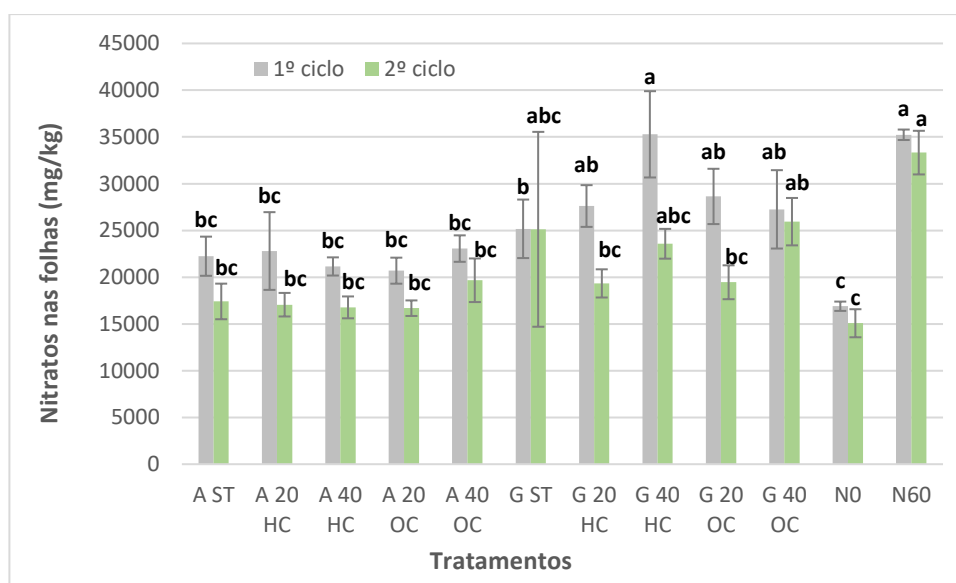
De notar ainda a já referida melhor condição da lama de Gelfa para a fertilização das culturas, já que as alfases dos tratamentos associados a esta lama apresentaram concentrações maiores de N nos tecidos do que as alfases com lama de Amarante. De acordo com Bryson et al. (2014) a concentração em N nas folhas da alface tem valores normais entre 2,4 e 4,0%. A Figura 20 mostra que quase todas as alfases dos tratamentos com lamas de Amarante, apresentam valores no limiar da deficiência e N0 apresenta uma deficiência clara do nutriente.

Nas alfases cultivadas com os tratamentos A ST, G ST, G 40 OC e N60, os valores obtidos no segundo ciclo foram superiores ao primeiro. Segundo Ferreira (2017) o teor de nitrogênio encontrado nas folhas de alface, cultivadas em solo com composto orgânico de resíduos de cunicultura, variou de 10,9 a 23,9 g/kg, o que equivale a uma porcentagem de 1,09% e 2,39%, respetivamente.

Na pesquisa de Ladeira (2017) os maiores teores de nitrogênio nas folhas de alface foram em amostras de tratamento com adubo mineral, assim como apresentado na Figura 20, onde os maiores teores foram observados no tratamento N60, tanto no primeiro quanto no segundo ciclo. Este comportamento pode ser esperado pois as plantas absorvem mais rápido o nitrogênio a partir desses fertilizantes (Ladeira, 2017).

Estudos com adubação direta de nitrogênio, fósforo e potássio apresentam valores semelhantes aos encontrados nesse trabalho, com a aplicação de lama. Raimundo (2021) encontrou teores de nitrogênio nas folhas acima de 20,5 g/kg, o que equivale a 2,05%. Seixas (2020) obteve teores entre 26,8 a 30,1 g/kg com fertilização mineral, que é 2,68% e 3,01% respectivamente. Todos os autores citados obtiveram valores de nitrogênio semelhantes aos encontrados neste trabalho.

A maior parte de nitrogênio absorvido pelas plantas é sob a forma de nitrato (INIAV, 2022). Pode-se observar na Figura 21 a quantidade de nitrogênio na forma de nitrato nas alfaces.



**Figura 21** – Teor de nitrato nas alfaces

ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

Houve diferença estatística ( $P<0,05$ ) entre os tratamentos em ambos os ciclos. Os resultados seguem a tendência do teor de N total na matéria seca, com os tratamentos com N mineral a apresentarem o maior (N60) e menor (N0) valores de nitratos nos tecidos e os tratamentos com lama de Gelfa a apresentarem valores superiores aos dos tratamentos com lama de Amarante. O maior teor de nitratos no primeiro ciclo foi obtido no

tratamento G 40 HC e o menor na testemunha. Assim como no primeiro ciclo, o menor teor obtido no segundo ciclo foi na a testemunha, mas já o maior, foi no tratamento N60. A concentração de nitrato em hortaliças depende da adubação, da colheita e do tempo de armazenamento, por isso a padronização de metodologias analíticas é importante (Turazi et al., 2006).

É de extrema importância controlar o teor de nitratos nos alimentos pois, esses podem se transformar em nitritos e causar danos no organismo humano (Gonçalves & Coringa, 2017). A Comunidade Europeia estabeleceu, limites máximos de nitrato em alfaces, que variam de 2500 mg a 4500 mg por kg de matéria fresca (EC nº563/2002) o que significa valores na ordem dos 16000 a 35000 mg por kg de matéria seca, já que estas alfaces apresentaram um teor médio de umidade de 85%. Com base neste pressuposto N60 e G40 HC podem estar no limite do teor de nitratos permitido.

Mas por outro lado, a deficiência de nitrogênio diminui a qualidade das espécies hortícolas e faz com que as folhas apresentem uma coloração mais clara (INIAV, 2022). Outros nutrientes como fósforo e potássio também podem acarretar o amarelamento das folhas. Autores que avaliaram os aspectos físicos da alface, notaram um aumento da intensidade da cor purpura nas margens da folha por conta da falta de fósforo e potássio (Cecílio Filho et al., 2020).

É possível observar na Figura 22 que ocorreu um início de clorose nas folhas embora neste caso seja típico da variedade.

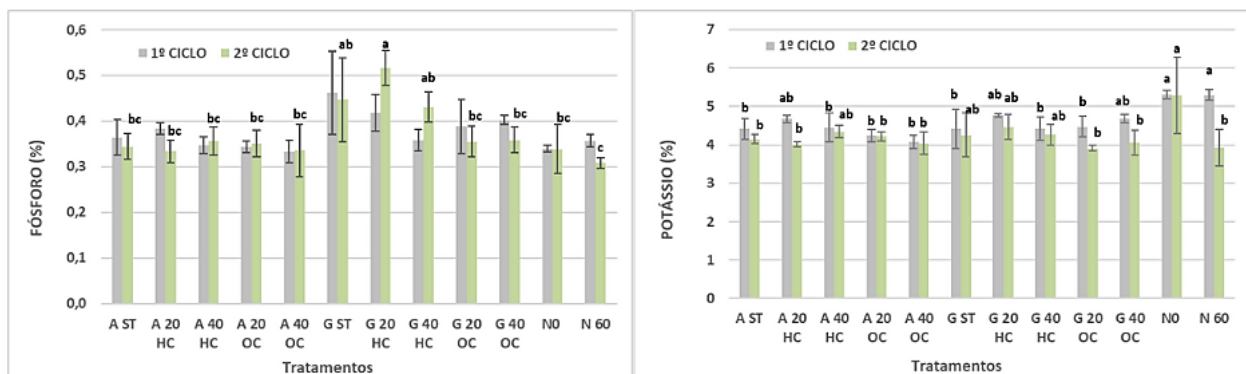


**Figura 22** – Coloração típica da variedade das folhas da alface

Os teores de fósforo e potássio obtidos nas folhas das alfaces apresentam-se na Figura 23. No primeiro ciclo, o teor de fósforo variou de 0,33% a 0,46% para o tratamento A 40 OC e G ST. Não se registraram diferença estatísticas ( $P > 0,05$ ) entre tratamentos. Já

no segundo ciclo, o menor teor de fósforo foi 0,30% no tratamento N60 e o maior foi 0,51% no tratamento G 20 HC, ocorrendo diferença estatística entre os tratamentos.

