

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

**BIOSSÓLIDOS NA PRODUÇÃO DE ALFACE:
RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES E ANÁLISE DE METAIS
PESADOS**

Autor: Thiago Nascimento de Moraes
Orientador: Prof. Dr. Fernando Jorge Correa Magalhães Filho
Coorientador: Prof. Dr. Denilson de Oliveira Guilherme

Fevereiro 2020
Campo Grande/MS

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

**BIOSSÓLIDOS NA PRODUÇÃO DE ALFACE:
RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES E ANÁLISE DE METAIS
PESADOS**

Autor: Thiago Nascimento de Moraes
Orientador: Prof. Dr. Fernando Jorge Correa Magalhães Filho
Coorientador: Prof. Dr. Denilson de Oliveira Guilherme

“Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA, no Programa de Pós-Graduação *Strict Sensu* em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária da Universidade Católica Dom Bosco - Área de Concentração: Sustentabilidade Ambiental e Produtiva Aplicada ao Agronegócio e Produção Sustentável.”



Fevereiro 2020
Campo Grande/MS

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Católica Dom Bosco
Bibliotecária Mourâmise de Moura Viana - CRB-1 3360

M827b Moraes, Thiago Nascimento de

Biossólidos na produção de alface: recuperação de nutrientes e análise de metais pesados/ Thiago Nascimento de Moraes, sob orientação do Prof. Dr. Fernando Jorge Correa Magalhães Filho Coorientador: Prof. Dr. Denilson de Oliveira Guilherme.-- Campo Grande, MS : 2020.

69 p.; il.;

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande-MS, 2020

Inclui bibliografias

1. Cultivo de alface - Tratamento - Biossólido. 2. Cultivo de alface - Sustentabilidade agropecuária. 3. Produção vegetal - Nutrição. 4. culturas olerícolas. I.Magalhães Filho, Fernando Jorge Corrêa. II.Guilherme, Denilson de Oliveira. III. Título.

CDD: Ed. 21 -- 635.52



Biossólidos na Produção de Alface: Recuperação de Nutrientes e Análise de Metais Pesados.

Autor: Thiago Nascimento de Moraes

Orientador: Prof. Dr. Fernando Jorge Corrêa Magalhães

Coorientador: Prof. Dr. Denilson de Oliveira Guilherme

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária

Área de Concentração: Sustentabilidade Ambiental e Produtiva

APROVADO em 13 de fevereiro de 2020.

Prof. Dr. Fernando Jorge Corrêa Magalhães - UCDB

Prof. Dr. Denilson de Oliveira Guilherme - UCDB

Profa. Dra. Paula Loureiro Paulo - UFMS

Prof. Dr. Lucas Castro Torres - UCDB

AGRADECIMENTOS

Necessito agradecer a Deus, pela força em todos os momentos de aflição e noites de estudo. Só por Ele e pela intercessão de Nossa Senhora.

Agradeço à minha esposa, Paula da Cunha Bulhões, pelo companheirismo, paciência nas minhas ausências dos momentos que precisei focar aos estudos, pelo amor depositado sem nenhum critério. À ela, dedico essa conquista.

Aos meus pais, Manoel Moraes da Silva e Germana Tereza Nascimento de Moraes, obrigado pela confiança que depositaram em mim. Mesmo longe foram essenciais. Assim com a toda a minha casa de origem, meu muito obrigado.

Agradeço muito pelos professores doutores que fizeram parte da minha banca de qualificação e defesa, Paula Loureiro Paulo e Lucas Castro Torres que me ajudaram a desenvolver um trabalho mais enriquecido, a contribuição dos mesmos foi de grande importância. Em especial aos meus orientadores Fernando Jorge Correa Magalhães Filho e Denilson de Oliveira Guilherme pelo apoio, ensinamento e compreensão humana que me deram nesse trabalho, obrigado.

Aos colegas que me ajudaram de alguma forma na elaboração do meu trabalho, em especial à Isadora Godoy Brandão, Beatriz Santos Machado, Anderson Holsbach, Armando Araújo Neto, Sérgio Siqueira de Amorim Júnior e minha sobrinha Thémis Elise de Oliveira Moraes meu muito obrigado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos nos dois anos do curso de mestrado.

Agradeço a incrível secretária do programa de pós-graduação, Daiane Oliveira, por todo auxílio, paciência e apoio nesses dois anos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	13
OBJETIVOS.....	15
Objetivo Geral	15
Objetivos Específicos	15
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
Tratamento de efluente doméstico	16
Características do lodo.....	16
Principais tratamentos do lodo	18
Destinação do lodo.....	19
Aproveitamento agrícola do biossólido e recuperação nutricional.....	21
A cultura de alface.....	26
Consumo da alface	27
Efeitos de acúmulo de metais	27
METODOLOGIA	31
Classe e quantidade de lodo tratado na Unidade Geradora de Lodo (UGL)	31
Preparo do experimento	32
Parâmetros analíticos do biossólido	33
Análise de desenvolvimento da planta	34
Análises de nutrientes	34
Análise de metais pesados.....	35
Análise dos dados	35
Avaliação da capacidade de absorção de nutrientes e acúmulo de metais.....	36

	7
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
Análise do bio sólido.....	37
Análise de Desenvolvimento da planta.....	39
Análise de solo.....	49
Capacidade de absorção de nutrientes e acúmulo de metais.....	52
CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXO I.....	68
Figuras do Desenvolvimento Agronômico em doses crescentes de bio sólido	68
ANEXO II.....	70
Figuras do Desenvolvimento Agronômico em doses decrescentes de bio sólido.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As principais estratégias de disposição de lodo de esgoto.....	20
Figura 2 - A produção de lodo de esgoto em países selecionados da UE.....	21
Figura 3 - Principais opções para a disposição de lodo de esgoto em 27 países da União Europeia.....	22
Figura 4 - Porcentagem de Geração de Lodo em diversos países e porcentagens para uso agrícola.....	23
Figura 5 – Esquema do tratamento de Efluente com Fase Sólida da ETE Los Angeles.	31
Figura 6 - Amostragem de alfaces doses crescentes de biossólido. 192 t ha ⁻¹ , 144 t ha ⁻¹ , 96 t ha ⁻¹ , 48 t ha ⁻¹ e Testemunha.....	40
Figura 7 - Amostragem de alfaces com doses de biossólido. 16 t ha ⁻¹ , 24 t ha ⁻¹ , 32 t ha ⁻¹ , 40 t ha ⁻¹ , 48 t ha ⁻¹ , Químico e Testemunha	41
Figura 8 – Gráfico de Componentes Principais dos nutrientes do 1º cultivo	44
Figura 9 - Gráfico de Componentes Principais dos nutrientes do 2º cultivo	46
Figura 10 – Gráfico de Capacidade de Absorção Média de N, P, K, Ca e Mg das folhas de alface em mg kg ⁻¹ por cultivo de tratamento	53
Figura 11 - Gráfico de Capacidade de Absorção Média de S, B, Fe, Zn e Mn das folhas de alface em mg kg ⁻¹ por cultivo de tratamento	54
Figura 12 - Gráfico de Capacidade de Absorção Média de Cr, Mo, Ni, Pb, Cd e Cu das folhas de alface em mg kg ⁻¹ por cultivo de tratamento	54
Figura 13 - Comprimento e Volume de Raiz das alfaces cultivadas com doses crescentes de biossólido de esgoto urbano	68
Figura 14 - Massa da Raiz e Massa Total das alfaces cultivadas com doses crescentes de biossólido de esgoto urbano	68
Figura 15 - Massa Seca e Massa das Folhas de alfaces cultivadas com doses crescentes de biossólido de esgoto urbano	68
Figura 16 - Número de Folhas de alfaces cultivadas com doses crescentes de biossólido de esgoto urbano.....	69
Figura 17 - Comprimento e Volume de Raiz das alfaces cultivadas com doses decrescentes de biossólido de esgoto urbano	70
Figura 18 - Massa da Raiz e Massa Total das alfaces cultivadas com doses decrescentes de biossólido de esgoto urbano	70

Figura 19 - Massa Seca e Massa das Folhas de alfaces cultivadas com doses decrescentes de bio sólido de esgoto urbano70

Figura 20 - Número de Folhas de alfaces cultivadas com doses crescentes de bio sólido de esgoto urbano.....71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química típica do lodo de esgoto bruto e digerido	17
Tabela 2 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado pela presença de agentes patogênicos.	17
Tabela 3 - Concentração de coliformes termotolerantes em lodos de esgoto	18
Tabela 4 - Processos de higienização do lodo.....	19
Tabela 5 - Processos de redução adicional de patógenos (PRAP) segundo a Resolução CONAMA Nº 375/2006.....	19
Tabela 6 – Doses de lodo de esgoto em diferentes culturas agrícola para recuperação de nutrientes.....	24
Tabela 7 - Resultado das análises de lodo da ETE <i>Los Angeles</i> e Biossólido em comparação com os limites estabelecidos pelo CONAMA, USEPA e Comissão Europeia.....	37
Tabela 8 - Comprimento da Raiz, Volume da Raiz, Massa da Raiz, Massa Total, Massa Seca, Massa das Folhas e Número de Folhas de alfaces cultivadas sob doses de biossólido de ETE.....	39
Tabela 9 - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Ba, S, B, Fe, Mn, Zn, e Cu em folhas de alface cultivadas com doses de biossólido.....	43
Tabela 10 - Teores de Cr, Mo, Ni, Pb, e Cd em alfaces cultivadas com doses de biossólido	47
Tabela 11 - Teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn e Mn em solo com doses de biossólido	49
Tabela 12 - Teores de metais Cr, Mo, Ni, Pb, Cd e Cu para solos com doses de biossólido	51
Tabela 13 - Saturações de Base para solos com doses de biossólido	52

RESUMO

A destinação inadequada do lodo oriundo das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), são problemas da falta de gestão uma sustentável. Pois não utiliza o bio-sólido na recuperação de nutrientes e raramente é reintroduzido em cadeias produtivas. Contudo, o aumento dessa problemática acompanha o crescimento populacional. Incineração e aterro sanitário são disposições finais mais práticas para esse subproduto do tratamento, entretanto, não aproveitam o potencial agrônômico presente no bio-sólido, rico em nutrientes essenciais para a produção vegetal. As restrições impostas pela Resolução nº 375 do CONAMA, inviabilizam a destinação desse material para fins agrícolas. Poucos são os estudos com aplicação de bio-sólido em culturas olerícolas como a alface, representativo na dieta do brasileiro. Sendo ideal para estudos em função da alta sensibilidade e possui rápido crescimento. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar desenvolvimento vegetal, recuperação nutricional e acúmulo de poluentes na aplicação de bio-sólidos de ETE no cultivo da alface. A higienização do lodo foi garantida, por processo de solarização durante 15 dias, para desidratação total. O experimento se divide em 2 cultivos, o primeiro com 48 t ha⁻¹, 96 t ha⁻¹, 144 t ha⁻¹, 192 t ha⁻¹ e uma testemunha em adubo orgânico, e o segundo com 48 t ha⁻¹, 40 t ha⁻¹, 32 t ha⁻¹, 24 t ha⁻¹, 16 t ha⁻¹, testemunha em adubo orgânico e adubo químico. Parâmetros tais como comprimento da raiz, volume da raiz, massa da raiz, massa total, massa seca, massa das folhas e número de folhas foram utilizados para avaliar o desenvolvimento da planta, além da avaliação de nutrientes e metais nas plantas, solo e bio-sólido. Os metais pesados analisados no lodo estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação nacional (CONAMA 375/06), americana (USEPA 40 Part. 503) e europeia (Directiva 1986/278/CEE). Após 35 dias, em ambos cultivos, o tratamento de 48 t ha⁻¹ de bio-sólido, obteve os melhores resultados agrônômicos, com 35% a mais de massa total em relação à testemunha para o primeiro cultivo, e 146% massa total em relação à testemunha para o segundo cultivo. A dosagem de 48 t ha⁻¹ não apresenta riscos de contaminação por metais pesados, seguindo os padrões descritos pela ANVISA, sendo assim passiva de consumo no primeiro cultivo. Entretanto, no segundo cultivo, o tratamento de 40 t ha⁻¹ foi o mais adequado. O Bário foi analisado nas folhas, pela sua presença no lodo, onde foi correlacionado com os outros parâmetros pela análise de componentes principais, e apresentou relação direta com nutrientes essenciais, assim como o Fósforo. A ordem de absorção nutricional para o primeiro cultivo ficou K>N>Ca>P>S>Mg>Fe>Zn>Mn>B e K>N>Ca>P>Mg>S>Fe>Mn>Zn>B para o segundo. As outras dosagens tiveram um crescimento reduzido a medida que a concentração de bio-sólido aumentava, logo, existe uma relação inversa entre absorção e desenvolvimento, comprovando o stress nutricional causado pela alta concentração do bio-sólido nessas amostras. No solo, os parâmetros avaliados estão dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 420/06, Directiva 89/278/CEE e USEPA 1993.

Palavras-chaves: Bio-sólido, nutrientes, alfaces, metais pesados.

ABSTRACT

The inadequate destination of the sludge from the Sewage Treatment Station (STS), are problems of the lack of a sustainable management. Because it does not use biosolids to recover nutrients and is rarely reintroduced into production chains. However, the increase in this problem accompanies population growth. Incineration and landfill are the most practical final provisions for this treatment by-product, however, they do not take advantage of the agronomic potential present in the biosolid, rich in essential nutrients for plant production. The restrictions imposed by CONAMA Resolution 375, make it impossible to dispose of this material for agricultural purposes. There are few studies with the application of biosolids in vegetable crops such as lettuce, which is representative of the Brazilian diet. It is ideal for studies due to its high sensitivity and has rapid growth. Thus, the objective of this work was to evaluate plant development, nutritional recovery and accumulation of pollutants in the application of SPS biosolids in the cultivation of lettuce. The cleaning of the sludge was guaranteed, through a solarization process for 15 days, for total dehydration. The experiment is divided into 2 crops, the first with 48 t ha⁻¹, 96 t ha⁻¹, 144 t ha⁻¹, 192 t ha⁻¹ and a control in organic fertilizer, and the second with 48 t ha⁻¹, 40 t ha⁻¹, 32 t ha⁻¹, 24 t ha⁻¹, 16 t ha⁻¹, control in organic fertilizer and chemical fertilizer. Parameters such as root length, root volume, root mass, total mass, dry mass, leaf mass and number of leaves were used to assess plant development, in addition to the assessment of nutrients and metals in plants, soil and biosolids. The heavy metals analyzed in the sludge are below the limits established by national (CONAMA 375/06), American (USEPA 40 Part. 503) and European (Directive 1986/278 / EEC) legislation. After 35 days, in both crops, the treatment of 48 t ha⁻¹ of biosolid, obtained the best agronomic results, with 35% more of the total mass compared to the control for the first cultivation, and 146% of the total mass in relation to the witness for the second crop. The dosage of 48 t ha⁻¹ does not present risks of contamination by heavy metals, following the standards described by ANVISA, thus being passive for consumption in the first crop. However, in the second crop, the 40 t ha⁻¹ treatment was the most appropriate. Barium was analyzed in the leaves, due to its presence in the sludge, where it was correlated with the other parameters by the analysis of main components, and showed a direct relationship with essential nutrients, as well as phosphorus. The nutritional absorption order for the first crop was K > N > Ca > P > S > Mg > Fe > Zn > Mn > B and K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > B for the second. The other dosages had a reduced growth as the concentration of biosolid increased, therefore, there is an inverse relationship between absorption and development, proving the nutritional stress caused by the high concentration of biosolid in these samples. On the ground, the parameters evaluated are within the limits established by CONAMA 420/06, Directive 89/278 / EEC and USEPA 1993.

Keywords: Biosolid, nutrients, lettuces, heavy metals.

INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) promovem proteção ao meio ambiente em seus processos de tratamento de efluentes, porém, para que isso aconteça, todo o ciclo do tratamento deve estar inserido nesse objetivo (VON SPERLING, 2005). Subprodutos gerados no tratamento de efluentes líquidos, como o biogás e lodo, precisam de um melhor aproveitamento, pois sem uma gestão adequada acabam por poluir o ambiente (KIM & OWENS, 2010).

Com o aumento populacional, um maior volume de esgoto doméstico deve ser tratado, o que, conseqüentemente, gerará uma maior quantidade de lodo. As principais fontes geradoras de lodo são as provenientes de ETE urbanas municipais, o que torna sua destinação uma estratégia de gestão pública (BITTENCOURT et al., 2016).

As restrições impostas pela Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 375/06, BRASIL, 2006), inviabiliza a aplicação do bioossólido (lodo processado em ETEs) para fins mais nobres como a produção de alimentos (SAMPAIO, 2013). Em contrapartida, a resolução apresenta flexibilidade de reformulação de acordo com o desenvolvimento de estudos científicos para respaldar o uso do bioossólido oriundos de ETEs na agricultura. Destaca-se que a mencionada resolução encontra-se em revisão, bem como que em 2018, foi realizado o Seminário Internacional de Uso de Lodo de Esgoto no Solo para contribuir para a alteração na legislação.

A disposição em aterros sanitários e incinerações não são destinações sustentáveis, o que justifica o uso na agricultura, procedimento adotado em muitos países, gerando economia na aquisição de insumos e recuperação nutricional (WERNER et al., 2009; ALVARENGA, et al., 2015).

Estudos realizados na Europa apontam que as principais destinações do lodo gerado nas ETEs são a agricultura (FYTILI & ZABANIOTOU, 2006; KACPRZAK et al., 2017), incineração (LIN & MA, 2012) e aterro sanitário (KELESSIDIS & STASINAKIS, 2012), muito embora, a agricultura ainda seja considerada uma alternativa insegura pela tratativa dos metais pesados incorporados em sua composição (KACPRZAK et al., 2017).

No Brasil, segundo Bettiol & Camargo (2006), o bioossólido pode ser usado na agricultura, tendo como princípio o monitoramento do solo usado, embora poucos estudos atestem a viabilidade na gestão (UGGETTI et al., 2010) e no controle do processo de aplicação (ANDREOLI, 2006).