Em relação ao potássio, o menor teor também foi encontrado no tratamento A 40 OC, com 4,08%, já o maior foi 5,31% no tratamento N0 no primeiro ciclo e no segundo, os valores variaram de 3,91% a 5,28%, nos tratamentos G 20 OC e N0, respectivamente e com diferença estatística ( $P < 0,05$ ).



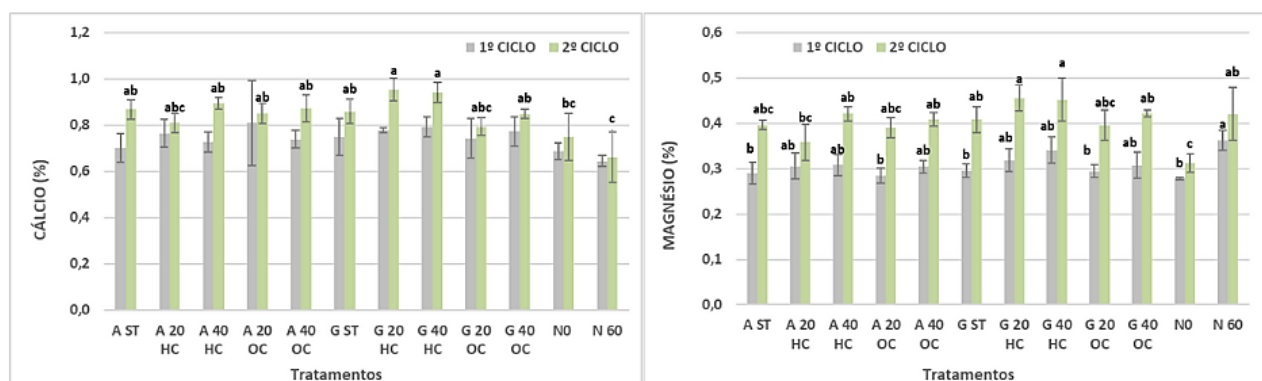
**Figura 23** – Concentrações de fósforo e potássio em função dos tratamentos com lamas nos dois ciclos de alface  
ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

De acordo com Bryson et al., (2014) os teores normais de fósforo e potássio nas folhas desenvolvidas de alface, variam de 0,4 a 0,6% em fósforo e 5,5 a 8,0% em potássio. Apenas os tratamentos G ST e G 20 HC apresentaram teores superiores a 0,4% em fósforo e potássio, e nenhuma amostra apresentou teores médios acima de 5,5%.

No estudo de Ferreira (2017) os teores de potássio variaram de 3,98% a 5,38%, considerados também, inferiores aos valores indicados por Bryson et al., 2014. Para Seixas (2020) o maior teor de fósforo e potássio encontrados nas alfaces em tratamentos com fertilização mineral foram de aproximadamente 0,33% e 9,0%, respectivamente. Este solo contém teores altos de cálcio no solo que podem imobilizar o fósforo, tornando difícil a sua absorção por parte da planta. Nos solos das imediações das estufas da ESA este é um fenômeno recorrente.

Em relação aos teores de cálcio e magnésio, todos foram superiores nas alfaces do segundo ciclo (Figura 24), o que pode ser uma reação da reaplicação de lamas no solo. Os valores de cálcio nas alfaces variaram de 0,64% a 0,81% para N60 e A 20 OC no primeiro ciclo e de 0,66% a 0,95% no segundo ciclo, para os tratamentos N60 e G 20 HC. Foram registradas diferenças estatísticas apenas no segundo ciclo. Já com magnésio,

ocorreu diferença estatística. Os teores variaram de 0,27% em N0 a 0,36% em N60 (primeiro ciclo) e 0,31% a 0,45% (segundo ciclo) para os tratamentos N0 e G 20 HC. De qualquer forma, excluindo o tratamento N0, as diferenças verificadas entre os restantes tratamentos não deverão ter um significado especial.



**Figura 24** – Concentrações de cálcio e magnésio amostras sem função dos tratamentos com lamas nos dois ciclos de alface  
ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

De acordo com Bryson et al (2014) os teores de cálcio em alface com bom desenvolvimento, devem estar entre 1,4% e 2,0%. Os teores de magnésio devem estar entre 0,15% a 0,7%. Em relação aos resultados obtidos, apenas o teor de magnésio apresenta concentrações adequadas. O cálcio está inferior em todas as amostras em ambos ciclos, não ultrapassando 1%. As alfaces apresentam sensibilidade em situações de carência de cálcio, magnésio e boro, mas neste caso, apenas cálcio está em concentrações menores. Poderão ter ocorrido fenômenos relacionados com antagonismos iônicos, não explorados neste trabalho.

Os teores de boro estão apresentados na Tabela 5. Verificaram-se diferenças estatísticas significativas entre tratamentos apenas no segundo ciclo. O menor valor no primeiro ciclo foi observado no tratamento N60 com 30,06 mg/kg, e o maior foi de 33,75 mg/kg no tratamento N0. Já no segundo ciclo, os teores variaram de 30,21 a 42,69 mg/kg nos tratamentos G 20 OC e A 40 HC, respetivamente.

Ocorreu um aumento no teor de boro nas amostras em relação ao primeiro para o segundo ciclo, assim como no trabalho de Seixas (2020) com aplicação de fertilização mineral, onde a média de boro no primeiro ciclo foi inferior ao segundo. Este fenômeno também poderá estar associado ao já referido efeito de concentração dos nutrientes numa menor quantidade de biomassa produzida, relativamente a produção do primeiro ciclo.

De acordo com INIAV (2022), a quantidade de boro em folhas de alface completamente desenvolvidas deve ser entre 25 a 60 mg/kg e em ambos os ciclos, os teores estiveram dentro do indicado. Os valores de ferro, manganês, cobre e zinco dos dois ciclos também estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** – Concentrações de boro, ferro, manganês, zinco e cobre nas alfaves em função dos tratamentos com lamas (mg/kg)

	Boro (mg/kg)		Ferro (mg/kg)		Manganês (mg/kg)		Zinco (mg/kg)		Cobre (mg/kg)	
	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo
<b>A ST</b>	31,37 ± 2,4	38,45 ± 2,9 <b>ab</b>	623,73 ± 141,8	1089,58 ± 831,2	58,37 ± 2,1 <b>b</b>	58,81 ± 19,8 <b>ab</b>	101,88 ± 56,1 <b>ab</b>	164,36 ± 17,3	9,11 ± 0,6	11,42 ± 2,1 <b>a</b>
<b>A 20 HC</b>	33,06 ± 2,2	37,92 ± 2,5 <b>abc</b>	674,76 ± 101	787,75 ± 78,4	61,43 ± 6,9 <b>ab</b>	53,24 ± 5,4 <b>ab</b>	186,60 ± 92,3 <b>ab</b>	146,31 ± 60,3	9,72 ± 0,7	10,22 ± 0,6 <b>ab</b>
<b>A 40 HC</b>	32,87 ± 2,1	42,69 ± 0,8 <b>a</b>	928,97 ± 66,2	660,03 ± 146,9	65,29 ± 5,2 <b>ab</b>	57,49 ± 4,1 <b>ab</b>	145,92 ± 53,0 <b>ab</b>	135,31 ± 28,6	11,20 ± 0,5	10,93 ± 1,0 <b>ab</b>
<b>A 20 OC</b>	32,29 ± 3,1	40,53 ± 3,7 <b>ab</b>	739,12 ± 238,8	781,44 ± 252,9	56,32 ± 8,5 <b>b</b>	54,09 ± 3,9 <b>ab</b>	97,43 ± 25,9 <b>ab</b>	139,89 ± 65,0	9,72 ± 1,5	11,19 ± 1,7 <b>a</b>
<b>A 40 OC</b>	32,35 ± 1,6	38,41 ± 3,5 <b>ab</b>	1174,04 ± 576,5	717,37 ± 70,8	72,95 ± 7,9 <b>ab</b>	58,26 ± 4,8 <b>ab</b>	164,16 ± 95,0 <b>ab</b>	97,65 ± 32,2	12,40 ± 3,4	10,70 ± 1,4 <b>ab</b>
<b>G ST</b>	33,65 ± 2,7	39,79 ± 1,6 <b>abc</b>	619,33 ± 209,8	802,48 ± 153,3	58,38 ± 5,0 <b>ab</b>	51,25 ± 8,1 <b>b</b>	118,18 ± 36,2 <b>ab</b>	244,17 ± 62,8	9,60 ± 1,2	11,96 ± 1,4 <b>ab</b>
<b>G 20 HC</b>	34,00 ± 1,2	37,95 ± 0,8 <b>abc</b>	649,75 ± 264,9	741,86 ± 117,3	64,52 ± 8,1 <b>ab</b>	58,22 ± 3,6 <b>ab</b>	111,64 ± 6,7 <b>ab</b>	163,88 ± 21,9	11,71 ± 1,2	12,47 ± 0,2 <b>a</b>
<b>G 40 HC</b>	31,79 ± 1,0	37,69 ± 4,5 <b>abc</b>	624,91 ± 177,5	779,10 ± 310,7	58,80 ± 6,9 <b>ab</b>	61,46 ± 3,6 <b>ab</b>	224,07 ± 50,3 <b>a</b>	177,01 ± 32,5	10,96 ± 1,6	11,43 ± 0,9 <b>a</b>
<b>G 20 OC</b>	30,74 ± 2,8	30,21 ± 2,1 <b>c</b>	880,65 ± 560,1	565,79 ± 22,5	59,85 ± 8,9 <b>ab</b>	48,76 ± 1,5 <b>ab</b>	144,04 ± 41,3 <b>ab</b>	71,19 ± 14,3	12,49 ± 1,7	10,96 ± 0,4 <b>ab</b>
<b>G 40 OC</b>	32,79 ± 3,5	35,29 ± 1,6 <b>abc</b>	721,27 ± 230	795,03 ± 145,1	66,58 ± 5,8 <b>ab</b>	55,74 ± 6,7 <b>ab</b>	69,49 ± 16,2 <b>b</b>	81,78 ± 18,7	11,67 ± 1,1	11,71 ± 1,3 <b>a</b>
<b>N0</b>	33,75 ± 1,1	33,88 ± 1,2 <b>bc</b>	955,01 ± 293,6	591,61 ± 106,2	77,78 ± 2,4 <b>a</b>	53,65 ± 8,7 <b>ab</b>	146,55 ± 59,9 <b>ab</b>	222,09 ± 48,9	8,78 ± 0,6	7,52 ± 0,5 <b>b</b>
<b>N60</b>	30,06 ± 1,5	35,20 ± 2,9 <b>abc</b>	720,91 ± 189,8	762,74 ± 47,6	65,62 ± 7,6 <b>ab</b>	69,24 ± 1,9 <b>a</b>	78,78 ± 14,7 <b>ab</b>	134,54 ± 37,1	9,64 ± 1,4	10,63 ± 0,9 <b>ab</b>

ST, sem tratamento; A, Amaranate; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Nas colunas, médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

Em relação ao ferro não houve diferença estatística entre tratamentos em ambos ciclos. Os valores devem variar de 50 e 500 mg/kg (Bryson et al., 2014) e os resultados obtidos foram superiores ao intervalo de suficiência. No primeiro ciclo, o teor de ferro variou de 623,73 (A ST) a 1174,04 mg/kg (A 40 OC). No segundo, variou de 565,79 mg/kg no tratamento G 20 OC para 1089,58 mg/kg na amostra A ST.

Alguns autores apresentam também valores superiores ao intervalo de suficiência, mas ainda assim obtiveram plantas saudias ao final (Garcia et al., 1982; Seixas, 2020). Seixas (2020) obteve médias de ferro nas alfaces cultivadas em solo sem fertilização entre 316,6 a 1161,4 mg/kg.

A água utilizada na irrigação da cultura pode ser um dos motivos que ocasionou o aumento de ferro nas alfaces, assim como a quantidade, visto que a origem e as condutas de aço/ferro do sistema de distribuição podem modificar o teor de ferro na água (EPAL, 2015). Esta explicação pode ser aplicada aos tratamentos sem lamas e para os restantes acresce o ferro introduzido pelas lamas no solo, como foi já referido. Existem pesquisas referentes a influência da água de irrigação na contaminação de ferro nas plantas, concluindo que a drenagem e retirada da água reduziu a concentração de ferro (Schmidt et al., 2013).

Mesmo que não tenha ocorrido nenhum sintoma grave nas alfaces, vale ressaltar que o excesso de ferro em cultivos pode causar uma redução na absorção de outros nutrientes como manganês e zinco (Jucoski et al., 2016). Os limites indicados para manganês e zinco são entre 11 a 250 mg/kg e 20 a 250 mg/kg, respectivamente (INIAV, 2022). Os resultados obtidos de manganês estão dentro do intervalo de suficiência mas, ocorreram diferenças estatísticas significativas nos tratamentos nos dois ciclos.

O manganês variou no primeiro ciclo de 56,32 a 77,78 mg/kg para os tratamentos A 20 OC e N0 e no segundo, variou de 48,76 a 69,24 mg/kg nos tratamentos G 20 OC e N60. É possível notar uma redução nos teores do primeiro ciclo para o segundo, mas ainda assim, todos estão dentro do intervalo de concentrações adequadas.

Seixas (2020) obteve valores de manganês entre 49 e 71 mg/kg nas alfaces sem fertilização mineral mas, com fertilização mineral, os valores foram superiores chegando até 157 mg/kg. Já em relação ao elemento zinco, apenas dois tratamentos sem fertilização testados por Seixas (2020) obtiveram resultados dentro do intervalo de suficiência mas com fertilização os valores estiveram entre 30 a 39,8 mg/kg.