A aplicação de biossólidos, em alguns casos, se mostra como uma alternativa de custo-benefício atrativo pela reciclagem de nutrientes (QIN et al., 2012; CHU et al., 2017). Realizada de forma a preservar e/ou melhorar as condições ambientais existentes, proporcionando sustentação, umidade e melhoria na troca catiônica, economizando adubo químico (MARTIN et al., 2009). Um exemplo de nutriente recuperado por meio da aplicação de biossólido é o fósforo, cuja as jazidas são limitadas no mundo (CORDELL et al., 2011; TORRI et al., 2017).

Da mesma forma, o biossólido já foi testado em algumas culturas agrícolas, para recuperação de nutrientes como no eucalipto (GUEDES & POGGANI, 2003; AFÁZ et al. 2017; FLORENTINO et al., 2019), na produção de tomate cereja (HOSSIAN et al., 2010), soja e milho (LEMANIS & SILVA, 2006; ARAUJO et al., 2019), onde foi obtido valores de ~20% de eficiência na produção em comparação com adubação química convencional. Contudo, são limitados os estudos envolvendo a aplicação de biossólido na produtividade de olerícolas, como a alface.

Embora, na China, o lodo doméstico tratado com ozônio, foi diluído e aplicado no sistema hidropônico de alfaces, resultando em maior concentração de nutrientes das plantas e alternativa para recuperação de fósforo (YANG et al., 2018). O uso do carvão, também partindo do lodo doméstico, aumentou a biomassa em alfaces (MÉNDEZ et al., 2016). A mesma técnica de produção de carvão partindo do lodo doméstico foi usado no cultivo de tomates cerejas aumentando o peso de parte aérea fresca da planta e a disponibilidade e recuperação de fosfato no solo (LEE et al., 2019).

Assim, tendo um cultivo rápido e custo de produção baixo, a alface é uma das principais hortaliças presentes na dieta do brasileiro. Cerca de 35 mil hectares dessa hortaliça são cultivados no país segundo Sala & Costa (2005), estando entre as mais consumidas como saladas cruas e em sanduíches. É uma folhagem com alta sensibilidade, ideal para avaliar resultados da aplicação de biossólido, tanto na recuperação de nutrientes com os efeitos de poluentes absorvidos pela planta e retidos no solo.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetal, a recuperação nutricional e acúmulo de poluentes na aplicação de biossólidos de ETE no cultivo da alface, com intuito de viabilizá-lo como uma alternativa de destinação sustentável, recuperação segura de nutrientes e melhoria na produção olerícola.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o desenvolvimento vegetal, recuperação nutricional e acúmulo de poluentes na aplicação de bioossólidos de ETE no cultivo da alface.

Objetivos Específicos

- Investigar a concentração ideal de bioossólido na produção de alface por meio de parâmetros agronômicos
- Avaliar concentrações de nutrientes e poluentes na alface cultivada e no solo, com diferentes concentrações de bioossólidos;
- Analisar pela análise multivariada por componentes principais o comportamento de nutrientes e poluentes nos tratamentos estudados;
- Analisar a capacidade de absorção de nutrientes e acúmulo de metais pela planta.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tratamento de efluente doméstico

As ETEs são projetadas para o tratamento de efluentes domésticos, proveniente das atividades humanas e suas instalações sanitárias, de modo que o grande volume de efluente gerado está diretamente relacionado com o aumento populacional (VON SPERLING, 2005).

A fase líquida representa mais de 90% do volume total de efluente gerado, que é o principal foco das ETEs, sendo que esse volume retornará ao meio ambiente. O lodo de esgoto é o subproduto da separação dos sólidos do efluente, possuindo basicamente matéria orgânica em sua composição. Assim como o efluente líquido tratado, o lodo é um resíduo do sistema (VON SPERLING, 2005).

O lodo possui características distintas do efluente da fase líquida e potencial de contaminação do meio muito elevado, o que motiva a restrição do seu reuso nas atividades humana (KACPRZAK et al., 2017). O bio-sólido é o produto do tratamento do lodo de esgoto que passou por um processo de recuperação para o seu uso na agricultura (SPINOSA, 2007).

Características do lodo

Depois da separação da fase sólida da líquida, o lodo sofrerá outro processo que tem por objetivo a diminuição de suas características potencialmente contaminantes como patógenos e metais pesados.

A Tabela 1 mostra referência sobre as concentrações de parâmetros químicos presentes no lodo que são base de motivação de sua aplicação na agricultura, contudo o lodo também é constituído de metais pesados, e essa concentração varia de acordo com o tipo de tratamento que é submetido (VON SPERLING, 2005) (KACPRZAK et al., 2017).

Tabela 1 - Composição química típica do lodo de esgoto bruto e digerido.

CONSTITUINTE		LODOS PRIMÁRIOS NÃO TRATADOS		LODOS PRIMÁRIOS DIGERIDOS		LODOS ATIVADOS
		FAIXA	TÍPICO	FAIXA	TÍPICO	FAIXA
Sólidos Totais (%ST)		2,0 – 8,0	5,0	6,0 – 12,0	10,0	0,8 – 1,2
Sólidos Voláteis (%ST)		60,0 – 80,0	65,0	30,0 – 60,0	40,0	59,0 – 88,0
Gorduras e Graxas (%ST)	Éteres solúveis	6,0 – 30,0	-	5,0 – 20,0	18,0	-
	Éteres extraíveis	7,0 – 35,0	-	-	-	5,0 – 12,0
Proteínas (%ST)		20,0 – 30,0	25,0	15,0 – 20,0	18,0	32,0 – 41,0
Nitrogênio (N) (%ST)		1,5 – 4,0	2,5	1,6 – 6,0	3,0	2,4 – 5,0
Fósforo (P ₂ O ₅) (%ST)		0,8 – 2,8	1,6	1,5 – 4,0	2,5	2,8 – 11,0
Potássio (K ₂ O) (%ST)		0 – 1,0	0,4	0 – 3,0	1,0	0,5 – 0,7
Celulose (% ST)		8,0 – 15,0	10,0	8,0 – 15,0	10,0	-

Fonte: METCALF E EDDY (1991).

A Tabela 2 compara a legislação Americana com o CONAMA pela presença de patógenos, a classificação em ambas legislações determina o lodo de melhor qualidade conforme a menor concentração de parâmetros microbiológicos.

Tabela 2 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado pela presença de agentes patogênicos.

Classe		Coliformes Termotolerantes	Ovos viáveis de helmintos	<i>Salmonella</i>	Vírus
Resolução CONAMA 375/2006	A	<10 ³ NMP g ⁻¹ de ST	< 0,25 ovo g ⁻¹ de ST	Ausência em 10 g de ST	< 0,25 UFP ou UFF g ⁻¹ de ST
	B	<10 ⁶ NMP g ⁻¹ de ST	< 10 ovo g ⁻¹ de ST	-	-
EUA	A	<10 ³ NMP g ⁻¹ de ST	< 1 ovo 4g ⁻¹ de ST	< 3 NMP 4g ⁻¹ ST	< 1 UFP 4g ⁻¹ ST
	B	<2 x10 ⁶ NMP g ⁻¹ de ST	-	-	-

Fonte: USEPA (2003); BRASIL (2006).

Nota: NMP: número mais provável; UFP: unidade formadora de placa; UFF: unidade formadora de foco; ST: sólidos totais.

Principais tratamentos do lodo

A primeira etapa do tratamento do lodo na fase sólida está no aproveitamento da sua carga microbiológica para a redução de matéria orgânica e degradação dos metais pesados através da estimulação microbiológica ou bioestimulação, processo que adiciona nutrientes para o aumento da atividade metabólica dos microrganismos (TONINI et al., 2010). A Tabela 3 apresenta referências de parâmetros de coliformes termotolerantes nos tipos do tratamento de esgoto.

Tabela 3 - Concentração de coliformes termotolerantes em lodos de esgoto.

	FAIXA	UNIDADE	REFERÊNCIA
Lodo de reator UASB (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>)	$9,3 \times 10^6 - 1,7 \times 10^9$	NMP g ⁻¹ ST	Gibbs et al. (1994)
	$3,4 \times 10^6$	NMP g ⁻¹ ST	Lasobras et al. (1999)
	$7 \times 10^1 - 1,1 \times 10^5$	NMP g ⁻¹ peso úmido	Payment et al. (2001)
	$3,6 \times 10^7$	NMP g ⁻¹ ST	Dahab e Surampalli (2002)
	$6,3 \times 10^6$	NMP g ⁻¹ ST	Assunção e Henrique (2006)
Lodos primários, secundários ou de reator UASB (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>)	$10^7 - 10^8$ $10^5 - 10^7$	NMP g ⁻¹ ST	Pederson (1981); Andraus et al. (1998); Melo et al. (2000); Vanzo et al. (2000); Epstein (2003); Guzmán et al. (2007);
Tanque séptico	$9,95 \times 10^6$	UFC 100 ml ⁻¹	Santos (2010)
	$1,38 \times 10^7$	NMP g ⁻¹ ST	Ratis (2009)
	$7,5 \times 10^4$ a $2,4 \times 10^7$	NMP 100 ml ⁻¹	Ingunza et al. (2009)
	$10^5 - 10^7$	(NMP 100 ml ⁻¹)	Siqueira (2014)
Lodos aeróbio	$2,34 \times 10^5$ e 1×10^7	NMP g ⁻¹ ST	Comparini (2002)

Fonte: POMPEO (2015).

A segunda etapa do tratamento se concentra na higienização do lodo, para a remoção dos parasitas. Na Tabela 4 apresenta os processos de higienização para redução dos patógenos e a Tabela 5 os processos recomendados pelo CONAMA 375/2006. Vale lembrar que o lodo de fossa séptica é proibido para aplicação agrícola (POMPEO et al., 2016)

Tabela 4 - Processos de higienização do lodo.

Processos	Descrição
Natural	Compostagem (leiras)
	Digestão aeróbia autotérmico
	Secagem térmica (sol)
Artificial	Tratamento com cal (calagem)
	Compostagem (Reator)
	Pasteurização
	Secagem térmica (aquecedor)
	Incineração

Fonte: ANDREOLI et al. 2007.

Destinação do lodo

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010) apresenta a ordem de prioridades em seu artigo 9º: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A disposição de lodo tratado em aterros sanitários acarreta a diminuição da vida útil dos aterros, que sugere, a longo prazo, a ampliação de áreas para deposição final desse resíduos. Observando pelo lado agrônômico das características do lodo, é uma decisão não sustentável, visto que o mesmo apresenta grandes vantagens no seu aproveitamento (SAMPAIO, 2014).

Tabela 5 - Processos de redução adicional de patógenos (PRAP) segundo a Resolução CONAMA Nº 375/2006.

Compostagem	Deve ser confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55 °C no mínimo) ou com revolvimento das leiras por 15 dias a 55 °C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira pelo menos por 5 dias ao longo do processo.
Secagem térmica direta ou indireta	A temperatura das partículas de lodo de esgoto ou produto derivado deve ser superior a 80 °C, ou a temperatura de bulbo úmido de gás, em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado no momento da descarga do secador, ser superior a 80 °C, para reduzir a umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10%.
Tratamento térmico	Aquecimento do lodo de esgoto ou produto derivado líquido a 180 °C, no mínimo, durante um período de 30 minutos.
Digestão aeróbia termofílica	Ocorre a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60 °C;
Processos de irradiação com raios beta	Com dosagens mínimas de 1 megarad a 20 °C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137.
Processos de pasteurização	Pela manutenção do lodo de esgoto ou produto derivado a uma temperatura mínima de 70 °C, por um período de pelo menos 30 minutos.

Fonte: BRASIL (2006).

Atrelado ao fato do desperdício agrônômico da destinação do lodo, os municípios que possuem sistema de tratamento de efluentes não estão com a gestão de resíduos sólidos bem definidas, o que agrava a preocupação com a disponibilidade de aterros para esse tipo de finalidade (ANDREOLI et al., 2006). A Figura 1 apresenta os principais direcionamentos do lodo pós tratamento.

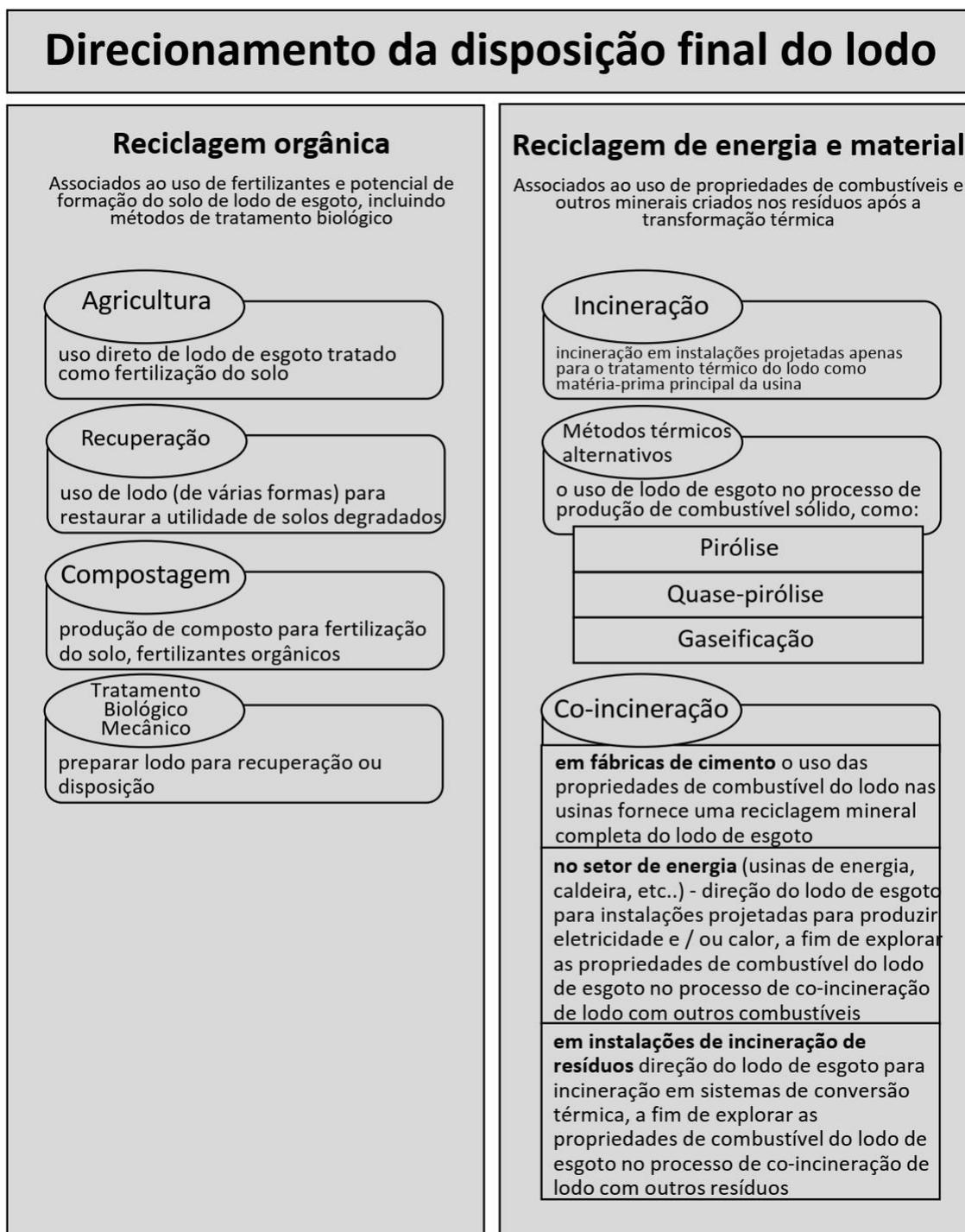


Figura 1 - As principais estratégias de disposição de lodo de esgoto
 Fonte: Wójtowicz (2013), adaptado.

Aproveitamento agrícola do biossólido e recuperação nutricional

Segundo a OPEC (2018), cerca de 80% de todo o esgoto é descartado sem nenhum tratamento em águas navegáveis no mundo. Em diversos países na Europa, o tema sobre a disposição agrícola do lodo vem sendo amplamente debatido, pois mesmo que as legislações estejam inclinadas a incentivar as reciclagens agrícolas, os métodos de incineração, assim como o monitoramento do meio incorporado, acabam se tornando processos inviáveis pelo grande consumo de energia térmica (SPINOSA, 2007).

Nos EUA, estudos são fomentados a fim de se conquistar ainda mais a confiabilidade da população quanto ao uso de biossólido. Prova disso são os diversos estímulos apresentados em reuniões e conferências que estudam a questão do biossólido, como a Cúpula de Pesquisa sobre os Biossólidos de 2003, organizada pela *Water Environmental Research Foundation*.

A Figura 2 apresenta a produção de lodo nos países selecionados da União Europeia de 2002 à 2013.

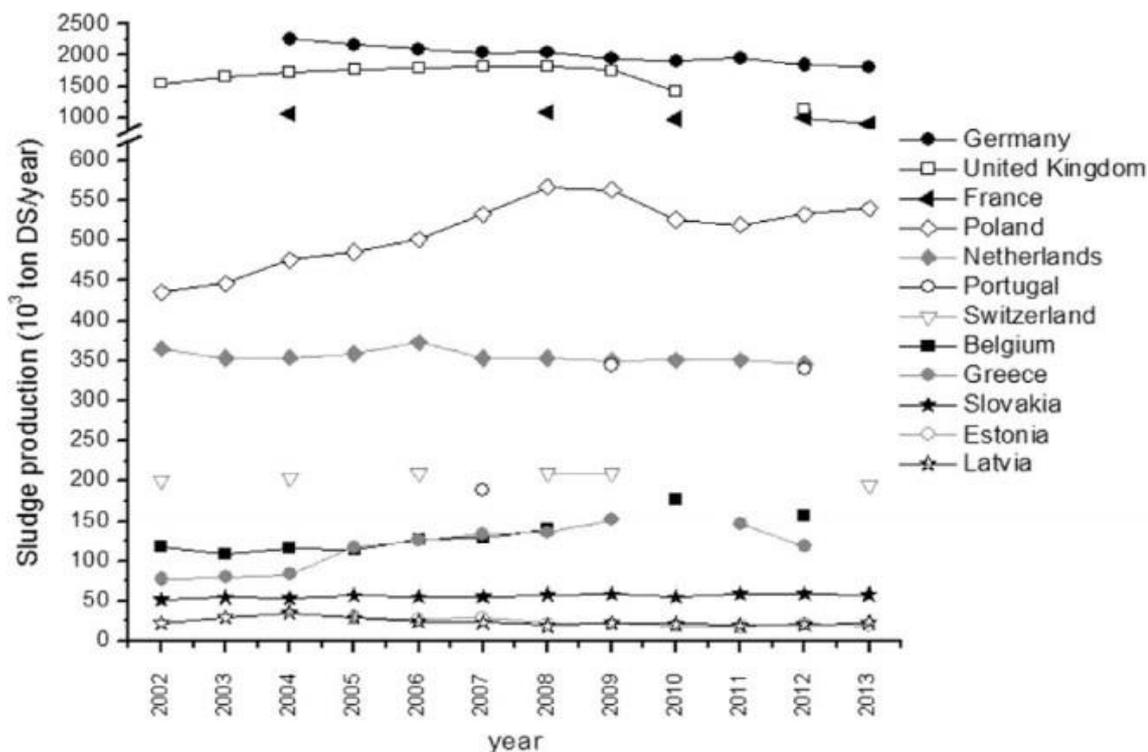


Figura 2 - A produção de lodo de esgoto em países selecionados da UE.
Fonte: Eurostat (2015).

O último *Clean Watersheds Needs Survey* de 2012 (2012 CWNS Report and Data) informa que os EUA possui 14.691 ETE's servindo a 234,1 milhões de habitantes, gerando mais de 8 milhões de toneladas de lodo por ano (ton/ano), e desse total 55% é de uso agrícola (DE LOS REYES III, 2018).

A Figura 3 mostra as destinações usuais do lodo de esgoto nos 27 países da União Europeia. Em 2008 com quase 2 milhões de ton/ano, o principal foco de destinação do lodo na Alemanha era a incineração, e na Figura 4 a destinação agrícola diminuiu 3% em 2018. Em 2007, Portugal produzia 150 mil ton/ano de lodo (Figura 2) e destinava cerca de 90% na agricultura, em 2012 essa produção foi 350 mil ton/ano (Figuras 2 e 3) e em 2018, destinava 50% de toda a produção (Figura 4). A França aumento as suas destinações agrícolas do lodo de 47% em 2008 para 75% em 2018, mantendo a geração média em torno de 1 milhão de ton/ano de 2002 a 2013 (Figuras 2 e 4).

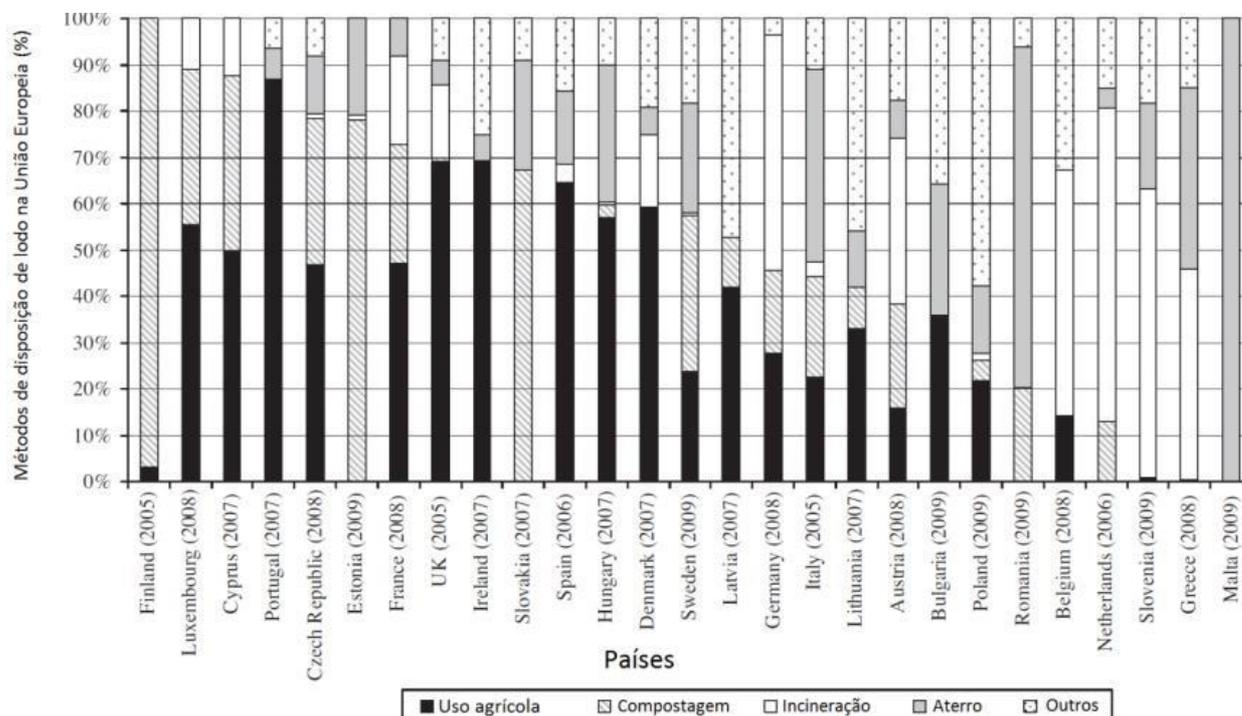


Figura 3 - Principais opções para a disposição de lodo de esgoto em 27 países da União Europeia. Fonte: Adaptado de Kelessidis e Stasinakis (2012).

Matos (2018) no Seminário Internacional uso de lodo de esgoto em solos realizado em Belo Horizonte, informa que seriam necessários 7 trilhões de ton de lodo para tratar os 140 milhões de hectares de áreas degradadas, e 1,5 a 2 trilhões de ton para atender os 78 milhões de hectares de áreas plantadas no Brasil. Contudo, se

todo o esgoto sanitário do Brasil fosse tratado, estima-se a geração de 3,65 milhões de ton/ano de lodo seco.

A Figura 4 também mostra que apenas Alemanha e Brasil estão com destinações agrícola abaixo de 30% do total de lodo gerado em 2018. A Austrália, por outro lado, passou as aplicações de 15 para 81% em 10 anos. Lodos digeridos é atualmente uma fonte de biofertilizante para uso em terras aráveis da Austrália (McCABE et al., 2019).

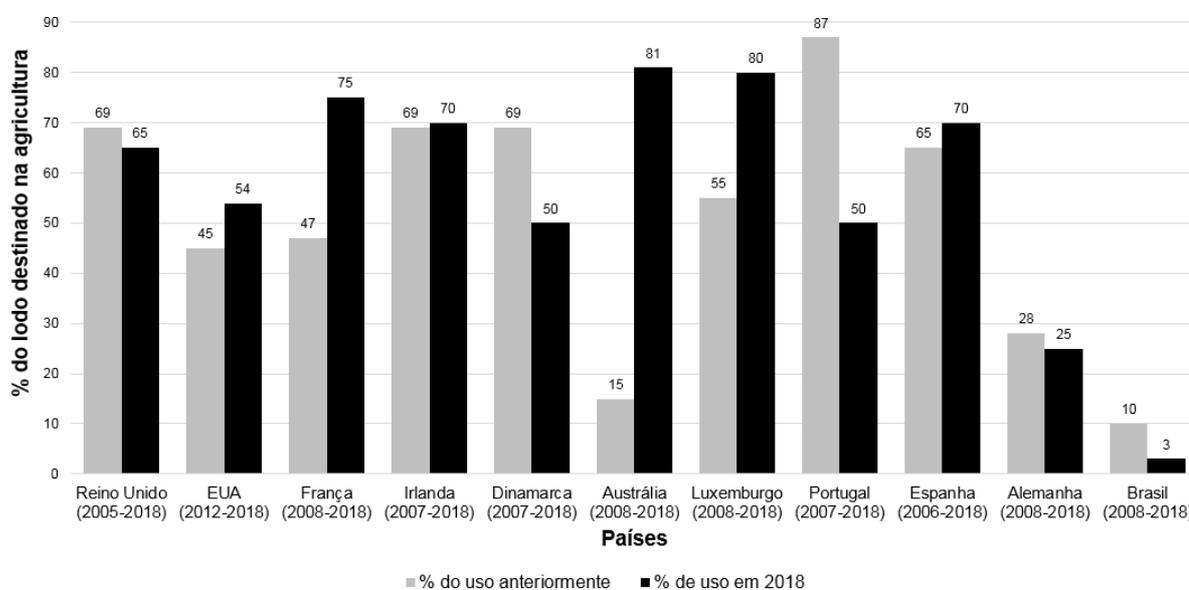


Figura 4 - Porcentagem de Geração de Lodo em diversos países e porcentagens para uso agrícola. Fonte: Adaptado de LeBLANC et al. (2008); Evans (2012); Australia & New Zealand Biosolids Partnership (2013), Kelessidis e Stasinakis (2012) e Matos (Seminário Internacional – Uso de Lodo no Solo, 2018).

A maior barreira do uso de biofertilizante na agricultura para fins de recuperação nutricional em larga escala é a presença de metais pesados como Cádmio, Zinco, Chumbo, Níquel e Ferro. Em levantamentos realizados no EUA - Texas foi concluído a presença de metais com alto níveis de exposição representativos para estudos ecotoxicológicos nesses solos (YANG, 2014).

A Tabela 6 lista, desde 1995 até 2019 alguns estudos com aplicação de diversas formas e tratamentos do lodo na agricultura para fins de recuperação de nutrientes, em diversos tipos de culturas agrícolas, onde pode se observar que os experimentos se concentraram em culturas mais seguras para o consumo, como soja, milho, e eucalipto. É necessário destacar que são poucos os testes realizados em folhosas como a alface.

Tabela 6 – Doses de lodo de esgoto em diferentes culturas agrícola para recuperação de nutrientes.

Tipo de Lodo	Dose (t ha⁻¹)	Espécie de Planta	Nome	Autores
Lodo de esgoto	3,6; 7,2; 10,8; 14,4; 18,0	<i>Salix discolor</i> Mthl.	Salgueiro	Labrecque et al. (1995)
Lodo de esgoto	3,6; 7,2; 10,8; 14,4; 18,0	<i>Salix viminalis</i> L.	Salgueiro Gato	Labrecque et al. (1995)
Lodo de esgoto composto	5,9; 11,7; 29,2; 58,5	<i>Brassica chinensis</i> L.	Couve-china	Wong et al. (1996)
Lodo de esgoto municipal	0; 5; 7,5; 10; 15; 20	<i>Triticum aestivum</i> L.	Trigo	Merrington et al. (1997)
Lodo de esgoto digerido	10; 20; 30; 40	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Feijão	Wen et al. (1997)
Lodo de esgoto	10; 100	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Jarauschk-Wehrheim et al. (1999)
Lodo de esgoto seco	10; 20; 30; 40; 50	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Qasim et al. (2001)
Lodo de esgoto	22,8; 45,6; 68,4; 91,2	<i>Lactuca sativa</i>	Alface	Santos et al. (2001)
Lodo de esgoto	60	<i>Diplotaxis erucoides</i> L.	Diplotaxis	Korboulewsky et al. (2002)
Lodo de esgoto digerido e ativado anaerobicamente	5; 10; 15; 20; 40	<i>Eucalyptus</i>	Eucalipto	Guedes & Poggiani (2003)
Lodo de esgoto digerido e ativado anaerobicamente	3,4	<i>Avena sativa</i> L.	Aveia	Petersen et al. (2003)
Lodo de esgoto	0,06; 0,13; 0,19; 0,26	<i>Lactuca sativa</i>	Alface	Lopes et al. (2005)
Lodo de esgoto	7; 14; 21	<i>Sorghum vulgare</i> L.	Sorgo	Akdeniz et al. (2006)
Lodos ativados e lagoas de estabilização facultativas	100	<i>Sorghum vulgare</i> L.	Sorgo	Mendoza et al. (2006)
Lodo de esgoto	10; 30; 50	<i>Gossypium hirsutum</i> L.	Algodão do México	Samaras et al. (2008)
Biocarcão de lodo	10	<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	Tomate cereja	Hossian et al. (2010)
Lodo de esgoto	9,8; 19,6	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Černý et al. (2012)
Lodo de esgoto	0,9; 16,2	<i>Zea mays</i> L.	Milho	Seleiman et al. (2013a)
Lodo de esgoto	0,9; 16,2	<i>Cannabis sativa</i> L.	Maconha	Seleiman et al. (2013a)
Lodo de esgoto	0,9; 16,2	<i>Brassica napus</i> L.	Canola	Seleiman et al. (2013a)
Lodo de esgoto municipal	0; 30; 75; 150; 300	<i>Lolium perene</i> L.	Azevém/Joio	Gu et al. (2013)
Lodo de esgoto	2%; 5%; 7,5%	<i>Helianthus annuus</i>	Girassol	Belhaj et al. (2016)
Lodo de esgoto e biocarcão de lodo	10%	<i>Lactuca sativa</i>	Alface	Méndez et al. (2016)
Lagoa de estabilização	0; 4,4; 8,8; 13,2	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Eucalipto	Afáz et al. (2017)
Lodo de esgoto	3 e 9	<i>Salix viminalis</i> L.	Salgueiro gato	Urbaniak et al. (2017)
Lodo de esgoto	0; 20; 40; 60; 80; 100	<i>Cucumis sativus</i> L.	Pepino	Eid et al. (2017)
Lodo de esgoto	1%	<i>Triticum aestivum</i> L.	Trigo	Rehman et al. (2018)

Lodo de esgoto	0; 15; 30; 60; 120	<i>Zoysia japonica</i>	Gramma esmeralda	Wang et al. (2018)
Lodo de esgoto	0; 15; 30; 60; 120	<i>Poa annua</i>	Capim pé-de- galinha	Wang et al. (2018)
Lodo de esgoto	0; 25; 50; 125; 250	<i>Sorghum bicolor</i> L.	Sorgo doce	Zuo et al. (2019)
Lagoa de estabilização e biocarvão	0; 8; 15; 20; 23; 40	<i>Eucalyptus</i>	Eucalipto	Florentino et. al. (2019)
Biocarvão de lodo	0.5%	<i>Glycine max</i> L.	Soja	Araujo et. al. (2019)
Biocarvão de lodo	2%, 2%+NPK	<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	Tomate cereja	Lee et. al. (2019)
<u>Lodo de esgoto digerido e ativado anaerobicamente</u>	40 e 80	<i>Lactuca sativa</i>	Alface	Hirpassa & Codling (2019)

Os estudos listados (Tabela 6), mostram a existência de uma dosagem ideal para cada cultura agrícola, que relaciona qualidade da planta cultivada com o ganho de massa e nutrientes na aplicação de biossólido/lodo. Kathijotes et al. (2016) mostram que o uso de biossólido não apresenta riscos ao solo, podendo manter e melhorar a fertilidade do mesmo, além do rendimento das culturas pela recuperação de P, N, K e Ca.

Os produtos nutricionais agrícolas recuperáveis podem incluir misturas orgânicas complexas, por exemplo, biomassa; resíduos mistos de processos termoquímicos, por exemplo, carvão e cinza; ou produtos químicos específicos de N, P, K (CAREY et al., 2016). A exemplo disso, o biossólido, uma vez considerado um resíduo, agora está se tornando cada vez mais reconhecido como um recurso multifuncional, com crescentes oportunidades para uso comercializável na reciclagem benéfica de nutrientes (SHORT et al., 2018).

Dos nutrientes essenciais, o Fósforo possui um ciclo de reposição natural muito reduzido e seus estoques naturais vem se reduzindo gradualmente (VAN VUUREN et al., 2010) (CORDELL & NESET, 2014), por essa razão, técnicas de sua recuperação para uso agrícola vem sendo aplicada em diversos países, e a aplicação do biossólido é uma alternativa promissora (TORRI et al., 2017).

Shiba e Ntuli (2017), por meio de lixiviação ácida seguida de troca iônica e precipitação usando hidróxido de magnésio e hidróxido de amônio, mostraram uma técnica para recuperar o nutriente P a partir do biossólido (cerca de 82% do P foi extraído como fosfatos de cálcio e fosfatos de alumínio). Além disso, Nakagawa e Ohta (2019) recuperaram até 40% de P como hidroxiapatita de cálcio em uma planta

de escala completa que tratava cinzas de biossólido, é possível observar que a recuperação do fósforo e do cálcio são correlacionáveis.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes da biosfera, que se lançado de forma indiscriminada no meio ambiente, pode causar sérios danos (ROCKSTRÖM et al., 2009). A sua recuperação para aplicação agrícola e correção de suas taxas no solo é uma medida de reciclagem benéfica, tendo como princípio o controle de sua concentração (WINKLER & STRAKA, 2019).

A produção de fertilizantes nitrogenados requer altos custos de confecção e consumo de energia, sendo a concentração do mesmo, a alternativa mais sustentável para aplicação agrícola, e o processo de produção de lodo acaba por reproduzir essa concentração no tratamento de efluentes (SWAMINATHAN & SUKALAC, 2005).

Recebendo menos atenção que o N e P, o Potássio (K) também faz parte dos nutrientes essenciais com reservas finitas no mundo (CAREY et al., 2016), mesmo que a sua disponibilidade em reservas naturais sejam programadas para atender vários séculos, essas demandas podem ser totalmente satisfeitas pela recuperação e reutilização de K a partir de biomassa de resíduos renováveis (BATSTONE et al., 2015).

A cultura de alface

A alface é uma das principais hortaliças presentes na dieta do brasileiro. Cerca de 35 mil hectares dessa hortaliça eram cultivadas no país segundo Sala & Costa (2005) e em 2018 esse valor chega a 87 mil (KIST et al., 2018).

É a hortaliça mais consumida no Brasil (SALA & COSTA, 2005; IBGE, 2006) e é encontrada em todo o território nacional.

Seu consumo é feito *in natura*, sendo composta por cada 100g: água 94%; valor calórico 18 Kcal; proteína 1,3 g; carboidratos totais 3,5 g; fibra 0,7 g; cálcio 68 mg; fósforo 27 mg; ferro 1,4 mg; potássio 264 mg; vitamina C 18,0 mg, (SGARBIERI, 1987).