Os teores de zinco obtidos neste trabalho variaram de 69,49 mg/kg no tratamento G 40 OC a 224,07 mg/kg no tratamento G 40 HC, no primeiro ciclo e no segundo, variou

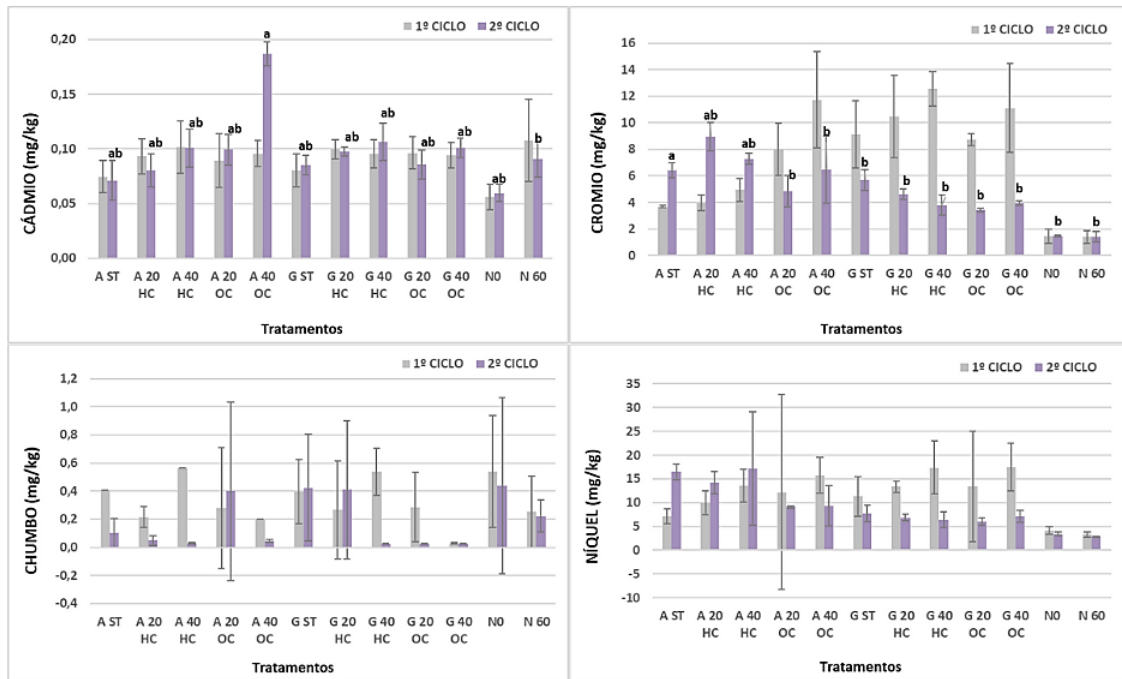
de 71,19 a 244,17 mg/kg nos tratamentos G 20 OC e G ST. Há diferença estatística nas amostras do primeiro ciclo e é possível observar um aumento na média da concentração no segundo ciclo. De acordo com os limites estabelecidos por INIAV (2022), todos os tratamentos, em ambos ciclos, apresentaram valores dentro do intervalo de suficiência.

Penacho (2018) testando a aplicação de lamas residuais em cultivos de alface, obteve valores entre 30 a 39 mg/kg de zinco no primeiro ano de aplicação e no segundo também obteve um aumento, variando de 37 a 40 mg/kg. Um estudo sobre a translocação de elementos do solo para a hortaliça alface, em um solo com altas concentrações de metais, mostrou que a planta tem uma capacidade de acumular zinco em sua parte aérea (Bandeira et al., 2022) o que pode justificar o aumento dos valores no segundo ciclo.

Em relação ao cobre, os valores variaram de 8,78 a 12,49 mg/kg ns tratamentos N0 e G 20 OC no primeiro ciclo. No segundo, ocorreu diferença estatística entre tratamentos e os valores médios variaram de 7,52 a 12,47 mg/kg em N0 e G 20 HC. Em todos os tratamentos e em ambos ciclos, os teores estão dentro do limite de 5 a 25 mg/kg estabelecido por INIAV (2022). Um estudo com aplicação de LRU em cultivos de alface obteve um aumento no teor de cobre na planta, mas verificou que existia um baixo risco de transferência para a cadeia alimentar (Penacho, 2018).

Os metais são considerados um dos maiores poluentes nas hortaliças pois, elas podem absorver rapidamente os elementos e assim, chegam até aos outros seres vivos (Bandeira et al., 2022). Os valores obtidos de metais pesados nas alfaces estão apresentados na Figura 25, com todos os tratamentos e de ambos ciclos.

De uma forma geral não foram registadas diferenças significativas nos teores dos diferentes metais nas folhas de alface devido ao valor elevado do desvio padrão. De qualquer forma, os valores detetados são baixos e as diferenças verificadas não deverão ter um significado especial associado aos tratamentos.



**Figura 25** - Valores dos metais pesados

ST, sem tratamento; A, Amarante; G, Gelfa; HC, hidróxido de cálcio; OC, óxido de cálcio; N0 e N60, 0 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Médias com letras diferentes apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

No primeiro ciclo verificou-se uma maior concentração de crómio, níquel e chumbo nos tecidos relativamente ao segundo ciclo. O que poderá ter acontecido foi uma estabilização destes catiões no solo na forma de complexos estáveis com a matéria orgânica, o que poderá ter limitado a sua absorção (Weil e Brady, 2017). O Codex Alimentarius (2019) apresenta valores limite de metais pesados nas folhas de vegetais como a alface na ordem de 0,2 mg por kg de matéria fresca, o que, assumindo o teor de umidade médio das alfaces de 85% e de acordo com os cálculos efetuados para o teor de nitratos, significará um valor máximo de 1,3 mg de cádmio por kg de matéria seca.

A figura apresenta valores de Cd na matéria seca bastante inferiores. No caso do chumbo, esse valor é de 0,3 mg por kg de matéria fresca, ou seja, um total de 2 mg por kg de matéria seca. Apesar da variação do teor de chumbo na matéria seca, os valores obtidos também se encontram abaixo deste limite (Figura 25). Neste documento da FAO e da WHO não constam valores limite para níquel ou crómio. Assim, pode dizer-se que a adição das lamas ao solo não contribuiu para a absorção pelas alfaces de quantidade que possam colocar em risco a saúde humana.

Vale ressaltar que o pH deste solo também limita a disponibilidade destes metais como já tinha sido referido.

## 5 CONCLUSÃO

- A aplicação das lamas com a origem das estações de Amarante e Gelfa, tanto sem tratamento (ST) quanto com aplicação de óxido e hidróxido de cálcio em diferentes porcentagens (20 HC, 40 HC, 20 OC e 40 OC), provou ter valor fertilizante, comprovado através do aumento significativo da produção das alfaces e da sua concentração em nitrogênio, equivalente a produção e concentração de N obtidas com aplicação de adubo mineral.
- As alfaces apresentaram maiores teores de matéria seca no primeiro ciclo, mas, não se pode afirmar que isso foi causado pela reaplicação de lama, já que o tratamento N0 também apresentou teores menores no segundo ciclo. O clima pode ter influenciado no crescimento das alfaces. Os valores para nitrogênio, nitratos, cálcio e magnésio foram maiores nos tratamentos com lamas e adubo mineral do que na testemunha. Os micronutrientes nas alfaces estiveram dentro dos valores do intervalo de suficiência.
- A aplicação das lamas não apresentou risco de contaminação do solo no que respeita aos metais pesados nem diminuiu a qualidade das alfaces. Os teores obtidos foram muito inferiores ao exigido pelo Decreto-Lei nº276/2009 para aplicação de lama em solos agrícolas. Não foi particularmente evidente o efeito das doses de óxido e hidróxido de cálcio nas lamas.
- Em relação aos nutrientes, mesmo o tratamento com adubo mineral (N60) tendo apresentados maiores teores em alguns elementos e o solo ser considerado adequado para as plantações, foi possível observar um aumento significativo nos tratamentos com lama comparado com a testemunha. Para além do aumento do teor de matéria orgânica, aumentou o pH, o teor em fósforo, zinco e ferro. As lamas incorporaram de forma significativa chumbo e crómio, mas os valores adicionados ficaram muito abaixo dos níveis máximos descritos na legislação. Cádmio e níquel também foram encontrados em níveis baixos.
- Pode-se concluir então que a aplicação de lama em solo é favorável para acréscimo de alguns nutrientes e elementos essenciais para o desenvolvimento das culturas. A reaplicação da aplicação, neste caso, não gerou acúmulo de elementos e nem danos no solo e na alface. A aplicação de lamas em solos é então uma destinação viável já que possui um bom potencial agrícola. Mesmo que o solo já apresente condições