A concentração de macronutrientes na alface permanece em média 30-50 de N, 4-7 de P, 50-80 de K, 15-25 de Ca e 4-6 de Mg em g kg^{-1} e de micronutrientes 7-20, 30-150 e 30-100 mg kg^{-1} de Cu, Mn e Zn, respectivamente, segundo Silva (1999).

Consumo da alface

Segundo o IBGE (2006), São Paulo consumiu 164 mil toneladas, seguido do Rio de Janeiro com 143 mil toneladas, Minas Gerais com 36 mil toneladas, Rio Grande do Sul com 30 mil toneladas e Paraná com 28 mil toneladas.

Em 2006, a produção de alface era de 576.602 toneladas, sendo a folhosa mais consumida no país, em 2017 esse valor passa a ser de 908.186 toneladas, segundo os Censos Agropecuários do IBGE (2017). Dos 174 mil hectares de hortaliças plantadas em todo o território nacional, a alface ocupa 49,9% desse total, que representa 86,8 mil hectares produzidos por mais de 670 mil produtores (KIST et al., 2018).

É o tipo de hortaliça que não difere classe social, uma vez que o seu acesso e custo facilita o consumo, sem contar que está sempre presente em pratos domésticos e preparos industriais (YURI et al., 2002; HENZ & SUINAGA, 2009).

Ademais, com a mudança dos hábitos alimentares da população, esse tipo de mercado vem sendo ampliado para atendimento das exigências dos consumidores, bem como em razão da recomendação da alface para pessoas em tratamento da obesidade e doenças degenerativas, por apresentarem baixo valor calórico (OHSE et al., 2001).

Efeitos de acúmulo de metais

Os metais como o Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Cádmiio (Cd) estão presentes no lodo de ETEs, e a concentração dos mesmos não apenas causam danos severos no meio ambiente como é a responsável por diversas doenças.

O Acúmulo do solo por metais pesados, oriundo das mais diversas atividades humanas, e principalmente pelo lançamento indiscriminado de resíduo sem tratamento, traz uma perda de US \$10 bilhões por ano no mundo, sendo que os principais contaminantes são Cd, Cr, Pb, Cu e Zn (HE et al., 2015).

O Cromo possui diversas vias de contaminação no ser humano, como inalação, cutânea e ingestão, e seus principais malefícios são efeitos carcinogênico ocupacional entre os trabalhadores de manipulação, assim como contribui para a citotoxicidade,

genotoxicidade e carcinogenicidade, por outro lado é essencial para promover a ação da insulina no corpo, quando usado de forma farmacêutica (SHRIVASTAVA, 2002).

O Cádmio está intimamente ligada à hipertensão no homem quando ingerido, assim como doenças gastrointestinais devido a sua acumulação no rim, além de barragem renal, danos ósseos, câncer, baixo peso em recém-nascidos. Se inalado pode causar em doenças pulmonares, como enfisema (KHAN, 2010).

O níquel se acumula rapidamente em solo, plantas e no meio aquático, e assim, como outros metais, possuem a inalação e ingestão como suas principais vias de acesso, bem como é o causador mutações genéticas além de efeitos carcinogênicos. Em determinada concentração, é essencial para o desenvolvimento de plantas (POONKOTHA, 2012). No entanto, segundo Poonkothai, o excesso de níquel pode causar atrofia nas plantas.

O chumbo, está associado a doenças são retardo mental leve e os danos cardiovasculares, aumento da pressão arterial, doenças cardiovasculares assim como a diminuição da estimativa de vida de crianças (FEWTRELL et al., 2004).

O molibdênio apresenta-se como um importante nutriente para o desenvolvimento da planta. Sua presença é necessária para a afiação do nitrogênio, segundo Epstein & Bloom (2006). A alta presença desse nutriente indica grande capacidade de absorção de cobre que, em excesso pode ser prejudicial à saúde.

Seu excesso causa pouca fixação do cobre que é outro nutriente essencial para o desenvolvimento na planta, podendo apresentar sintomas de necrose em casos mais severos (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Esse fator pode causar a ataxia enzoótica nos animais, caracterizada pela desmielinização do sistema nervoso central e pelos sintomas de cambaleio dos membros posteriores (TOMA et al., 2010). Já no ser humano, diversas doenças se beneficiam do seu excesso, como inflamatórias, artrite reumatoide, neuropatia diabética e doenças autoimunes (BREWER, 2001).

O Bário é conhecido por ser um elemento que em altas concentrações pode representar um risco de toxicidade aos organismos vivos (ESG, 2003) (MONTEIRO et al., 2011), principalmente quando encontrado na forma de seu sulfato, a barita (LAMB et al., 2013).

A Análise de Componentes Principais (PCA) nas interações entre elementos químicos da alface

A literatura sobre PCA é vasta e abrange muitas disciplinas como análise de água (DE SOUZA PEREIRA et al, 2019) (ATALLA et al., 2020), ciências biológicas (ROSATO et al., 2018), análise de alimentos (GRANATO et al., 2018) topologia (OFFROY & DUPONCHEL, 2015) entre outros.

Embora o PCA em sua forma padrão seja uma ferramenta de análise descritiva de dados amplamente utilizada e adaptativa, ele também possui muitas adaptações próprias que o tornam útil para uma ampla variedade de situações e tipos de dados em várias áreas da agronomia. O que mais caracteriza a utilidade do PCA é a compreensão de um conjunto de dados entre si (JOLLIFE & CADIMA, 2016), permitindo explicar agrupamentos, onde novas variáveis ortogonais são explicadas por um conjunto reduzido de dados não correlacionados, chamados de componentes principais (PCs) (SHRESTHA & KAZAMA, 2007) (OSEI et al., 2010).

Os estudos com análise multivariada de dados já foram utilizados para interpretar diversos dados na agricultura, como Sajur et al. (2006), que analisou desenvolvimento microbiano em alimentos com tomate, avaliação de melhorias de sistema de produção de soja (DONG et. al., 2015), classificação de forragens (GALLO et al., 2013) e para a caracterização em massa de resíduos da parede celular de frutas e legumes (SZYMANSKA-CHARGOT & ZDUNEK 2013).

A alface possui diversos elementos como fósforo e nitrogênio, que estão diretamente relacionados com o seu desenvolvimento. Essas relações são interdependentes, e suas interações direcionam o crescimento da alface (SINGH et al., 2011).

A exemplo disso, Pinto et al. (2014) concluíram que o valor nutricional da alface depende do estágio de crescimento e da composição do solo. Essa relação encontrada foi possível utilizando o PCA.

Usando do mesmo método, e desejando compreender as alterações da qualidade da alface por tempo de armazenamento, Garcia et al. (2016), relacionaram os resultados de análises de 5 famílias de metabólitos extraídos de alfaces e concluíram que existe um efeito claro e dependente do tempo de armazenamento em relação às concentrações de metabólitos.

Análise multivariada também serve como método de investigação para estabelecer modelos de calibração de conteúdo nutricional na identificação de contaminação por Cádmio na alface (SHEN et al., 2018).

METODOLOGIA

Classe e quantidade de lodo tratado na Unidade Geradora de Lodo (UGL)

A ETE *Los Angeles* trata efluente doméstico de aproximadamente de 500 mil pessoas no município de Campo Grande/MS. Cerca de 900 litros de efluente por segundo são tratados em suas instalações mensalmente, gerando cerca de 150 toneladas de lodo por dia. A Unidade realiza gradeamento, tratamento anaeróbico por reator UASB, desinfecção, e tratamento de lodo. No final da segunda etapa o tratamento é separado em fase sólida e líquida.

O lodo de descarte do reator UASB, classificado como classe B segundo as determinações da Resolução 375/2006, é periodicamente lançado para fins de reflorestamento no próprio parque da ETE. Desse material, 600 quilos foram coletados de um dos pontos de lançamento, para servirem de objeto do experimento em agosto de 2018. O lodo se encontrava em fase pastosa, já desaguado, quando foi recolhido, raspado diretamente do ponto onde foi lançado.

A Figura 5, apresenta o esquema do tratamento de efluente executado pela ETE em questão, onde depois de todo o processo da fase líquida eliminar e reduzir parâmetros de contaminação, o tratamento volta-se para o a fase sólida, que vai reduzir a carga orgânica do lodo e garantir sua destinação na agricultura.

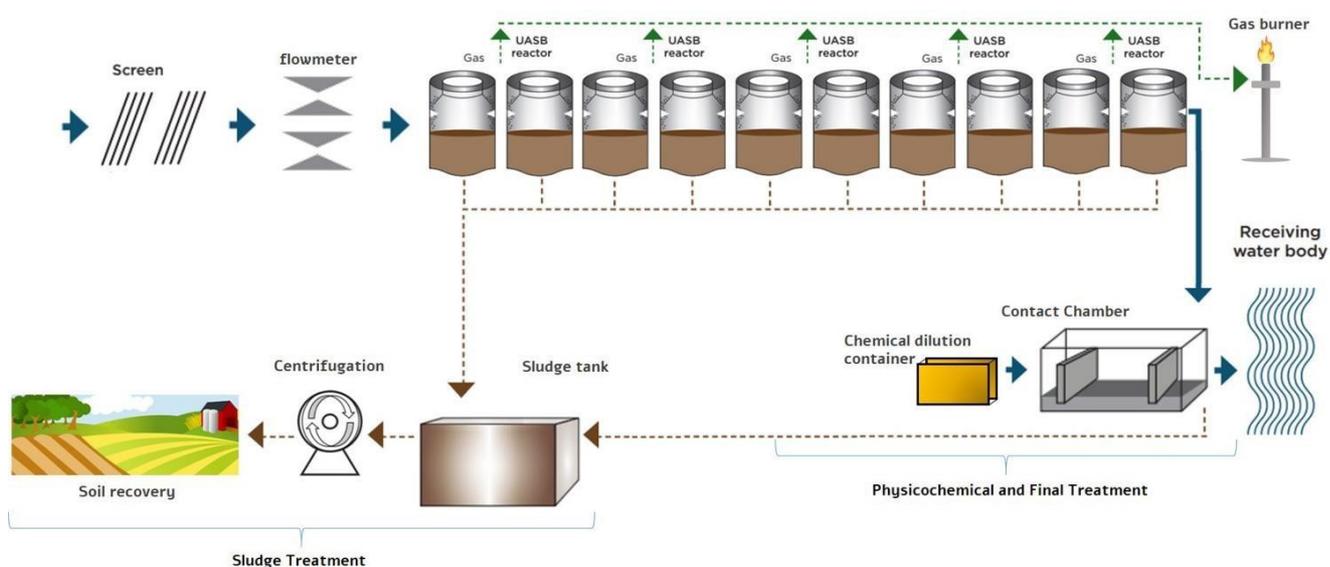


Figura 5 – Esquema do tratamento de Efluente com Fase Sólida da ETE Los Angeles.

Fonte: Baseado em VON SPERLING, 2016.

Preparo do experimento

O experimento foi realizado na Fazenda Escola da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), situada em Campo Grande/MS, com o intuito de avaliar o desenvolvimento agrícola da alface com a utilização de biofóssido em seu cultivo, analisando-se os parâmetros de crescimento e nutrição da planta.

Para tanto, foram utilizados vasos de 5,5 litros de polietileno preto, colocados em uma bancada com dimensões de 8 metros de comprimento, 1 metro de largura e 1,2 metros de altura, disposta sob uma cobertura plástica transparente, a 2 metros de altura, e manta de sombrite com 50% de bloqueio nas laterais.

Para garantir a sanidade da planta, e conhecendo o potencial patogênico do lodo, o método de higienização aplicado ao lodo foi a solarização do lodo, para que na desidratação natural por exposição ao sol, alcance ausência de patógenos. Nesse período, o lodo foi disposto sobre lona plástica no chão e distribuído em uma camada de aproximadamente 5 centímetros, sendo revolvido com enxada diariamente. Foram necessários cerca de 15 dias de solarização do material para atingir a condição ideal (seco e granuloso) para incorporação do biofóssido ao composto. A Temperatura média da região é de 21°C. Após o lodo se encontrar totalmente seco e em pequenos torrões, o mesmo foi passado em peneira para areia grossa e armazenado em reservatório plástico de PEAD (Polietileno de Alta Densidade).

A incorporação do biofóssido com o composto foi feita manualmente em cada vaso. O experimento foi realizado testando diferentes concentrações de biofóssido na cultura, para definir quais concentrações apresentam melhor condição sanitária para um alimento consumível.

O estudo foi realizado com delineamento casualizado em dois plantios, uma com doses crescente e outro com doses decrescente de biofóssidos, ambas partindo de uma aplicação de 300g do biofóssido por unidade de vaso. As culturas foram a *Lactuca sativa var crispata* L. do tipo Crespa Palma, no primeiro cultivo, e *Lactuca sativa var crispata* L. do tipo Americana Delícia, no segundo, onde as mudas foram adquiridas na CEASA (Central de Abastecimento) em Campo Grande-MS, tratadas em casa de vegetação por 25 dias e, após, foram transplantadas nos vasos de polietileno preto.

O composto escolhido foi o formado de resto de alimentos, esterco de equinos, bovinos e caprinos presente na Fazenda Escola da UCDB. Os vasos, primeiramente, receberam suas respectivas dosagens de biofóssido e depois foram completados com

o composto para serem misturados a mão. Foram preparados compostos diferentes para cada cultivo.

O primeiro cultivo foi em 5 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram de composto puro sem biossólido (testemunha), e doses de: 300g (48 t ha⁻¹), 600g (96 t ha⁻¹), 900g (144 t ha⁻¹), 1.200g (192 t ha⁻¹) de biossólido, totalizando 25 amostras plantadas em novembro de 2018.

O segundo cultivo ocorreu por meio de 7 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram de composto puro sem biossólido (testemunha), e aplicações doses de forma: 300g (48 t ha⁻¹), 250g (40 t ha⁻¹), 200g (32 t ha⁻¹), 150g (24 t ha⁻¹), 100g (16 t ha⁻¹) de biossólido, além do tratamento de composto com adubação química. Totalizando 35 amostras plantadas em abril de 2019.

As amostras consideradas testemunhas são as de composto puro, sem concentração de lodo tratado ou o complemento químico, para fins de comparação com os resultados obtidos em outros tipos de incorporação. Nas amostras com adubação química foram dosadas com 3 g de NPK (4 – 14 – 8), por unidade de planta (Mazzuchelli et al., 2014).

Para ambos os experimentos, o período de cultivo foi de 35 dias, contados da transposição das mudas em vasos até o dia da colheita, durante o qual foram irrigadas diariamente recebendo cerca de um 0,7 litros de água por dia.

Parâmetros analíticos do biossólido

Os parâmetros analisados no lodo escolhidos para serem monitorados no solo e na folha posteriormente, mesmo entendendo que não apresentam riscos pela sua baixa concentração.

Os parâmetros de interesse para o lodo são: Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercúrio (Hg), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Selênio (Se), Zinco (Zn), Fósforo (P), Nitrogênio *kjeldahl* (N), Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e Sódio (Na) empregando o método analítico 3050 e 3051, estabelecidos no *U.S.EPA SW-846* e metodologias dispostas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW)* (APHA, 2017), assim como digestão Nitro-Perclórica, ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) - Embrapa, 2009 realizado no laboratório de empresa

terceirizada. Além de pH, Coliformes Termotolerantes usando o método *SMEWW 9221B, C e F* e Ovos Viáveis de Helminthos usando o *SMEWW 10750 B*.

Análise de desenvolvimento da planta

Para os aspectos agronômicos, os parâmetros analisados foram: volume da raiz, comprimento e peso da raiz, peso total, número e peso de folhas e peso seco, atendendo aos critérios do Métodos de Análise de Tecidos Vegetais utilizados na EMBRAPA Solos (EMBRAPA, 2000).

No ponto de colheita das plantas, as mesmas foram coletadas e foram realizadas análises laboratoriais para obtenção dos resultados de desenvolvimento da planta e nutricionais. Cada planta foi retirada do vaso puxando-a pela base e as raízes lavadas com fluxo de água moderado e dispostas em bancada para escorrer o excesso de água. Após, a planta era pesada por completo, as raízes eram cortadas com alicate de corte na base e medido o seu comprimento. Com o auxílio de uma proveta graduada o volume da raiz era medido com a diferença entre volume com a raiz totalmente submersa e o volume sem a raiz.

A massa das raízes era medida com balança de precisão. A diferença entre a massa total e a massa da raiz resultava na massa da parte aérea. O solo que restava nos vasos dos tratamentos era homogeneizado, e um quilo do material de cada tratamento era colocado em sacola plástica transparente com vedação e posteriormente encaminhado para laboratório. Após isso, cada maço de alface era desfolhado para a contagem do número de folhas de cada amostra. Colocadas em sacos de papel (folhas e raízes), o peso seco foi determinado após hibernação em estufa à 60°C por 5 dias (EMBRAPA, 2000). Após esse período as amostras foram trituradas no moinho, homogeneizadas por tratamento e encontrado dessa forma o peso seco.

Análises de nutrientes

Os parâmetros nutricionais da folha foram: Fósforo, Potássio, Bário, Cálcio, Magnésio, Manganês, Enxofre, Boro, Ferro e Zinco usando de base os métodos descritos por EMBRAPA (2009) em Digestão Nitro-Perclórica, ICP-OES, e Nitrogênio Total, segundo Malavolta et al. (1997).

No solo, os parâmetros analisados foram Fósforo, Potássio, Manganês, Ferro e Zinco segundo EMBRAPA (2009) em digestão Nitro-Perclórica, ICP-OES - Embrapa 2009. Os parâmetros de Cálcio, Magnésio, Alumínio, Enxofre e Boro segundo Raij et al. (2001). Além dos parâmetros de saturação de bases como Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e relações como Ca/CTC, Mg/CTC, K/CTC, Al/CTC+Hidrogênio (H) e pH CaCl, observando o método de Camargo et al. (2009) e Raij et al. (2001).

O biossólido foi analisado como fertilizante usando os métodos do manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos (MAPA, 2014).

Análise de metais pesados

Os metais pesados que se apresentaram em contaminação significativa no lodo bruto, foram alvos do monitoramento, sendo Chumbo, Cromo, Molibdênio, Níquel e Cádmiu. Para as folhas seguiu-se o método de EMBRAPA (2009) em digestão Nitro-Perclórica, ICP-OES. Já para o solo SMEWW, 22^a Ed, 2012 (ALPHA, 2012) - Extração Método 3050-b - Leitura EPA SW-846 - Método 6010c, e o Cobre, segundo EMBRAPA (2009) em Digestão Nitro-Perclórica, ICP-OES.

Análise dos dados

Todos os resultados das análises de desempenho agrônomo, nutrientes e metais pesados presentes nas amostras, foram compilados e processados no sistema estatístico da Análise de Variância (ANOVA), aplicado no *software* Sisvar, compatível com Windows XP.

Os parâmetros escolhidos para as análises de desenvolvimento da planta foram os de Comprimento da Raiz, Volume da Raiz, Massa da Raiz, Massa Total, Massa Seca, Massa das Folhas e Número de Folhas. Análise de Metais Pesados como o Cromo, Molibdênio, Níquel, Chumbo, e Cádmiu foram comparados com limites máximos permitidos pela ANVISA e indicadores europeus, já que se tratam de metais. A análise de nutrientes de teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Boro, Ferro, Manganês, Zinco, e Cobre apresentam as relações de ganho nutricional.

Para entendimento da relação dos diversos elementos presentes nas folhas, foi usado a análise multivariada de dados no método PCA (Principal Components Analysis). Além de auxiliar nas discussões dos resultados, o método contribui para avaliar o comportamento do bário nas folhas, uma vez que o bário não é usualmente tratado como nutriente e saber quais as suas possíveis interferências no desenvolvimento da planta (LIMA et al., 2012).

Avaliação da capacidade de absorção de nutrientes e acúmulo de metais

Para determinar a capacidade de absorção de nutrientes e acúmulo de metais pesados na alface, foram somados, em todos os tratamentos, os resultados das análises de cada nutriente e metal pesado encontrado na planta e no solo. Após, foi identificado o quanto cada resultado na folha representa do total das duas análises, em porcentagem. Com os valores obtidos, foi calculada uma média para cada cultivo, sendo esta utilizada para a representação da capacidade proposta.

Vale destacar que os resultados encontrados no solo, tratam-se de análises pós colheita, ou seja, não representam o total do que foi disponibilizado, já que existe uma perda de nutrientes e metais nos processos de lixiviação e volatilização.

Contudo, esse tipo de correlação dos resultados revela uma tendência de absorção de nutrientes e acúmulo de metais pesados em ambos os cultivos, mesmo se tratando de concentrações distintas de biofóssido e cultivares de alfaces diferentes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise do biossólido

Os resultados da amostra de lodo coletados na ETE *Los Angeles* (antes da solarização) e amostra de biossólido (depois da solarização) estão descritos na Tabela 7 comparando com os limites máximos dos parâmetros inorgânicos do CONAMA 375/06, USEPA 40 Part. 503 e Diretiva de 1986/278/CEE.

Tabela 7 - Resultado das análises de lodo da ETE *Los Angeles* e Biossólido em comparação com os limites estabelecidos pelo CONAMA, USEPA e Comissão Europeia.

Parâmetro	Unidade	Lodo ETE	Biossólido	CONAMA 375/06	USEPA 40	Diretiva 86/278/CEE
Arsênio	mg kg ⁻¹	<L.Q.	<L.Q.	41,0	75,0	-
Bário	mg kg ⁻¹	282,8	161,0	1.300,0	-	-
Cádmio	mg kg ⁻¹	<L.Q.	1,0	39,0	85,0	20,0 - 40,0
Cromo	mg kg ⁻¹	135,3	88,0	1.000,0	3.000,0	-
Cobre	mg kg ⁻¹	431,2	305,2	1.500,0	4.300,0	1.000,0 - 1.750,0
Chumbo	mg kg ⁻¹	48,5	37,0	300,0	840,0	750,0 - 1.200,0
Mercúrio	mg kg ⁻¹	<L.Q.	-	17,0	57,0	16,0 - 25,0
Molibdênio	mg kg ⁻¹	<L.Q.	<L.Q.	50,0	75,0	-
Níquel	mg kg ⁻¹	33,1	38,0	420,0	420,0	300,0 - 400,0
Selênio	mg kg ⁻¹	<L.Q.	-	100,0	100,0	-
Zinco	mg kg ⁻¹	1.131,8	1.252,0	2.800,0	7.500,0	2.500,0 - 4.000,0
Cobalto	mg kg ⁻¹	-	13,0	-	-	-
Ferro	mg kg ⁻¹	-	35.420,0	-	-	-
pH	-	7,13	6,0	-	-	-
Fósforo	mg kg ⁻¹	15.275,0	17.940,0	-	-	-
Nitrogênio <i>kjeldahl</i>	mg kg ⁻¹	29.693,0	32.660,0	-	-	-
Potássio	mg kg ⁻¹	1.129,6	8.500,0	-	-	-
Cálcio	mg kg ⁻¹	18.750,0	14.170,0	-	-	-
Magnésio	mg kg ⁻¹	3.803,9	3.180,0	-	-	-
Manganês	mg kg ⁻¹	-	307,0	-	-	-
Sódio	mg kg ⁻¹	1.755,6	966,0	-	-	-
Boro	mg kg ⁻¹	-	<L.Q.	-	-	-
Col. Term.	NMP g ⁻¹ ST	2,3x10⁴	-	< 1.000,0	< 1.000,0	-
Helmintos	Ovos g ⁻¹ ST	0,024	-	< 0,25	-	-
Vírus Entéricos	UFP 4g ⁻¹ ST	Ausência	-	< 0,25	< 1,0	-

Legenda: NMP g⁻¹ MS: número mais provável por miligrama de matéria seca; Ovos g⁻¹ MS: número de ovos por grama de sólidos totais; UFP 4g⁻¹ ST: unidade formadora de placa por grama de sólidos totais; Col. Term.: coliformes termotolerantes; <L.Q.: abaixo do limite químico.

Com exceção dos Coliformes Termotolerantes, nenhum outro parâmetro está fora do limite máximo permitido em qualquer uma das legislações comparadas. O fato do pH do lodo estar na faixa de 7,6 auxilia na correção da acidez que o solo possa ter.

Parâmetros como Arsênio, Mercúrio, Cádmio e Selênio tiveram resultados abaixo dos valores mínimos de detecção do método. Contudo, os parâmetros de Chumbo e Cromo, mesmo que abaixo das especificações impostas pelas legislações, possuem destaque nos seus resultados. Dos 22 parâmetros analisados, 5 estão abaixo do limite químico de detecção no lodo bruto. No biossólido, apenas o Arsênio e o Boro se encontram em baixa concentração química de detecção. Resultados semelhantes ao estudo de Braga et al. (2017), que analisou o lodo de 6 cidades e constatou que a concentração de Cromo e Chumbo foram abaixo os limites máximos permitidos, em contrapartida, níquel, ferro e zinco também se apresentaram em quantidades significativas.

Um destaque importante a ser feito é para o Bário que possui uma concentração de $282,8 \text{ mg kg}^{-1}$ em relação a outros metais, e por essa razão, sua relação com os outros nutrientes na planta foi avaliada, já que sua influência para hortaliças é pouco revisada. Segundo Pais e Jones Jr. (1998), a concentração de 500 mg kg^{-1} de bário é tóxico para as plantas, dessa forma a concentração total do elemento em questão não apresenta risco para o experimento. O experimento de Lima et al. (2012) mostra que solos com altas concentrações de baritina podem promover a contaminação de lençóis por meio da lixiviação e maior absorção de bário na parte aérea de plantas.

Após a solarização, o biossólido foi analisado como fertilizante, como mostra a Tabela 07. Houve uma alteração do pH lodo que foi analisado pela ETE e biossólido após o processo de solarização, alterando de 7,13 para 6,0. Outro parâmetro analisado pela sua importância agrônômica foi o Boro e Molibdênio que se apresentaram abaixo do Limite de Detecção Química.

Os valores de nutrientes como Nitrogênio, Fósforo e Potássio foram analisados como sendo as concentrações passivas de absorção para tecidos vegetais, segundo a metodologia proposta em laboratório, pelo estado sólido do biossólido, por essa razão a concentração desses nutrientes aumentou em relação à concentração analisada para lodo líquido (análise que a ETE realizou na saída do reator), como mostra o experimento de valoração de Corrêa e Corrêa (2009), que mediram o valor agregado ao lodo estabilizado de diferentes formas e concluíram que a valoração do biossólido como sendo um insumo agrícola aumenta conforme o mesmo fica mais seco, uma vez que os nutrientes de concentraram.

Análise de Desenvolvimento da planta

O tratamento em que foi aplicado 300g (48 t ha⁻¹) de biossólido teve 50% a mais de massa nas folhas e 35% a mais de massa total em relação à Testemunha (Tabela 8) no primeiro cultivo. Já no segundo cultivo, o mesmo tratamento obteve 146% a mais de massa total e 151% a mais de massa nas folhas em relação ao tratamento sem biossólido. Em ambos os cultivos, os melhores resultados agrônômicos foram os que receberam 48 t ha⁻¹, e sempre que a concentração se afasta dessa dosagem, o desenvolvimento da planta foi comprometido, um menor desenvolvimento.

Tabela 8 - Comprimento da Raiz, Volume da Raiz, Massa da Raiz, Massa Total, Massa Seca, Massa das Folhas e Número de Folhas de alfaces cultivadas sob doses de biossólido de ETE.

Cultivo	Tratamentos	Comprimento raiz (cm)	Volume raiz (ml)	Massa raiz (g)	Massa total (g)	Massa seca (g)	Massa folhas (g)	Nº de folhas
Primeiro	Testemunha	16,36ab	6,0a	6,4b	149,8b	10,66a	129,4b	22,0a
	48 t ha ⁻¹	19,20a	3,2b	10,00a	202,72a	11,70a	192,72a	23,20a
	96 t ha ⁻¹	17,24ab	3,4b	3,3c	116,4b	7,08b	113,1b	19,20b
	144 t ha ⁻¹	14,325cd	1,25c	1,725c	63,5c	3,925c	61,775c	13,25c
	192 t ha ⁻¹	11,67c	2,0bc	1,074c	35,0c	2,37c	33,93c	12,67c
	CV %	12,48	26,39	26,76	19,87	14,85	19,79	5,75
Segundo	Testemunha	10,56b	4,8b	4,6b	71,63b	3,73b	67,03b	11,0b
	16 t ha ⁻¹	13,14ab	5,6ab	5,64ab	76,72b	3,97b	71,08b	11,2b
	24 t ha ⁻¹	12,18ab	4,8b	4,94b	89,46b	4,36b	84,52b	11,6b
	32 t ha ⁻¹	12,76ab	6,0ab	6,52ab	111,08b	4,65b	104,56b	13,0ab
	40 t ha ⁻¹	13,34ab	6,0ab	6,72ab	103,96b	4,79b	97,24b	13,0ab
	48 t ha ⁻¹	15,74a	8,2a	8,10a	176,08a	7,88a	167,98a	16,0a
	Químico	12,72ab	5,2b	5,62ab	96,42b	4,73b	90,80b	12,6ab
	CV %	15,83	28,10	24,37	29,38	28,92	30,12	13,81

Em cada coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de precisão. Nota: CV%: Coeficiente de variação em porcentagem.

Esse resultado corrobora com os descritos na aplicação de biossólido em duas colheitas de alfaces de Hirpassa & Codling (2019), em que ambas as colheitas, o rendimento de alface superior, em comparação com o controle não alterado, em todos os tratamentos com biossólidos de 40 a 80 t ha⁻¹.

A Tabela 8 mostra os resultados dos tratamentos em ambos os cultivos. É possível observar que quanto maior a dosagem de biossólido na planta, mais comprometido fica o seu desenvolvimento, para o primeiro cultivo, mesmo sem mostrar sinais de contaminação ou anormalidade na coloração das folhas (Figura 6). Já no segundo cultivo do experimento, conforme a dosagem foi diminuída, partindo do tratamento de 48 t ha^{-1} , há uma redução no desenvolvimento da planta, contudo, em qualquer concentração de biossólido, os resultados foram melhores em massa e número de folhas que os da Testemunha e também não apresentaram anormalidades na colocação das folhas (Figura 7).



Figura 6 - Amostragem de alfaces doses crescentes de biossólido. 192 t ha^{-1} , 144 t ha^{-1} , 96 t ha^{-1} , 48 t ha^{-1} e Testemunha.

Fonte: Autor.

Por se tratar de alfaces diferentes entre si, e terem sido cultivadas em períodos climáticos diferentes (primavera de 2018 e outono de 2019), a diferença entre os resultados de desenvolvimento das plantas de testemunhas foram significativos entre o primeiro e segundo cultivar, o que mostra que seu desenvolvimento não é resultado

apenas da qualidade do composto usado, mas também da época do ano e da variedade (Figura 7).



Figura 7 - Amostragem de alfaces com doses de biofósforo. 16 t ha⁻¹, 24 t ha⁻¹, 32 t ha⁻¹, 40 t ha⁻¹, 48 t ha⁻¹, Químico e Testemunha.
Fonte: Autor.

A redução no crescimento das alfaces, conforme se aumenta a concentração de biofósforo, é confirmada nos experimentos de Santos et al. (2001) e Lopes et al. (2005), que testaram alfaces com diferentes concentrações orgânicas e obtiveram peso da matéria seca menor de acordo com o acréscimo dos valores aplicados.

Em relação ao comprimento da raiz, os melhores resultados estão na dosagem de 48 t ha⁻¹ em ambos os cultivos. Esses padrões de resultados se replicam na massa da raiz.

Massa total e seca possuem as mesmas proporções de quantidades conforme existe o aumento da aplicação. Porém, a diferença entre a testemunha e a dosagem de 48 t ha⁻¹ fica menor em massa seca no primeiro cultivo.

Todos os resultados descritos na tabela 8 são representados em gráficos no Anexo I, onde as figuras de 13 a 20 representam, para ambos os cultivos, o desenvolvimento dos tratamentos.

Mesmo tendo os melhores resultados agrônômicos, o número de folhas não possui diferença estatística tendo 22 na testemunha 23,3 no 48 t ha⁻¹, ainda este

último, apresente melhores resultados em outros parâmetros no primeiro cultivo (Tabela 8).

Dos resultados agronômicos apresentados, o tratamento de 48 t ha⁻¹ só não se apresentou superior em relação aos outros no parâmetro de volume da raiz no primeiro experimento. Contudo, esse resultado não possui significância no comércio, uma vez que a observação do consumidor não é condicionada pelo tamanho da raiz e sim pelo aspecto das folhas.

A presença de Potássio em abundância no biossólido não influenciou no crescimento das raízes, assim como afirma Cancellier et. al. (2010) que testaram doses de Potássio na alface sem terem resultados significativos de crescimento radicular.

O tratamento de 48 t ha⁻¹ resultou em 83% mais massa total que as amostras com adubação química. O número médio de folhas produzidos chegou a uma variação de 5 e 5 folhas a mais na dosagem de 48 t ha⁻¹ em relação à Testemunha e o tratamento Químico, respectivamente. Os resultados de desenvolvimento da planta, nos tratamentos de 16 a 40 t ha⁻¹, não apresentam diferença estatística significativa, como apresenta a Tabela 8 e Figura 7.

As plantas se desenvolvem diretamente quanto maior foi a dosagem no segundo cultivo, mostrando que o experimento não sofreu com stress nutricional, assim como Mendéz et al. (2016) que observaram diferença significativa da biomassa.

Dos 12 parâmetros de nutrientes analisados na Tabela 9, a testemunha não atingiu o mínimo recomendado pela literatura (EPSTEIN & BLOOM, 2006) em Cálcio, Manganês e Cobre, ou seja, o tratamento em questão não conseguiu absorver o mínimo necessário nesse teste no primeiro cultivo. Estudos usando adubo orgânico de Manojlovic et al. (2010) observam que a adubação orgânica auxilia no enriquecimento de produtos vegetais, sendo superiores aos resultados da testemunha.

Tabela 9 - Teores de N, P, K, Ca, Mg, Ba, S, B, Fe, Mn, Zn, e Cu em folhas de alface cultivadas com doses de biossólido.

Cultivo	Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Ba	S	B	Fe	Mn	Zn	Cu
mg kg ⁻¹													
Primeiro	Testemunha	21.070	7.460	52.310	4.770	2.580	9,2	2.120	35,34	670,76	23,47	39,84	3,38
	48 t ha⁻¹	24.360	8.870	59.000	9.310	3.770	9,7	3.910	37,08	1249,3	107,29	124,56	3,92
	96 t ha⁻¹	33.670	8.180	71.420	13.060	5.100	7,2	6.360	35,74	1516,23	201,26	222,55	9,08
	144 t ha⁻¹	34.720	7.010	43.750	11.110	4.400	8,8	5.250	37,34	1878,14	178,52	217,17	11,04
	192 t ha⁻¹	32.690	5.820	43.750	11.750	5.100	7,2	6.460	34,01	1171,47	223,12	267,89	8,87
Segundo	Testemunha	23.730	5.350	66.730	4.740	3.030	3,2	2.410	55,47	614,32	99,21	63,87	11,04
	16 t ha⁻¹	20.720	6.350	64.890	5.330	3.550	2,9	2.190	47,11	275,24	79,37	45,97	8,47
	24 t ha⁻¹	21.630	6.090	52.060	6.630	3.470	2,0	2.550	50,40	371,51	92,19	55,77	7,53
	32 t ha⁻¹	24.430	7.100	70.720	8.620	3.950	4,0	3.160	59,34	756,56	79,93	63,04	9,79
	40 t ha⁻¹	20.300	6.600	74.460	8.460	3.750	4,2	2.800	56,31	396,77	64,28	58,54	8,04
	48 t ha⁻¹	30.590	6.400	57.090	9.310	4.750	3,3	3.480	59,71	655,16	70,89	92,70	13,03
	Químico	24.150	5.070	54.780	4.140	3.470	1,7	2.020	49,94	292,30	57,05	40,01	8,32
	Concentração mínima Epstein & Bloom	15.000	2.000	10.000	5.000	2.000	-	1.000	20	100	50	20	6

O Bário não possui literatura estipulando o mínimo necessário para sua concentração. Porém, o desenvolvimento da planta está relacionada com o aumento da concentração de Bário. Na Figura 8, pode-se observar que em Análise de Componentes Principais, o fato do Bário estar no mesmo quadrante do Fósforo, indica que possui a mesma significância como nutriente essencial. Os componentes 1 e 2, apresentados correlacionados na Figura 6, representam 85% da variância dos dados, o que garante uma segurança entre os componentes.