adequadas, a aplicação da lama devidamente tratada não acarretará em danos, como demonstrado neste trabalho.

Vale realçar que é necessário prolongar o estudo para verificar os efeitos da aplicação continuada no solo a longo prazo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. A. (2003). **Manejo ecológico del cultivo de noni**. Proyecto de generacion y transferencia de tecnologias limpias para La produccion del noni (*Morinda citrifolia* L), em Panama. Instituto de Investigacion Agropecuaria de Panama Agencia Espanola de Cooperacion Internacional, Panama, 18p.
- AEA, 1997. **Sludge Treatment and Disposal, Management Approaches and Experiences**. ISWA's Working Group on Sewage e Waterworks Sludge, 54 pp.
- Afonso, N. (2006). **Contribuição para o Estudo dos Solos do PDM de Bragança**. Trabalho de fim de curso Eng<sup>a</sup> Ambiente e do Território, Ramo de Gestão Ambiental, IPB-ESA).
- Alencar et al. (2012). Efeito de intervalo de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde de agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. p.53-67.
- Almeida, D.P.F. (2006). **Manual de Culturas Hortícolas**. V. 1. Editorial Presença. Lisboa.
- Alvarenga, P., Farto, M., Mourinha, C., Dores, J. & Patanita, M. (2015). Estudo do efeito da utilização de lamas residuais urbanas e composto na fertilidade do solo e na cultura de Azavém Anual. **Encontro Anual das Ciências do Solo**. p. 24.
- Andrade, J. C de. (2018). Química analítica básica: os conceitos ácido-base e a escala de pH. **Revista Chemkeys**, (1), 1-6.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2021). **Águas Residuais Urbanas**. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/content/%C3%A1guas-residuais-urbanas>
- Bahar, S., & Ciggin, A. S. (2016). A simple kinetic modeling approach for aerobic stabilization of real waste activated sludge. **Chemical Engineering Journal**, 303, 194–201. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.149>
- Bancessi, A. M. (2009). **Valorização agronômica/energética de lamas de ETAR**: Estudo do caso da ETAR de Beirolas. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Bandeira, O. A.; Bandeira, P. A.; Paschoalato, C. F. P. R. & Muñoz, S. S. (2022). Avaliação de translocação dos metais do solo e rejeito para hortaliça alface, rúcula e rabanete: estudo de caso Mariana -Minas Gerais- Brasil. **Research, Society and Development**, 11(15).
- Banerjee, M.R., Burton, D. L. & Depoe, S. (1997). Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 66, 241-249.

- Baran, S.; Oleszczuk, P. (2003). Changes in the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in light soil fertilized with sewage sludge. **Journal of Environmental Science and Health Part A – Toxic / Hazardous Substances & Environmental Engineering**, v.A38, n.5, p.793-805.
- Bartolo, I. M. M. (2016). **Valorização Agrícola de Lamas de ETAR – Estudo da disponibilidade de fósforo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Bartolo, I., Fernandes, R. & Sempiterno, C. (2017). Valorização agrícola de lamas – disponibilidade de fósforo. **Revista de Ciências Agrárias**, 40 (3), 497-505.
- Berco, V. (2013). **Análise Qualitativa de Lamas de ETAR e Competitividade Económica dos Processos de Tratamento e Escoamento: Caso da ETAR da Guia**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiente, ISA-UTL, Lisboa.
- Bozkurt, M. A. & Yarılgaç, T. (2003). The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 27(5), 285-292.
- Branson, R. L.; Pratt, P. F.; Rhoades, J. D. & Oster, J. D. (1975). Water quality in irrigated watersheds. **Journal of Environmental Quality**. 4(1), 33-40. <https://doi.org/10.2134/jeq1975.00472425000400010008x>
- Brunini, O.; Lisbão, R. S.; Bernardi, J. B.; Fornasier, J. B. & Pedro Junior, M. J. (1976). Temperatura-base para alface cultivar “white boston”, em um sistema de unidades térmicas. **Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, 35(19), 213-219.
- Cabral, A. (1991). Produção, transformação e comercialização dos cereais em Portugal. **Imprensa Nacional**. Casa da Moeda, E. P., Lisboa, 215.
- Cabrita, T. M. P. (2013). **Processos físico-químicos de tratamento de águas residuais industriais: estado da arte e novas fronteiras**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Campos, S., Horta-Monteiro, M. & Carneiro, J. (1998). Utilização conjunta de lamas celulósicas e águas residuais urbanas na cultura do sorgo. Efeito sobre a produção e composição mineral das plantas. **Pastagens e Forragens**, 19:37-49.
- Capitão, J. C. de A. (2020). **Efeito de corretivos orgânicos de resíduos de vinícolas com diferentes tempos de compostagem na cultura de alface**. Dissertação de mestrado em Agricultura Biológica. Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- Caroço, L. M. E. (2009). **Contribuição para o estudo dos aspectos da separação sólido líquido em processos**. Dissertação de Doutorado. FCT-UNL.
- Carteiro, P. (2002). Estratégia para a valorização orgânica das lamas de ETAR'S. In **Gestão e valorização de lamas de ETA's e ETAR's em Portugal – Volume de comunicações**, APDA, 27-28 de junho de 2002, Lisboa.

- Carvalho, A. C. P. T. (2010). **Estudo integrado para transporte, tratamento, valorização e destino final das lamas produzidas na ETAR de Sobreiras, na ETAR do Freixo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade do Porto, Porto.
- Carvalho, J. T. N. (2020). **Avaliação do potencial de utilização de resíduos sólidos urbanos compostados em videira**. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Carvalho, M. (2012) O Uso Sustentado do Solo. **Revista da Feira do Montado**, XIII Feira do Montado, Portel: 14-17.
- Cecilio Filho, A. B.; Rodrigues, M. A.; Silva, M. L. P da. & Cortez, J. W. M. (2020). Sintomas de deficiência de macronutrientes em alface. **Revista Científica**, Jaboticabal, 48(3), 271-290.
- Chiochetta Junior, J. C. (2019). **Efeito de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes na dinâmica do nitrogênio no solo e na produção da cultura do milho (*Zea mays*)**. Dissertação de mestrado em Agroecologia. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Codex Alimentarius. 2019. General standard for contaminants and toxins in food and feed. Food and Agriculture of the United Nations (FAO), World Health Organization (WHO).
- Coelho, I. S. (2000). Condicionalismos socioeconômicos da evolução dos montados no século XX. **Agronomia Lusitana**, Oeiras, 48, 1, 1-13.
- Comissão Europeia, 2015. Disponível em: [http://ec.europa.eu/index\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/index_pt.htm)
- COS – Carta de Uso e Ocupação do Solo. (2018). <https://snig.dgterritorio.gov.pt/>
- Costa, J. B. da. (1995). **Caracterização e constituição do solo**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 5º ed.
- Davis, M. L. & Cornwell, D. A. (1998). **Introduction to environmental engineering**. Landsberg: McGraw-Hill. v.3.
- Decreto- Lei nº446/1991** <https://dre.tretas.org/dre/36257/decreto-lei-446-91-de-22-de-novembro>
- Decreto-Lei nº 276/2009** de 2 de outubro. Diário da República nº192/09 – Série I. Ministério do Ambiente, do Ordenamento, do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Decreto-Lei nº 102-D/2020**. Diário da República nº239/2020, 1º Suplemento – Série I.