Nos parâmetros nutricionais de Potássio e Cálcio, as folhas, para o tratamento de 96 t ha⁻¹ apresentaram os menores resultados de concentração (Tabela 9). As amostras com 48 t ha⁻¹, que tiveram os melhores resultados de desenvolvimento, absorveram melhor o Fósforo e Bário no primeiro cultivo, sendo esses elementos os que exercem maior influência no tratamento com melhor desenvolvimento (Figura 8).

Dos 12 nutrientes presentes nas folhas (Tabela 9) para o segundo cultivo, o tratamento de 48 t ha⁻¹ tem maiores concentrações apenas em Nitrogênio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Boro, Zinco e Cobre. Dos parâmetros analisados, todos as amostras apresentam mais nutrientes que o mínimo necessário para o tecido vegetal segundo Epstein & Bloom (2006).

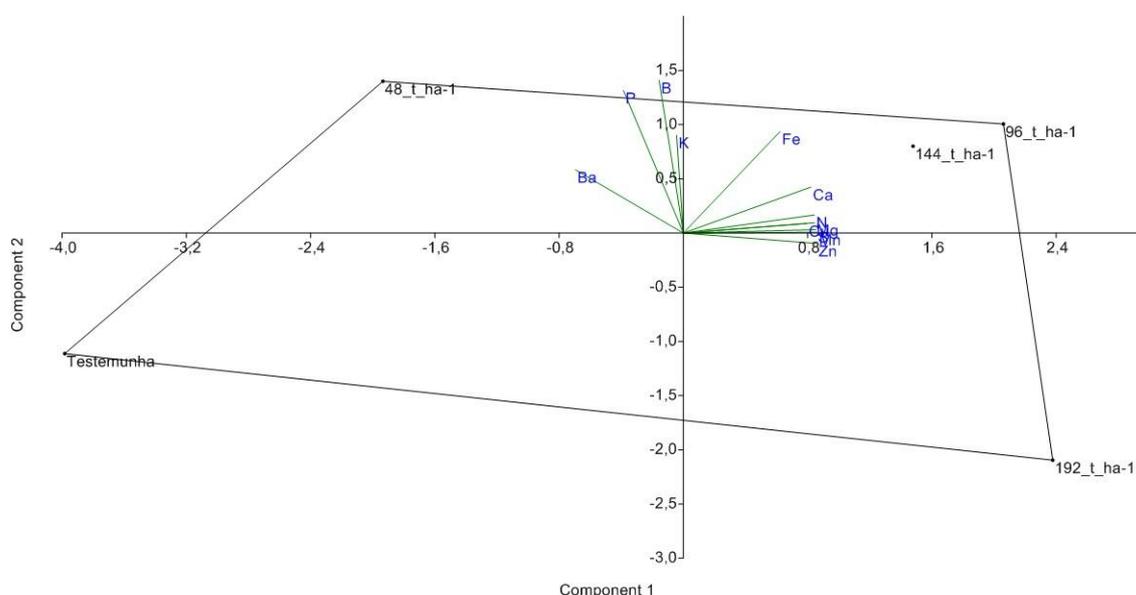


Figura 8 – Gráfico de Componentes Principais dos nutrientes do 1º cultivo

O tratamento com adubo químico obteve menores concentrações em 6 dos 12 parâmetros analisados, e mesmo assim foi o tratamento que mais desenvolveu a planta depois do 48 t ha⁻¹, no segundo cultivo.

Quanto maior a disponibilidade de bio-sólido, maior é a absorção de nutrientes como S, B, Fe, Mn, Zn e Cu, confirmando os resultados de Hirpassa & Codling (2019) que tiveram crescimento das alfaves com a aplicação de bio-sólido. O tratamento de 144 t ha⁻¹ se mostra superior em relação aos outros nos parâmetros de B, Fe e Cu. O tratamento de 192 t ha⁻¹ supera todas as amostras nos parâmetros de S, Mn e Zn. Esse resultado mostra uma relação adversa entre crescimento e absorção de nutrientes.

As folhas do tratamento testemunha, primeira fase, apresentam os menores resultados nos parâmetros de S, Fe, Mn, Zn e Cu, sendo que a diferença mais significativa está no Manganês e Zinco que possui cerca de 90% e 85% menos concentração dos respectivos nutrientes em comparação ao tratamento de 192 t ha⁻¹. Sendo assim, o desenvolvimento da planta está relacionado com uma faixa ideal de nutrientes, e mesmo que ela absorva uma quantidade maior que a recomendada, significa que ela pode sofrer com o stress nutricional e não desenvolver por essa razão (MENDÉZ et al., 2016).

No primeiro cultivo, dos 12 nutrientes apresentados na Tabela 9, a testemunha apresenta menores de concentrações em N, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu, já o tratamento de 192 t ha⁻¹ possui as maiores concentrações em 5 parâmetros (Mg, Ba, S, Mn e Zn), e o tratamento de 144 t ha⁻¹ teve 4 das maiores concentrações dos nutrientes analisados (N, B, Fe e Cu), corroborando com os descritos por Gu et al. (2013), onde solos com lodo pode ser uma maneira potencial de melhorar a fertilidade do solo e eliminar o lodo de esgoto.

A presença do Bário no segundo cultivo, a exemplo do primeiro, comporta-se como nutriente essencial assim como o Fósforo, como mostra a Figura 9, que possui correlação entre os componentes 1 e 2 com 76% da variância dos dados, também garantindo uma segurança entre os componentes.

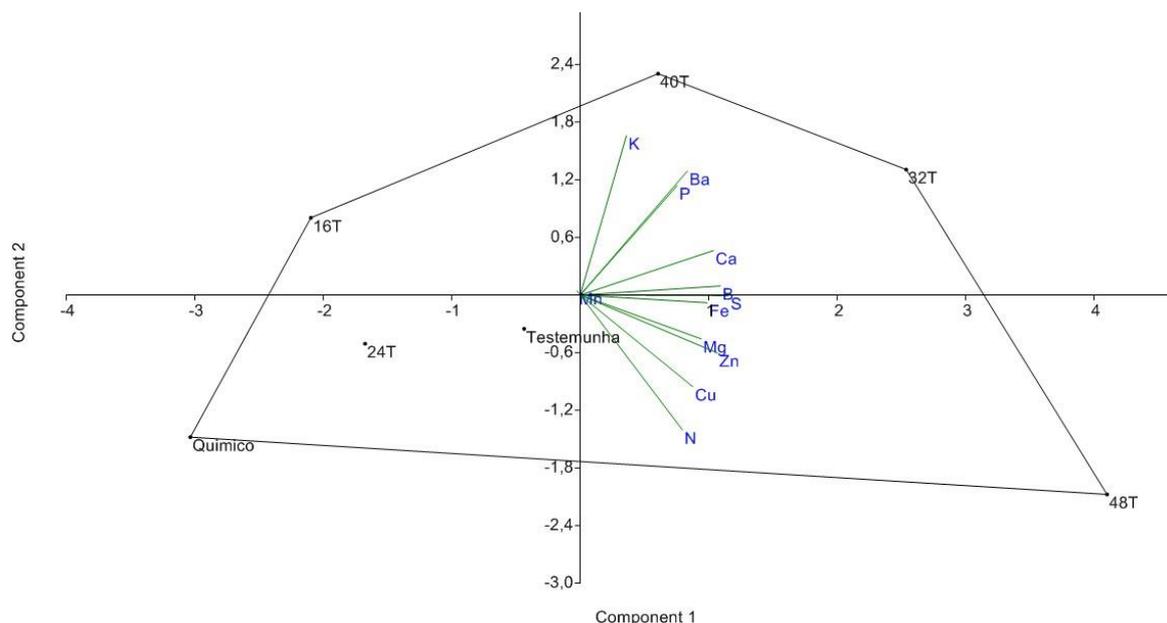


Figura 9 - Gráfico de Componentes Principais dos nutrientes do 2º cultivo

Observa-se (Figura 9) que a concentração de Potássio, Fósforo e Bário estão diretamente relacionados com o desenvolvimento da planta. Molibdênio e Níquel, tanto para os tratamentos com ou sem biossólido não apresentam concentrações nas amostras. Nitrogênio e o Cobre tiveram maior influência nos resultados obtidos no tratamento de 48 t ha⁻¹.

A presença significativa de Nitrogênio auxilia diretamente no desenvolvimento da planta como mostra o PCA do primeiro cultivo, confirmando os resultados de fertilização com nitrogênio de Galiene et al. (2015).

Em ambos os cultivos, Nitrogênio e Fósforo não se comportaram, no PCA (Figuras 8 e 9), da mesma forma, pois a significância é mostrada na análise de componentes ao tratamento que possui maior concentração. No caso, no primeiro cultivo o Nitrogênio possui maior significância no tratamento de 144 t ha⁻¹, e no segundo cultivo é o de 48 t ha⁻¹.

Na Tabela 10 foram analisados 5 metais que em grandes concentrações podem invalidar a cultura para fins de consumo, e por essa razão foram comparados com duas legislações importantes para o estudo, a Brasileira (ANVISA RDC 42, 2013) e Europeia (EC 1881/2006).

Tabela 10 - Teores de Cr, Mo, Ni, Pb, e Cd em alfaces cultivadas com doses de biofóssido.

Cultivo	Tratamentos	Cr	Mo	Ni	Pb	Cd
Primeiro	Testemunha	1,6	<L.Q.	<L.Q.	0,2	<L.Q.
	48 t ha ⁻¹	4,3	<L.Q.	<L.Q.	0,3	<L.Q.
	96 t ha ⁻¹	6,4	<L.Q.	0,71	0,8	<L.Q.
	144 t ha ⁻¹	6,2	0,08	0,51	1,6	<L.Q.
	192 t ha ⁻¹	5,3	<L.Q.	0,31	1,1	<L.Q.
Segundo	Testemunha	2,2	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
	16 t ha ⁻¹	2,3	<L.Q.	<L.Q.	0,1	<L.Q.
	24 t ha ⁻¹	1,3	<L.Q.	<L.Q.	0,1	0,1
	32 t ha ⁻¹	2,5	<L.Q.	<L.Q.	0,2	0,1
	40 t ha ⁻¹	2,3	<L.Q.	<L.Q.	0,22	0,1
	48 t ha ⁻¹	2,8	<L.Q.	<L.Q.	0,48	0,2
	Químico	0,9	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.	<L.Q.
ANVISA RDC 42		-	-	-	0,3	0,2
EC 1881/2006		-	-	-	0,1	0,05

Os tratamentos que apresentaram maior concentração de Bário podem contaminar um ser humano, e mesmo sem critério de concentração máxima, a dose de 48 t ha⁻¹ teve a menor absorção.

Os contaminantes como Cromo, Molibdênio e Níquel não possuem limites de concentração nas legislações Brasileira (ANVISA RDC 42, 2013) e Europeia (EC 1881/2006).

Seguindo a observação do tratamento que menos absorve micronutrientes, a testemunha foi o que apresentou menor concentração dos 5 metais analisados na Tabela 10, ao passo que o tratamento de 144 t ha⁻¹ apresentou as maiores concentrações de contaminantes dos tratamentos nos parâmetros de Mo e Pb, e o tratamento de 96 t ha⁻¹ possui maior concentração em Cr e Ni, o que justifica o pouco desenvolvimento das plantas nesses tratamentos, resultado semelhante, teve os tratamentos do experimento de Papaioannou et al. (2019) que aplicou águas residuais em beterrabas e o aumento da concentração de metais pesados, houve um decréscimo na massa seca.

Os principais contaminantes analisados na EC 1881/2006 para produtos alimentícios são Arsênio, Cádmio, Chumbo e Mercúrio da população dos Estados-Membros da EU (União Europeia). Contudo, o arsênio e o mercúrio estavam abaixo do limite de detecção no lodo, fazendo a necessidade de monitoramento nas plantas irrelevante.

O tratamento de 48 t ha⁻¹ não ultrapassa os limites estabelecidos pela ANVISA (0,3 mg kg⁻¹) na primeira fase, porém o chumbo atingiu o máximo tolerável na normativa europeia (0,1 mg kg⁻¹), assim como a testemunha que possui 0,2 mg kg⁻¹, o que indica que existe uma possível contaminação no composto usado para o experimento. Na segunda fase o mesmo tratamento ultrapassa o Limite de Chumbo para a ANVISA (0,48 mg kg⁻¹) e chega no limite para o Cádmiio (0,2 mg kg⁻¹). Resultado condizente com de Gu et al. (2013), cuja a cultura de Azevém, ultrapassa os limites de chumbo estabelecidos na China, além de ter auxiliado no crescimento de até 555% em da planta, o que assimila nos resultados do presentes estudo.

Com essas condições e características do substrato, os tratamentos atendem os limites máximos permitidos de Chumbo e Cádmiio para a legislação Brasileira (ANVISA RDC 42, 2013) e Europeia (EC 1881/2006) foi o tratamento de 16 t ha⁻¹ juntamente com o tratamento Químico. O Tratamento de 40 t ha⁻¹ que teve resultados de desenvolvimento melhores que o de 16 t ha⁻¹ atende todos os limites estabelecidos pela ANVISA.

Análise de solo

Observa-se na Tabela 11 que o solo do tratamento da testemunha possui ainda, após o cultivo das alfaces, maior disponibilidade de nutrientes que os demais num total de 4 parâmetros dos 10 de nutrientes. O tratamento de 48 t ha⁻¹ não possui, em relação aos outros, nenhuma alta concentração de nutrientes.

Tabela 11 - Teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn e Mn em solo com doses de biossólido

Cultivo	Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Zn	Mn
mg kg⁻¹											
Primeiro	Testemunha	7.572,6	720,7	1.872	4.020	2.000	84,7	0,95	95	39,5	166,8
	48 t ha⁻¹	9.968,0	565,4	833	5.314	1.908	274,9	1,38	96	66,8	87,9
	96 t ha⁻¹	12.908,0	473,6	524	7.198	1.752	37,7	1,31	151	115,3	100,4
	144 t ha⁻¹	19.590,2	385,5	431	7.779	1.999	0,4	1,23	191	230,9	75,1
	192 t ha⁻¹	14.681,8	325,5	252	6.689	1.424	591,3	1,05	258	183,8	92,8
Segundo	Testemunha	6.840	1.384,2	>L.Q.	3.534,88	2.238,49	95,1	1,24	24	36,7	66,4
	16 t ha⁻¹	7.840	1.134,5	>L.Q.	3.462,74	1.951,69	133,3	1,17	41	58,5	56,6
	24 t ha⁻¹	5.990	1.217,4	>L.Q.	4.308,38	2.126,69	328,1	1,22	25	62,0	59,1
	32 t ha⁻¹	8.380	933,9	>L.Q.	5.542,79	2.005,16	432,1	1,18	49	90,2	58,1
	40 t ha⁻¹	8.990	821,4	1.301	5.370,45	1.725,65	469,1	1,14	52	102,2	57,4
	48 t ha⁻¹	13.870	1.004,1	1.143	6.989,60	2.041,62	582,6	1,27	58	122,5	53,7
	Químico	8.890	1.577,8	>L.Q.	3.811,42	2.250,64	245,6	1,04	32	36,8	43,2

Os tratamentos de 192 t ha⁻¹ e 144 t ha⁻¹ tiveram as maiores concentrações de N, resultado esse que corrobora com o estudo descrito por Florentino et al. (2019), que monitoraram solo sob plantações de eucalipto após aplicação de lodo de esgoto, mostrando que o mesmo resultado pode ser alcançado com o biossólido. No segundo cultivo o tratamento de 48 t ha⁻¹ (tratamento com maior concentração do cultivo) também mostrou maior concentração do N no solo.

Mesmo o solo da testemunha possuindo altas concentrações de nutrientes, o tratamento de 48 t ha⁻¹ ainda obteve os melhores resultados de desenvolvimento. A relação benéfica entre a saturação das bases se mostra na Tabela 12, que indica que o tratamento que possui maior concentração dos cátions também reflete altos teores em porcentagem dos cátions de Alumínio e outros contaminantes. O que comprometeu no crescimento da planta, como nos tratamentos de 144 t ha⁻¹ e 196 t ha⁻¹. Esse fato acompanha o reduzido crescimento das plantas assim como a absorção de uma quantidade maior de metais (Tabela 11).

O Potássio, seguindo a metodologia descrita, não foi possível detectar. Dos 12 parâmetros analisados no segundo experimento, o tratamento de 48 t ha⁻¹ possui 6 das maiores disponibilidades de nutrientes (N, Ca, S, B, Fe e Zn) no solo.

O Chumbo mostra-se presente no solo nos tratamentos testemunhas, comprovando a sua contaminação inicial de 7,5 mg kg⁻¹ que influenciou à absorção do mesmo pela testemunha do primeiro cultivo inclusive.

O tratamento de 144 t ha⁻¹ teve uma planta morta ao final do experimento e o de 192 t ha⁻¹ finalizou o experimento com duas plantas mortas.

Nenhum dos tratamentos de solo apresentou concentrações maiores que as estabelecidas pelas legislações Brasileira (CONAMA 420, 2006), Europeia (Directiva 89/278/CEE, 1989).

O Cromo, em relação à USEPA (2002), se encontra acima do limite máximo permitido para solos para todos os tratamentos, exceto o 16 t ha⁻¹ (Tabela 12).

O solo se enriqueceu com a presença gradativa de biossólido, contudo, as concentrações de metais pesados também subiram em ambas as fases.

O solo da testemunha, analisado no pós colheita, apresenta contaminação por Chumbo e Cromo, o que influenciou no resultado das concentrações das folhas anteriormente citadas de ambos os cultivos.