**Decreto-Lei nº 152/1997** de 19 de junho. Diário da República nº139/97 – Série I A. Ministério do Meio Ambiente.

**Decreto-Lei nº 73/2009** de 31 de março. Diário da República nº 63/09 – Série I. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.

**Decreto-Lei nº 85/2005** de 28 de abril. Diário da República nº82/05 – Série IA. Ministério do Ambiente, do Ordenamento, do Território e do Desenvolvimento Regional.

DGADR. (2021). Manual de boas práticas para a implementação do programa de ação em zonas vulneráveis de Portugal Continental. <https://www.dgadr.gov.pt/mediateca?task=download.send&id=382&catid=45&m=0>

Dias, A. M. da S. (2019). **Produção de baby leaf de alface**. Dissertação de Graduação em Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres.

Dias, B. O.; Silva, C. A.; Higashikawa, F. S.; Roig, A. & Sánchez-Monedero, M. A. (2010). Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: effect on organic matter degradation and humification. **Bioresour Technol.** 101(4):1239-46.

**Diretiva nº 91/271/CEE** – Tratamento de águas residuais urbanas.

**Diretiva nº86/278/CEE** – Utilização de lamas de depuração na agricultura.

Domingues, H. (1990). **Lamas residuais de depuração**. Presença de alguns metais pesados e seu valor agrícola. Trabalho de síntese elaborado para a prova complementar para acesso à categoria de Assistente de Investigação, EAN, Oeiras, :35.

Domingues, H., Monteiro, O. R., Pedra, F., Amaro, J. T. & Gusmão, M. R. (2002). Aplicação de lamas residuais urbanas em solos agrícolas. Síntese dos estudos desenvolvidos no departamento de Ciência de Solo, da Estação Agronómica Nacional -INIA. **Revista de Ciências Agrárias** 25, 3/4:341-352.

Ebeling, A. G.; Anjos, L. H. C. dos.; Perez, D. V.; Pereira, M. G. & Valladares, G. S. (2008). Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, 67 (2), 429-439.

Embrapa. (2004). **Características de corretivos agrícolas**. Embrapa Pecuária Sudeste, documentos 37. ISSN 1518-4757.

EPAL (2015). <https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/agua/ficha-ferro.pdf?sfvrsn=2>

ERSAR. (2018) - <https://www.resiestrela.pt/media/nlmfht1j/regulamento.pdf>

ERSAR. (2020) - <https://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros>

ERSAR. (2021) - <https://rea.apambiente.pt/content/%C3%A1gua-para-consumo-humano>

ERSAR. (2022) - [file:///C:/Users/Dell/Downloads/RASARP2021\\_Volume1.pdf](file:///C:/Users/Dell/Downloads/RASARP2021_Volume1.pdf) pg 54

European Commission. (2001). **Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge, Scientific and Technical sub-component Report**, Part 3.

Farias, M. M. Y. L. (2020). **Avaliação do desempenho ambiental de uma estação de tratamento de águas residuais utilizando a metodologia de análise de ciclo de vida**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

Fernandes, F., Andreus, S., Andreoli, C. V., Bonnet, B. R. P.; Borges, J. C. & Medeiros, M. L. B. (1996). Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE Belém com vistas ao seu uso agrícola. **Sanare**, Curitiba, v.5, n.5, p.68-75.

Fernandes, R., Sempiterno, C., Farropas, C., Branco, A. C. & Lagartinho, A. (2014). Monitorização da aplicação de lamas de ETAR em solos delgados. **Revista de Ciências Agrárias**, 37(2), 221-231.

Fernandes, R., Sempiterno, C., LídiaFarropas, Branco, A. C., & Lagartinho, A. (2014). Monitorização da aplicação de lamas de ETAR em solos delgados. **Revista de Ciências Agrárias**, 37(2), 221-231.

Ferreira, R. D. da S. (2017). **Eficácia de um composto de resíduos de cunicultura com palha na produtividade e qualidade da alface**. Dissertação de mestrado em Agricultura Biológica. Instituto Politécnico de Viana do Castelo.

Fliebbach, A.; Martens, R. & Reber, H. H. (1994). Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. **Soil Biology and Biochemistry**, 26 (9), 1201-1205.

Foladori, P., Andreottola, G., & Ziglio, G. (2010). **Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants**. London: IWA publishing.

Garcia, L. L. C.; Haag, H. P.; Minami, K. & Sarruge, J. R. (1982). Nutrição mineral de hortaliças. XL. concentração e acúmulo de micronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) Cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. **Anais Da Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz**, 39 (An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, 1982 39(1)), 485–504. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761982000100028>

Garrido-Baserba, M., Molinos-Senante, M., Abelleira-Pereira, J. M., Fdez-Güelfo, L. A., Poch, M., & Hernández-Sancho, F. (2014). Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. **Journal of Cleaner Production**, 107, 410–419. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.021>

Geisenhoff, L. O. (2008). **Produção de alface americana utilizando mulching dupla fase, sob diferentes tensões de água no solo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, BR.

- Godinho, C.A.G. (2009). **Impacte da Revisão da Directiva de Valorização de Lamas nos Custos de Tratamento de Águas Residuais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. FCT, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. pp.97-153.
- Gonçalves, F. B. & Souza, A.P. (1997). Disposição oceânica de esgotos sanitários: história, teoria e prática. Rio de Janeiro, **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 348 p.
- Gonçalves, J. C. (2017). **Análise das tecnologias correntes para o tratamento e secagem de lamas de ETAR**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Gonçalves, T. de O. & Coringa, E. de A. O. (2017). Caracterização físico-química e teor de nitrato em alface do tipo crespa e americana cultivadas sob sistema hidropônico e convencional. **Higiene Alimentar**, 31, 102-106.
- Grando, D. L., Cavalheiro, J. M., Rhoden, A. C. (2017). Importância da Matéria Orgânica para a Qualidade do Solo. In: **4º AGROTEC - Simpósio de Agronomia e Tecnologia em Alimentos**, 2017, Itapiranga-SC.
- Gretchen M. Bryson...[et al.] (2014). Plant Analysis Handbook III, A Guide to Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation for Agronomic and Horticultural Crops. **Micro-Macro Publishing**.
- Hendges, I. P. (2020). **Produtividade do milho e eficiência de uso de nitrogênio pela aplicação de fertilizantes de liberação controlada, fertilizantes estabilizados e matéria orgânica**. Dissertação de mestrado em Agroecologia. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- <http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/cpna2007c.pdf>
- IBERDROLA. (2022). A evolução da população mundial e seu futuro impacto no planeta. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/evolucao-da-populacao>
- INIAV. (2022). **Manual de fertilização das culturas**. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, 3ªed, ISBN: 978-972-579-063-2.
- Joo, S.H.; Monaco, F.D.; Antmann, E. & Chorath, P. (2015). Sustainable approaches for minimizing biosolids production and maximizing reuse options in sludge management: A review. **Journal of Environmental Management**, vol. 158, p. 133 -145. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.014>
- Jucoski, G. de G.; Cambraia, J.; Ribeiro, C. & de Oliveira, J. A. (2016). Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora L.* **Revista Ciências Agronômicas**, 47 (4), 720-728.
- Labrecque, M., Teodorescu, T. e Daigle, S. (1998). Early performance and nutrition of two willow species in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact on the soil characteristics. **Can. J. For. Res.** 1998, Vol. 28, pp. 1621-1635.

- Ladeira, L. C. (2017). **Valor agrônomo de fertilizantes enriquecidos com microrganismos fixadores de azoto**. Dissertação de mestrado em Agricultura Tropical. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Lange, A.; Cavalli, E.; Pereira, C. S.; Chapla, M. V. & Freddi, O. da S. (2021). Relações cálcio: magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa Sinop**, 9(3), 294-301.
- Lhadi, E. K.; Tazi, H.; Aylaj, M.; Genevini, P. L. & Adani, F. (2006). Organic matter evolution during co-composting of the organic fraction of municipal waste and poultry manure. **Bioresour Technol.** (16):2117-23. doi: 10.1016/j.biortech.2005.09.012. Epub 2005 Nov 2. PMID: 16263275.
- Lopes, H. G. A. (2014). **Avaliação do estado nutricional e do teor em metais pesados de plantas cultivadas nas hortas sociais do Instituto Politécnico de Bragança**. Dissertação de mestrado em Agroecologia. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Maas, E. & Hoffman, G. (1977). Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, ASCE 103 (IR 2), 115-134 pp.
- Mackenzie L. Davis, (2010). **Water and Wastewater Engineering – Design Principles and Practice**. McGraw-Hill, Inc.
- Makilutila, M. (2017). **Efeito da gestão do solo no estado nutricional e produtividade das árvores em olival**. Dissertação de mestrado em Agricultura Tropical. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Marecos do Monte, H., Albuquerque, A., (2010). Reutilização de Águas Residuais, Guia técnico. **ERSAR**, ISEL, Lisboa. ISBN 978-989-8360-01-4.
- Marecos do Monte, M. H., Santos, M. T., Barreiros, A.M., Albuquerque, A. (2016). Estações de Tratamento de Águas Residuais – Operações e processos de tratamento físico e químico, **ERSAR/ISEL/UBI**, ISBN: 978-989- 8360-32-8.
- Martinez, H. E. P. (2002). O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. **Embrapa Semiárido**, Viçosa – MG. 61.
- Mendes, S. (2014). **Valorização de lamas de tratamento de águas residuais urbanas para utilização agrícola**. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior De Engenharia De Lisboa, Lisboa.
- Menino, R., Castelo-Branco, A. & Martins, J. C. (2018). Lamas de ETAR: Aplicação em solos agro-florestais. **Revista de Ciências Agrárias**. 41(1), 52-55.
- Metcalf & Eddy. (2003). **Wastewater Engineering - Treatment and Reuse**. New York: International Edition: McGraw-Hill, 4ª Edição, 1818 pp.

- Metcalf, & Eddy, Inc. (1991) **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. 3rd Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- Metcalf, & Eddy. (1993). **Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse**. (2<sup>a</sup> ed.). New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company.
- Mondero, M. A. (2010). Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. **Biores. Technol.**, 101:1239-1246.
- Navaro, C. E. L. (2019). **Efeito de sistemas de manutenção do solo nas propriedades do solo e produtividade da oliveira**. Dissertação de mestrado em Agroecologia. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Novak, J. T. (2006). Dewatering of Sewage Sludge. **Drying Technology**, 24, 1257-1262. Doi: 10.1080/07373930600840419.
- Oliveira, E. Q., Souza, R. J., Cruz, M. C. M., Marques, V. B. & França, A. C. (2010). Produtividade da alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v.28, p.36/40.
- Organização das Nações Unidas (ONU). (2022). **Objetivo 6: Água potável e saneamento**. Disponível em: <https://unric.org/pt/objetivo-6-agua-potavel-e-saneamento-2/>.
- Outwater, A. B. (1994). Reuse of sludge and minor wastewater residuals. **Lewis Publishers**, Boca Raton, p.1994-179.
- Pedra, F. & Castel-Branco, M. I. (2018). Caracterização de lamas de depuração utilizadas na valorização agrícola em Portugal. **Revista Recursos Hídricos**, 39(2), 39-48.
- Pedra, F. (2007). **Aproveitamento Agrícola de dois Correctivos Orgânicos Aplicados em dois Solos**: Dinâmica da Matéria Orgânica, dos Metais Pesados e efeito sobre o Comportamento das Plantas, dissertação de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; Lisboa. pp. 313.
- Penacho, J. D. B. C. (2018). **Caso de estudo sobre a valorização agrícola de lamas de ETAR e compostados de resíduos orgânicos na cultura do Azevém**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica. Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Penacho, J. D. B. C. (2018). **Caso de estudo sobre valorização agrícola de lamas de ETAR e compostados de resíduos orgânicos na cultura do Azavém**. Dissertação de mestrado em Engenharia Agronómica. Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Pereira, M. de F. D. (2008). **Contributo para avaliar a possibilidade de reutilização das areias removidas nas ETAR**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Lisboa.

- Pinhal, C. M. F. (2021). **Valorização de insolúveis da cal na higienização de lamas de estações de tratamento de água residual**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. FCT -UNL, Lisboa.
- Pires, M. P. (2015). **Análise da eficiência do processo de digestão anaeróbia de lamas de ETAR municipal do Choupal**. Dissertação de mestrado em Engenharia Química. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Pirra, A. J. D. (2009). Distribuição de lamas e efluentes vinícolas no solo: uma alternativa eco-eficiente para o seu tratamento. **Revista de Ciências Agrárias**, 32(2), 67-84.
- PORDATA. (2022). População residente, média anual: total e por grupo etário. [online]. <https://www.pordata.pt/Portugal/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente++m%C3%A9dia+anual+total+e+por+grupo+et%C3%A1rio-10>
- Portela, E. & Abreu, M. M. (2018). Fixação do potássio nos solos portugueses. **Revista de Ciências Agrárias**, 41 (3), 569-591.
- Portela, E. & Louzada, J. (2018). Deficiência de magnésio em solos e culturas do Norte de Portugal. **Revista de Ciências Agrárias**, 30 (2), 67 – 86.
- Qasim, M., Javed, N., Himayatullah. & Subhan, M. (2001). Effect of sewage sludge on the growth of maize crop. **J. Biol. Sci.**, 1 (2), 52 – 54.
- Radin, B., Reisser Jr, C., Matzenauer, R. & Bergamaschi, H. (2004). Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.178-181.
- Raimundo, S. de L. F. (2021). **Efeito da aplicação de extratos de algas e aminoácidos em caldas foliares, isoladamente e como suplemento de fertilização NPK, na composição mineral de folhas e frutos de aveleira**. Dissertação de mestrado em Agroecologia. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Reed, S. C., Crites, R. W. & Middlebrooks, E. J. (1995). **Natural Systems for waste management and treatment**. 2.<sup>a</sup> Edition, McGraw-Hill, Inc.
- Reetz, H. F. (2016). Fertilizantes e seu uso eficiente. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: **ANDA**, 178 p.
- Reinert, D. J. & Reichert, J. M. (2006). **Propriedades física do solo**. Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria.
- Resende, A. V de. (2005). Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas. **Cetem**, ISSN: 0103-6319.
- Rice, E. W.; Baird, R. B. & Eaton, A. D. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association**. 23 rd Ed.
- Rizzardini, C. B., & Goi, D. (2014). Sustainability of Domestic Sewage Sludge Disposal. **Sustainability**, 6, 2424-2434.