Tabela 12 - Teores de metais Cr, Mo, Ni, Pb, Cd e Cu para solos com doses de biofóssido.

Cultivo	Tratamentos	Cr	Mo	Ni	Pb	Cd	Cu
		mg kg ⁻¹					
Primeiro	Testemunha	10,4	<L.Q.	3,5	7,5	<L.Q.	1,5
	48 t ha ⁻¹	13,0	1,1	3,9	8,3	<L.Q.	2,9
	96 t ha ⁻¹	22,5	1,8	7,2	14,0	<L.Q.	6,7
	144 t ha ⁻¹	46,1	4,6	12,4	23,7	0,20	13,7
	192 t ha ⁻¹	38,8	4,0	11,6	24,0	<L.Q.	16,3
Segundo	Testemunha	11,4	<L.Q.	2,1	6,8	<L.Q.	0,1
	16 t ha ⁻¹	10,5	<L.Q.	0,02	6,1	<L.Q.	0,1
	24 t ha ⁻¹	20,5	0,2	3,7	9,0	<L.Q.	0,1
	32 t ha ⁻¹	17,0	1,5	4,8	11,2	<L.Q.	0,1
	40 t ha ⁻¹	26,4	2,1	5,5	14,8	0,5	0,1
	48 t ha ⁻¹	22,3	2,1	7,0	13,5	<L.Q.	0,4
	Químico	12,3	0,1	2,8	7,2	<L.Q.	0,1
CONAMA 420/06		150	50	70	180	3	200
Directiva 89/278/CEE		-	-	30 – 75	50 – 300	1 - 3	50 - 140
USEPA 1993		850	9	42	134	7	741

A CTC – Capacidade de Troca Catiônica, representa a movimentação de cátions no solo para a planta. Isso orienta quais são os cátions que a cultura tende a absorver e se esses são prejudiciais ao seu desenvolvimento. Em ambos os cultivos do experimento, quanto maior a aplicação de biofóssido, maior o CTC presente no solo, contradizendo os resultados apresentados por Nascimento et al. (2014), que analisando solos aplicados com diferentes tipos de lodo higienizados mostra que não houve alteração significativa do CTC. Da Silva Cuba Carvalho et al. (2018) observa uma interação significativa entre os fatores massa fresca e condutividade elétrica em alfaces irrigadas com efluente.

A relação benéfica entre a saturação das bases se mostra na Tabela 13, onde o solo com maior Capacidade de Troca Catiônica e percentagens de bases resultou numa melhor absorção de nutrientes na planta, assim como uma melhor retenção de água. Como afirma Mohamed et al. (2016), que mostra que solos com maior CTC possuem melhor capacidade nutricional assim como retenção de águas, pela aplicação de adubação pelo *biochar*.

A Tabela 13, apresenta ainda uma relação do desenvolvimento da planta com o pH registrado no solo após o plantio, onde pode-se observar que quanto mais ácido o solo, a planta teve um desenvolvimento reduzido.

Tabela 13 - Saturações de Base para solos com doses de biofóssido.

Cultivo	Tratamentos	CTC	Bases	Al	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	H+Al/CTC	pH CaCl ₂
		(cmolc.dm ⁻³)	Saturação de Bases - %						
Primeira	Testemunha	27,8	82,9	0,1	36,1	29,6	17,2	16,9	5,9
	48 t ha ⁻¹	27,5	84,5	0,2	48,2	28,5	7,7	15,6	5,1
	96 t ha ⁻¹	30,7	86,4	0,1	58,5	23,5	4,4	13,7	5,1
	144 t ha ⁻¹	36,8	78,1	0,5	52,7	22,3	3,0	22,0	4,6
	192 t ha ⁻¹	31,8	72,9	0,4	52,5	18,4	2,0	27,0	4,6
Segunda	Testemunha	20,7	87,1	0,6	42,6	44,5	0,0	13,0	6,0
	16 t ha ⁻¹	19,9	83,8	0,6	43,4	40,4	0,0	16,1	5,5
	24 t ha ⁻¹	22,2	87,8	0,6	48,4	39,4	0,0	12,2	5,8
	32 t ha ⁻¹	24,9	88,7	0,5	55,5	33,1	0,0	11,2	5,7
	40 t ha ⁻¹	26,5	89,9	0,3	50,6	26,8	12,6	10,2	5,9
	48 t ha ⁻¹	31,9	90,2	0,3	54,7	26,3	9,2	9,7	5,6
	Químico	21,8	86,1	0,4	43,6	42,5	0,0	13,8	5,8

Nota: CTC: Capacidade de Troca Catiônica.

As análises no solo mostram que o mesmo acabou de enriquecido de nutrientes pela aplicação do biofóssido, resultado esse confirmado por Alvarez-Campos & Evanylo (2019), que relatam os efeitos positivos na reabilitação de solos urbanos para produção de vegetais em jardins urbanos.

Todos os parâmetros de metais estão dentro da faixa permitida de concentração no solo (Tabela 12), mostrando a segurança da aplicação do biofóssido no solo assim com mostra Sampaio et al. (2016), Florentino et al. (2019), e Lee et al. (2019). Contudo, o experimento de Ippolito & Barbarick (2008) cuja as aplicações repetidas a longo prazo de biofóssidos causam alterações persistentes na mobilidade, extração e destino do Cu, Mo, Ni, Pb e Zn no solo cultivados com trigo. Porém, não alteram o fracionamento de Cd e Cr. Para Gu et al. (2013), o aumento na aplicação de biofóssido resultou no acúmulo de metais Zn, Mn, Cu, Ni, Cr e Cd no solo cultivados com Azevém, para aplicações de 300 ton ha⁻¹, muito além da concentração proposta nesse estudo.

A aplicação do biofóssido em todos os tratamentos apresenta uma ligeira redução no pH do solo após a colheita, esse tipo de resultado é afirmado na literatura (ANTOLÍN et al., 2005; BUENO et al., 2011; GALDOS et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2004; SIMONETE et al., 2003; Zuo et al., 2019).

Capacidade de absorção de nutrientes e acúmulo de metais

Tendo em vista que os resultados mostram os teores de nutrientes e metais pesados disponíveis no solo e nas plantas, é possível propor uma relação que mostre as capacidades de absorção média para cada cultivo do experimento como mostra as Figuras 10, 11 e 12, que apresentam em mg kg^{-1} esses valores e ainda a porcentagem de absorção das fases para cada parâmetro, com a finalidade de apresentar uma comparação dos parâmetros que foram encontrados com o que foi absorvido pela planta.

O Nitrogênio, Fósforo e Potássio são os elementos que possuem a maior absorção daquilo que foi encontrado como sendo disponibilizado (Solo e Folha) e o que foi detectado nas folhas em todos os cultivos, tanto em mg kg^{-1} , como em porcentagem, como mostra a Figura 10.

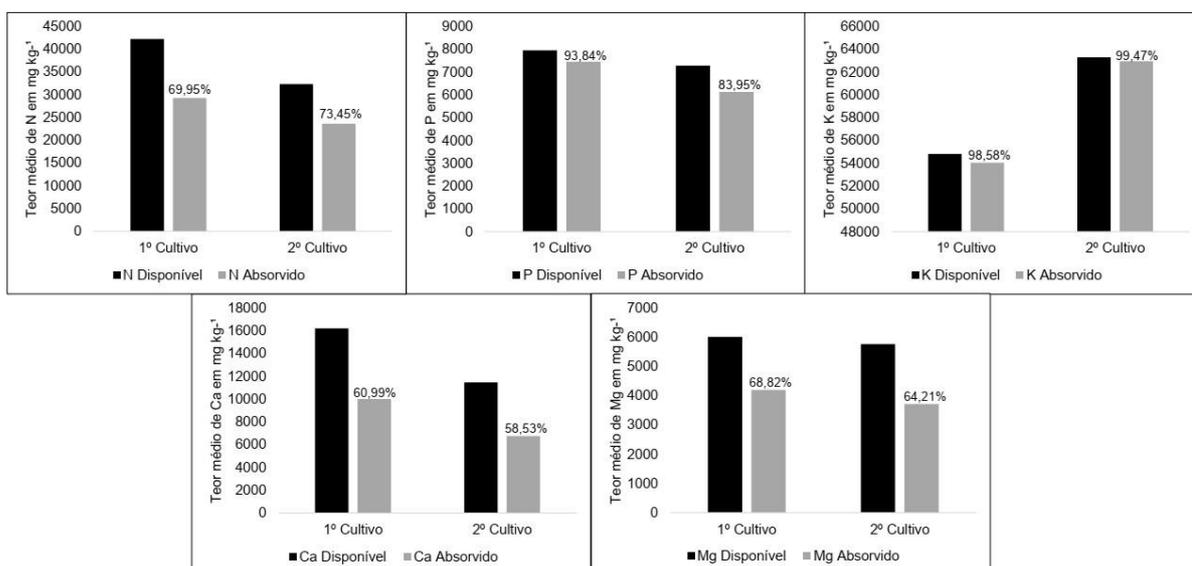


Figura 10 – Gráfico de Capacidade de Absorção Média de N, P, K, Ca e Mg das folhas de alface em mg kg^{-1} por cultivo de tratamento.

Logo, por mais que um nutriente ou metal tenha sido disponibilizado a mais em um dos cultivos, a planta obedece uma média de absorção daquele parâmetro em todos os tratamentos, como por exemplo o Boro que no primeiro cultivo disponibiliza $37,09 \text{ mg kg}^{-1}$ e no segundo $55,22 \text{ mg kg}^{-1}$, contudo no primeiro cultivo absorve 96,81% e 97,85% no segundo, uma proporção muito próxima (Figura 11).

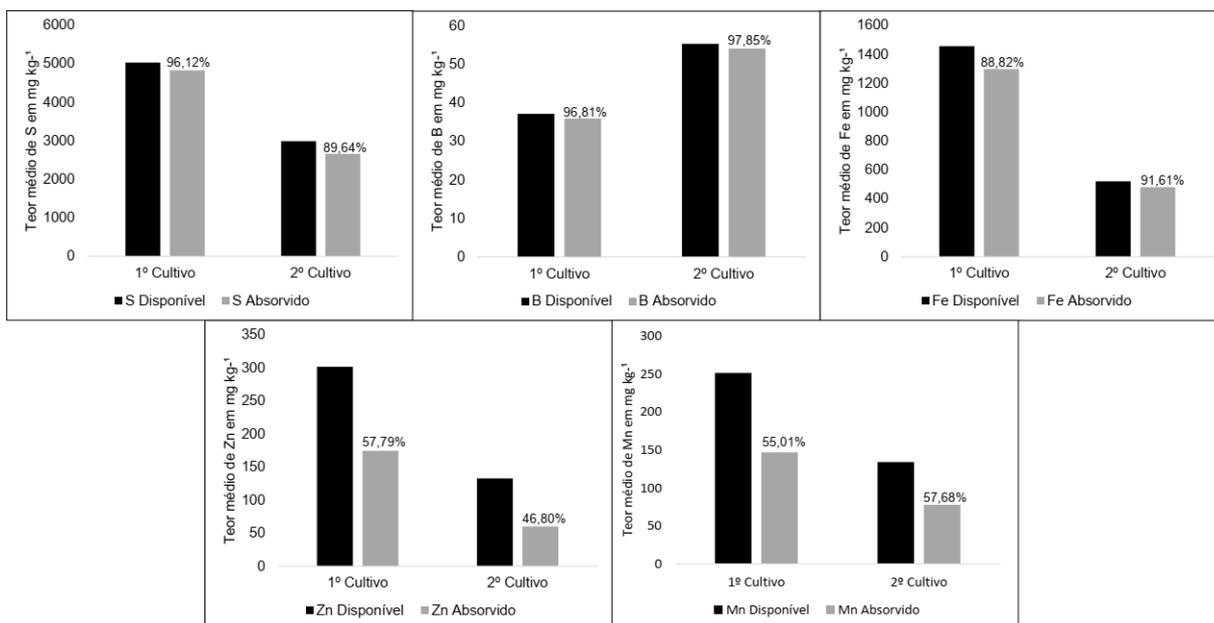


Figura 11 - Gráfico de Capacidade de Absorção Média de S, B, Fe, Zn e Mn das folhas de alface em mg kg⁻¹ por cultivo de tratamento.

Ao contrário do que apresenta a relação dos metais pesados, os únicos que não possuem uma proporcionalidade em ambos os cultivos, são o Cádmio e o Cobre. No primeiro cultivo o Cádmio mostra absorção abaixo do limite químico e no segundo uma absorção de 45,24%. O Cobre sai de 52,83% no primeiro para 98,6% o segundo cultivo (Figura 12).

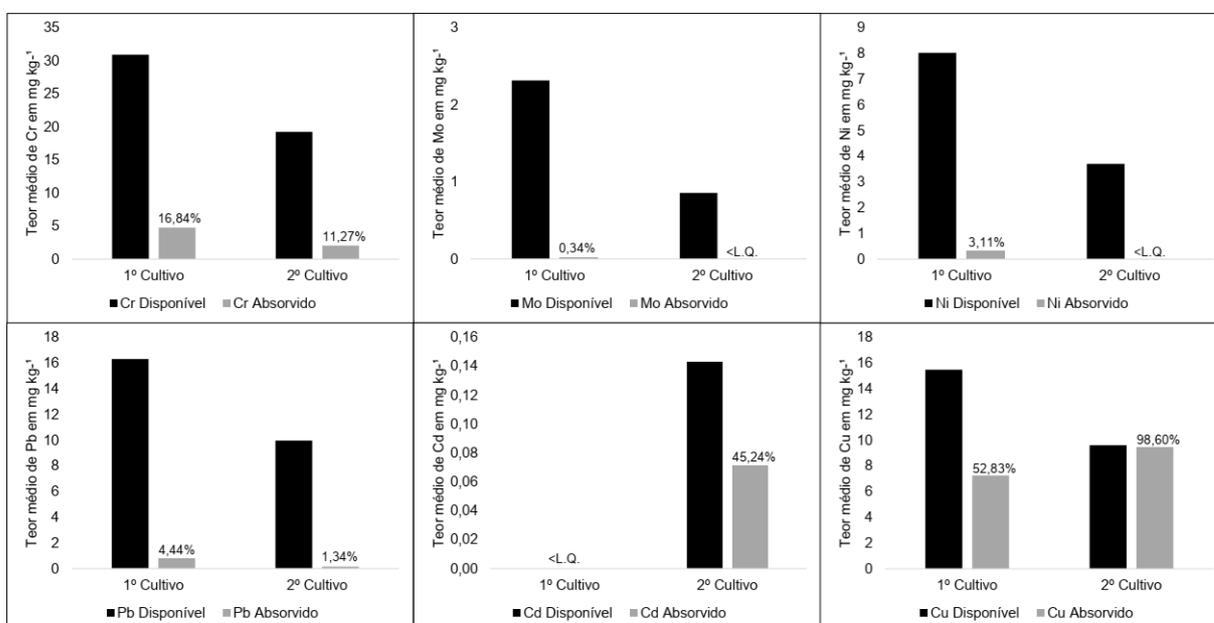


Figura 12 - Gráfico de Capacidade de Absorção Média de Cr, Mo, Ni, Pb, Cd e Cu das folhas de alface em mg kg⁻¹ por cultivo de tratamento.

No segundo plantio, por mais que o Cobre tenha sido disponibilizado em menor quantidade ($9,6 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação ao primeiro ($15,48 \text{ mg kg}^{-1}$), a planta absorve mais, pois esse efeito é auxiliado pela presença do Cádmio, que no primeiro cultivo está abaixo do limite de detecção, mas no segundo aponta com $0,14 \text{ mg kg}^{-1}$. Resultado semelhante foi apresentado por Martins et al. (2014) ao usar girassol para recuperar solos contaminados com Cobre e Cádmio observou alta eficiência das plantas ao absorverem os elementos simultaneamente, mostrando uma tendência de acúmulo desses metais.

A ordem de crescente em mg kg^{-1} de elementos ficou no primeiro cultivo $\text{K}>\text{N}>\text{Ca}>\text{P}>\text{S}>\text{Mg}>\text{Fe}>\text{Zn}>\text{Mn}>\text{B}$ de absorção de nutrientes e $\text{Cu}>\text{Cr}>\text{Pb}>\text{Ni}>\text{Mo}>\text{Cd}$ de acúmulo de metais. No segundo cultivo $\text{K}>\text{N}>\text{Ca}>\text{P}>\text{Mg}>\text{S}>\text{Fe}>\text{Mn}>\text{Zn}>\text{B}$ de absorção de nutrientes e $\text{Cu}>\text{Cr}>\text{Pb}>\text{Cd}>\text{Mo}>\text{Ni}$ de acúmulo de metais. Esse resultado se assemelha ao acúmulo de nutrientes dispostos para a produção de sementes de alface feito por Kano et al. (2011), assim com resultados semelhantes tiveram Fernandes et al. (2002), Lopes et al. (2003) e Conversa et al. (2004), mesmo sabendo que essa ordem desconsidera os nutrientes e metais que foram lixiviados e volatilizados no decorrer do tratamento.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), os elementos considerados essenciais são classificados de acordo com suas concentrações relativas nos tecidos vegetais de forma geral, na seguinte ordem crescente: $\text{N}>\text{K}>\text{Ca}>\text{Mg}>\text{P}>\text{S}>\text{Fe}>\text{B}>\text{Mn}>\text{Zn}>\text{Cu}$, essa ordem difere do experimento em questão pois as altas concentrações de Potássio, Fósforo e Magnésio no bio sólido usado, aumentaram a disponibilidade dos mesmos, alterando assim a ordem encontrada pelo autor.

No experimento de Da Silva Cuba Carvalho et al. (2018) todos os macronutrientes de alfaves cultivadas com efluente doméstico tratado correspondem à ordem tratada com bio sólido, diferindo apenas nas disponibilidades dos micronutrientes ($\text{Fe}>\text{Mn}>\text{Cu}>\text{B}>\text{Zn}$), o que auxilia nessa diferença, são os resíduos utilizados para os experimentos, uma vez que o bio sólido possui concentrações de metais diferente em relação ao efluente líquido.