- Schmidt, F.; Fortes, M. de A.; Wesz, J.; Buss, G. L. & de Souza, R. O. (2013). Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(5), 1226-1235.
- Schowanecka, D., Carr, R., David, H., Douben, P., Hall, J., Kirchmanne, H., Patriaf, L., Sequi, P., Smith, S., Webb, S. (2004). A risk-based methodology for deriving quality standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture - Conceptual Framework. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 40, 227-251.
- Seixas, M. de A. (2020). **Efeito da aplicação de leonardite nas propriedades do solo e na produtividade de alface cultivada em vasos**. Dissertação de mestrado em Agroecologia. Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança.
- Sempiterno, C.; Mano, R.; Jordão, P. & Calouro, F. (2021). Como calcular o valor fertilizante de uma lama. **Vida Rural**, 76- 82.
- Sempiterno, C., Fernandes, R. & Peixoto, L. (2017). Valorização agrícola de lamas de ETAR – disponibilidade de azoto. **Revista de Ciências Agrárias**, 40 (3), 506 – 514.
- Serrão, M. G., Varela, A., Domingues, H., Barata, P., Fernandes, M., Castelo Branco, M. A., Campos, A. M., Horta, C., Cravo, M. L. & Monteiro, O. (2007). Aplicação de lama residual urbana em solos marginais de Mértola: II. Efeitos de curto e médio prazo na composição mineral e absorção de nutrientes. **Pastagens e Forragens** 28:141-154.
- Serrão, M. G.; Martins, J. C.; Fareleira, P.; Castelo Branco, M. A.; Varela, A.; Domingues, H.; Fernandes, H.; Pires, F.; Guerreiro, A.; Ramos, J. & Campos, A. M. (2018). Impacto da aplicação de lama residual urbana e de fertilizantes minerais em solo sob pastagem no Alentejo. **Revista de Ciências Agrárias**, 33(1).
- Silva et al. (1997). Utilização do lodo de esgoto como fonte de fósforo e nitrogênio para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Rio de Janeiro, p.4.
- Silva, F. (2012). Diagnóstico de funcionamento e otimização das ETARs do concelho da Póvoa de Varzim. **Dissertação de Mestrado**. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Simões, C., Rosmaninho, I., Henriques, A. G. (2008). Guia para a avaliação de Impactos Ambiental de Estações de Tratamento de Águas Residuais. **Agência Portuguesa do Ambiente**, 987-972-8577-39-1.
- Sousa, R. J. V. (2005). **Estratégias de Gestão de Lamas das Estações de Tratamento de Águas Residuais**. Extorsão de Lamas para Aplicação na Agricultura. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Souza, T. C. R. de. (2016). **Estações de tratamentos de águas residuais: Conceitos e dimensionamentos**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

- Speir, T. W., van Schaik, A. P., Lloyd-Jones, A. R., & Kettles, H. A. (2003). Temporal response of soil biochemical properties in a pastoral soil after cultivation following high application rates of undigested sewage sludge. **Biology and Fertility of Soils**, 38(6), 377–385. <http://doi.org/10.1007/s00374-003-0656-8>
- Stevenson, F. J. (1994). Humus chemistry: genesis, composition, reactions. **New York: John Wiley & Sons**. 512p.
- Sullivan, D. M., Cogger, C. G., & Bary, A.I. (2015). **Fertilizing with Biosolids**. Oregon State University. 19 pp.
- Tavares, J. M. da S., Pereira Neto, C. (2020). Aspectos do crescimento populacional: estimativas e uso de indicadores sociodemográficos. **Formação (Online)**, v. 27, n. 50, p. 3–36.
- Tavares, P. (2007). **Otimização da gestão de lamas de ETAR numa perspetiva regional**. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil na especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel H.D. (2003). Inc., Metcalf & Eddy: **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**, McGraw-Hill Education, 4 Ed. 1848 p.
- Temminghoff, E. J. M. & Houba, V. J. G. (2004). Plant Analysis Procedures. Eds. 2nd Ed. **Kluwer Academic Publishers**. The Netherlands.
- Tomei, M. C., Bertanza, G., Canato, M., Heimersson, S., Laera, G., & Svanström, M. (2016). Techno-economic and environmental assessment of upgrading alternatives for sludge stabilization in municipal wastewater treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, 112, 3106–3115. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.017>.
- Turazi, C. M. V.; Junqueira, A. M. R.; Oliveira, A. S. & Borgo, L. A. (2006). Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horário de colheita e tempo de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, 24 (1), 65-70.
- Turovskiy, I. S. e Mathai, P. K. (2006). **Wastewater Sludge Processing**. John Wiley e Sons, Inc, 354 pp.
- US EPA. **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge** (2003). Washington, D.C.: EPA/625/R-92/013. United States Environmental Protection Agency.
- Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J. L., Gasol, C. M., Guillem, M., & Josa, A. (2013). Comparative LCA of sewage sludge valorisation as both fuel and raw material substitute in clinker production. **Journal of Cleaner Production**, 51, 205-213.
- Verlicchi, P., & Zambello, E. (2015). Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil — A critical review. **Science of the total environment**, 538(2), 750– 767.

- Vezzani, F. M. & Mielniczuk, J. (2011). Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 35(1): 213-223. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>
- von Sperling, M. (2007). **Biological wastewater Treatment Series**. IWA Publishing. London. ISBN: 1 84339 161 9.
- von Sperling, M., Gonçalves, R. F., Andreoli, C. V., Lopes, D. D., Morita, D. M., Pegorini, E. S., Soccol, V. T. (2007). **Sludge Treatment and Disposal**. (M. von Sperling, C. V. Andreoli, & F. Fernandes, Eds.) IWA Publishing. London. Retrieved from
- Walker, B.; Canadell, J. & Ingram, J., eds. (1999). The Terrestrial Biosphere and Global Change. Implications for natural and managed ecosystems. **University Press**, Cambridge, 439.
- Wang, L. K., Shammas, N. K. & Hung, Y-T. (2009). Advanced Biological Treatment Processes. **Humana Press**, New York, v 9.
- Weil, R.R. & Brady, N.C. (2017). The Nature and Properties of Soils. **Fifteenth Edition Global Edition**. Pearson.
- WRB (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. **World Soil Resources Reports** No. 106. FAO, Rome
- Yuri, J. et al. (2017). Desempenho agronômico de genótipos de alfaces americana no Submédio do Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, p.292-297.
- Zhu, H., et al. (2012). Feasibility of applying forward osmosis to the simultaneous thickening, digestion, and direct dewatering of waste activated sludge. **Bioresour. Technol.** Vol. 113, pp. 207-213.