CONCLUSÕES

O Tratamento de 48 t ha⁻¹ de bio sólido teve melhores resultados agrônômicos em Comprimento da Raiz, Massa da Raiz, Massa Total, Massa da Folha, Massa Seca e Número de Folhas, tendo 33% mais massa na parte aérea que a testemunha para o primeiro cultivo e 150% a mais no segundo experimento.

Para os padrões da ANVISA, sobre metais pesados, presentes nas folhas, o tratamento de 48 t ha⁻¹ atende aos valores máximos permitidos sendo passivo de consumo, no primeiro experimento. No segundo experimento, o mesmo tratamento acusou presença de Chumbo e Cádmiu acima do limite máximo. Sendo assim, o tratamento de 40 t ha⁻¹ atende aos valores máximos permitidos sendo passivo de consumo. Os demais metais analisados no bio sólido de ETE estão abaixo dos limites máximos permitidos para as legislações Brasileira, Americana e Europeia.

Os níveis de concentração de metais pesados nos solos tratados com o bio sólido, estão abaixo do máximo permitido pela Resolução CONAMA 420/2006, sendo assim a sua aplicação além de vantajosa para a produção agrícola, não degrada o meio ambiente de forma significativa.

O solo analisado para o tratamento de testemunha em ambos os cultivos, que teve apenas o composto puro, apresentou concentração de Cromo, Níquel, Chumbo e Cobre, o que influencia na presença das folhas analisadas. A CTC no solo e a concentração de bio sólido tende a ser diretamente proporcional.

O Bário presente nas folhas tem relação direta com nutrientes essenciais, assim como o Fósforo, contudo necessita de mais estudos para sua determinação como nutriente, uma vez que já é conhecido a concentração em que o mesmo pode se tornar tóxico.

Com o presente estudo é possível estimar uma a capacidade de absorção de nutrientes da alfaca, sabendo que em ambos os experimentos, as plantas apresentam absorção nutricional pouco variável. Mesmo que a disponibilidade de um nutriente ou metal tenha sido maior de um cultivo para outro, a planta tende a absorver de modo proporcional o mesmo, mesmo para cultivares distintos;

A ordem crescente em mg kg⁻¹ de elementos ficou no primeiro cultivo K>N>Ca>P>S>Mg>Fe>Zn>Mn>B para absorção/recuperação de nutrientes e Cu>Cr>Pb>Ni>Mo>Cd de acúmulo de metais. No segundo cultivo, foi K>N>Ca>P>Mg>S>Fe>Mn>Zn>B de absorção/recuperação de nutrientes e Cu>Cr>Pb>Cd>Mo>Ni de acúmulo de metais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFÁZ, D. C. S.; BERTOLAZI, K. B.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. **Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto**. Rev. Ambient. Água vol. 12 n. 1 Taubaté – Jan. / Feb. 2017.
- AKDENIZ, H.; YILMAZ, I.; BOZKURT, M. A.; KESKIN, B. **The effects of sewage sludge and nitrogen applications on grain sorghum grown (*Sorghum vulgare* L.) in Van-Turkey**. Pol. J. Environ. Stud. 15, 19–26. 2006.
- ANTOLIN, M. C.; PASCUAL, I.; GARCIA, C.; POLO, A.; SANCHEZ-DIAZ, M. **Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions**. Field Crops Research, Amsterdam, v. 94, n. 2/3, 2005.
- ALVARENGA, P., et al. **Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors**. Waste Management, 2015.
- ALVAREZ-CAMPOS, O.; EVANYLO, G. K. **Biosolids Improve Urban Soil Properties and Vegetable Production in Urban Agriculture**. Urban Agriculture & Regional Food Systems, 2019.
- ANDREOLI, C. V.; HAANDEL, A. C.; SKORUPA, L. A.; INGUNZA, M. D. P.; PEDORINI, E. S.; SOBRINHO, P. A.; HOPPEN, C.; TAMANINI, C. R.; NEVES, P.; MIKI, M. K.; PEDROZA, E. C. L.; MOREIRA, E. A.; CAVALCANTI, P. F. F.; POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M.; GUEDES, M. C.; SOUZA, M. D.; PIRES, A. M. M.; FILIZOLA, H.; BETTIOL, W.; GHINI, R.; LIGO, M. A. V.; NASCIMENTO, R. M.; TINOCO, J. D.; LEITE, B. Z. **Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal**. In: **Biossólidos – alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2006.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Sludge Treatment and Disposal**. IWA (International Water Association). Biological Wastewater Treatment Series, Volume six, 2007.
- APHA, Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – **SMEWW. American Public Health Association – APHA, 22th ed**. Washington DC. USA, 2012.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 edition**. Washington DC: American Public Health Association, 2017.
- ARAUJO, A. S.; BLUM, L. E. B.; FIGUEIREDO, C. C. **The synergistic effect of sewage sludge biochar and 'Trichoderma harzianum' on soybean yield**. Australian Journal of Crop Science, Vol. 13, No. 7, July 2019.
- ATALLA, A.; PELISSARI, C.; OLIVEIRA, M.; DE SOUZA PEREIRA, M. A.; CAVALHERI, P. S.; SEZERINO, P. H.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. **Influence of earthworm presence and hydraulic loading rate on the performance of vertical flow constructed wetlands**. Environmental Technology, 2020.
- ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY [ATSDR] **Toxicological profile for barium and barium compounds**. Atlanta, 2007.
- AUSTRALIA & NEW ZEALAND. **Biosolids Partnership**, 2013.

BATSTONE, D. J.; HÜLSEN, T.; MEHTA, C. M.; KELLER, J. **Platforms for energy and nutrient recovery from domestic wastewater: a review**. Chemosphere 140, 2–11, 2015.

Batstone, D. J.; Jensen, P. D. **Aerobic processes**. In: Wilderer, P., Rogers, P., Uhlenbrook, S., Frimmel, F., Hanaki, K. (Eds.). Treatise on Water Science. Academic Press, Oxford, U.K., pp. 615–640, 2011.

BELHAJ, D.; ELLOUMI, N.; JERBI, B.; ZOUARI, M.; ABDALLAH, F. B.; AYADI, H.; KALLEL, M. **Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*)**. Environmental Science and Pollution Research, 2016.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto Ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto**. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna-SP, 2005.

BITTENCOURT, S. et al. **Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto**. ABES – Associação de engenharia Sanitária e Ambiental, v.21 n.1, páginas 43-53, Brasília-DF, 2016.

BRAGA A. F. M.; ZAIATA, M.; SILVA, G. H. R.; FERMOSO, F. G. **Metal fractionation in sludge from sewage UASB treatment**. Journal of Environmental Management, 2017.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

_____. ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 42. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos**. 29 de agosto de 2013.

_____. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 30 de ago. 2006.

_____. CONAMA. Resolução nº. 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas**. Brasília, DF: CDU (2.ed.) 556.18.

_____. MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília: MAPA/ SDA/CGAL, 2014.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. **Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1461-1470, 2011.

BREWER G., J. **Copper control as an antiangiogenic anticancer therapy: lessons from treating Wilson's disease**. Exp Biol Med (Maywood); 226(7): 665-73, 2001.

- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 2009. Boletim técnico 106, 77 p.
- CARNEIRO, P.; BARBOSA, C. F.; LIMA, N. N. **Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 30, nº1, 2014.
- CAREY, D. E.; YANG, Y.; McNAMARA, P. J.; MAYER, B. K. **Recovery of agricultural nutrients from biorefineries**. Bioresource Technology, 2016.
- ČERNÝ, J.; BALÍK, J.; KULHÁNEK, M.; VAŠÁK, F.; PEKLOVÁ, L.; SEDLÁŘ, O. **The effect of mineral N fertiliser and sewage sludge on yield and nitrogen efficiency of silage maize**. Plant Soil Environment. 58, 76–83. 2012.
- CHU, S., et al. **Municipal sewage sludge compost**. Scientific Reports, 2017.
- CONVERSA, G.; SANTAMARIA, P.; GONNELLA, M. **Growth, yield, and mineral content of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) grown in NFT**. Acta Horticulturae 659: 621-628. 2004.
- CORDELL, D. et al. **Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options**. Chemosphere 84 (2011) 747–758, 2011.
- CORDELL, D.; NESET, T. S. **Phosphorus vulnerability: a qualitative framework for assessing the vulnerability of national and regional food systems to the multi-dimensional stressors of phosphorus scarcity**. Global Environ Chang. 24: 108–122, 2014.
- CORRÊA, R. S.; CORRÊA, A. S. **Valoração de biossólidos como fertilizantes e condicionadores de solos**. SANARE, Revista Técnica da SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Volume 16, No 2, p. 49-56. ISSN 01047175. Curitiba/PR, julho a dezembro de 2001.
- DA SILVA CUBA CARVALHO, R.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. **Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system**. Agricultural water management, 2018.
- DE LOS REYS III, F. L. **An Overview of Biosolids Regulations in the US**. In: seminário internacional uso de lodo de esgoto em solos: Contribuição para regulamentações no Brasil, 2018, Minas Gerais. [Anais], Belo Horizonte/MG 2018.
- DE SOUZA PEREIRA, M. A.; CAVALHERI, P. S.; OLIVEIRA, M. Â. C.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. **A multivariate statistical approach to the integration of different land-uses, seasons, and water quality as water resources management tool**. Environmental Monitoring and Assessment, 2019.
- DIRECTIVA 1986.278.CEE. **On the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture**. 1986.
- DONG, F.; MITCHELL, P. D.; KNUTESON, D.; WYMAN, J.; BUSSAN, A. J.; CONLEY, S. **Assessing sustainability and improvements in US Midwestern soybean production systems using a PCA–DEA approach**. Renewable Agriculture and Food Systems: 31(6); 524–539. 2013.
- EC (European Commission) Commission regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2008. **Maximum levels of certain contaminants in food stuffs**. 2008.
- EID, E. M.; ALRUMMAN, S. A.; EL-BEBANY; A. F.; HESHAM, A. E. L.; TAHER, M. A.; FAWY, K. F. **The effects of different sewage sludge amendment rates on the**

- heavy metal bioaccumulation, growth and biomass of cucumbers (*Cucumis sativus* L.).** Environmental Science and Pollution Research. 2017.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Métodos de análise de Tecidos Vegetais.** ISSN 1517-5146. Rio de Janeiro, 2000.
- EMBRAPA– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Rev. Ampl. 2^o. ed. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas – Princípios e Perspectivas.** 2^o Edição. Editora Planta, 2006.
- ESG International. **Ecotoxicity Evaluation of Reference Site Soils Amended with Barium Sulphate.** ESG International: Toano, VA, 2003.
- EUROSTAT. **Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)),** 2015.
- EVANS, T. D. Biosolids in Europe. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v. 2012, n. 2, p. 108-117, 2012.
- FERNANDES A. A.; MARTINEZ H. E. P.; PEREIRA P. R. G.; FONSECA M. C. M. **Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes.** Horticultura Brasileira 20: 195-200. 2002.
- FEWTRELL, L. J., et al. **Estimating the global burden of disease of mild mental retardation and cardiovascular diseases from environmental lead exposure.** Environmental Research 94 (2004) 120–133.
- FLORENTINO, A. L.; FERRAZ, A. V.; GONÇALVES, J. L. M.; ASENSIO, V.; MURAOKA, T.; DIAS, C. T. S.; NOGUEIRA, T. A. R.; CAPRA, G. F.; ABREU-JUNIOR, C. H. **Long-term effects of residual sewage sludge application in tropical soils under Eucalyptus plantations.** Journal of Cleaner Production, 2019.
- FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. **Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 116–140. Mayo 2006.
- GALIENI A.; DI MATTIA, C.; GREGORIO, M.; SPECA, S.; MASTROCOLA D.; PISANTE, M.; STAGNARI, F. **Effects of nutrient deficiency and abiotic environmental stresses on yield, phenolic compounds and antiradical activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.).** Scientia Horticulturae 187, 2015.
- GALLO, A.; MOSCHINI, M.; CERIOLI, C.; MASOERO, F. **Use of principal component analysis to classify forages and predict their calculated energy content.** The Animal Consortium 2013.
- GARCIA, C. J.; GARCÍA-VILLALBA, R.; GARRIDO, Y.; GIL, M. I.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. **Untargeted metabolomics approach using UPLC-ESI-QTOF-MS to explore the metabolome of fresh-cut iceberg lettuce.** Metabolomics (2016) 12:138.
- GARDNER, F. P.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants.** Jodhpur, ISBN: 9788172336622. Índia, 2017.
- GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. **Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 569-577, 2004.

- GRANATO, D.; SANTOS, J. S.; ESCHER, G. B.; FERREIRA, B. L.; MAGGIO, R. M. **Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective.** Trends in Food Science & Technology, 2018.
- GU, C.; BAI, Y.; TAO, T.; CHEN, G.; SHAN, Y. **Effect of Sewage Sludge Amendment on Heavy Metal Uptake and Yield of Ryegrass Seedling in a Mudflat Soil.** Journal of Environmental Quality - Heavy Metals in the Environment, 2013.
- HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de Alface Cultivadas no Brasil.** Comunicado técnico. ISSN 1414-9850. Brasília, DF. 2009
- HE, Z., et al. **Heavy Metal Contamination of Soils: Sources, Indicators, and Assessment.** Journal of Environmental Indicators, 9:17-18, 2015.
- HIRPASSA, W. D.; CODLING, E. E. **Growth and Metal Uptake of Lettuce [*Lactuca Sativa L*] on Soil Amended with Biosolids and Gypsum.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2019.
- HOSSIAN, M. F.; STREZON, V.; CHAN, K. Y.; NELSON, P. F. **Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*).** Chemosphere 78 (2010) 1167–1171.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2006. Sistema IBGE de Recuperação Automática – Sidra.** 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017. Sistema IBGE de Recuperação Automática – Sidra.** 2017.
- IPPOLITO, J. A.; BARBARICK, K. A. **Fate of Biosolids Trace Metals in a Dryland Wheat Agroecosystem.** Journal of Environmental Quality, volume 37, 2008.
- JARAUSCH-WEHRHEIM, B.; MOCQUOT, B.; MENCH, M. **Absorption and translocation of sludge-borne zinc in field-grown maize (*Zea mays L.*).** Eur. J. Agron. 11, 23–33. 1999.
- JOLLIFFE, I.T. AND CADIMA, J. **Principal component analysis: a review and recent developments.** Phil. Trans. R. Soc. A 374: 20150202. 2016.
- KACPRZAK, M., et al. **Sewage Sludge Disposal Strategies for Sustainable Development.** Environmental Research 156 (2017) 39–46. 2017.
- KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; BÔAS, R. L. V. **Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes.** Horticultura Brasileira, vol.29 no.1, 2011.
- KATHIJOTES, N.; ZLATAREVA, E.; MARINOVA, S.; PETROVA, V. **Soil fertilization with wastewater biosolids – monitoring changes in the ‘soil–fertilizer–plant’ system and phosphorus recovery options.** Water Science & Technology - 74.6. IWA Publishing, 2016.
- KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. **Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries.** Waste Management 32 (2012) 1186–1195, 2012.
- KHAN, S. I. et al. **Arsenic and Cadmium in Food-chain in Bangladesh—An Exploratory Study.** J health Popul Nutr 2010 Dec; 28(6):578-584.
- KIM, K R.; OWENS, G. **Potential for enhanced phytoremediation of landfills using biosolids – a review.** Journal of Environmental Management 91 (2010) 791–797, 2010.

- KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro de horti&fruti 2019**. Editora Gazeta Santa Cruz. Santa Cruz, 2018.
- KORBOULEWSKY, N.; BONIN, G.; MASSIANI, C. **Biological and ecophysiological reactions of white wall rocket (*Diplotaxis erucoïdes* L.) grown on sewage sludge compost**. *Environ. Pollut.* 117, 365–370. 2002.
- LABRECQUE, M.; TEODORESCU, T.I.; DAIGLE, S. **Effect of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation of two *Salix* species**. *Plant Soil* 171, 303–316. 1995.
- LAMB, D. T.; MATANITOBUA, V. P.; PALANISAMI, T.; MEGHARAJ, M.; NAIDU, R. **Bioavailability of Barium to Plants and Invertebrates in Soils Contaminated by Barite**. *Environmental Science & Technology* 2013, 47, 4670-4676.
- LeBLANC, R.J., MATTHEWS, P., RICHARD, R.P. **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource**. United Nations, 2008.
- LEE, J. H.; LUYIMA, D.; AHN, J. H.; PARK, S. Y.; CHOI, B. S.; OH, T. K.; LEE, C. H. **Effect of different biochar formulations on the growth of cherry tomatoes**. *Korean Journal of Agricultural Science*. Vol.46 No.4. December 2019.
- LIMA, E. S. A.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAGALHÃES, M. O. L., J. N. GUEDES e ZONTA, E. **Absorção de Bário por plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) e mobilidade em solo tratado com baritina sob diferentes condições de potencial redox**. *Química Nova*, Vol. 35, No. 9, 1746-1751, 2012.
- LIN, H.; MA, X. **Simulation of co-incineration of sewage sludge with municipal solid waste in a grate furnace incinerator**. *Waste Management* 32 (2012) 561–567, 2012.
- LOGANATHAN P et al. **Cadmium sorption and desorption in soils: a review**. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 42: 489-533. 2012.
- LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. **Produção de alface com doses de lodo de esgoto**. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.143-147. 2005.
- LOPES, M. C.; FREIER, M.; MATTE, J. D.; GÄRTNER, M.; FRANZENER, G.; CASIMIRO, E. L. N.; SEVIGNANI, A. **Acúmulo de nutrientes por cultivares de alface em cultivo hidropônico no inverno**. *Horticultura Brasileira* 21: 211- 215. 2003.
- MALAVOLTA E, VITTI G. C.; OLIVEIRA A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS. 2ª ed. 1997.
- MANOJLOVIC, M.; CABILOVSKI, R.; BAVEC, M. **Organic materials: Sources of nitrogen in the organic production lettuce**. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2010.
- MARTIN, L.; KELSO, G. **Use of biosolids in agriculture**. State of New South Wales through NSW Department of Primary Industries. EUA, 2009.
- MARTINS, C. D. C. et al. **Phytoremediation of soil multi-contaminated with hydrocarbons and heavy metals using sunflowers**. *International Journal of Engineering & Technology*, v. 14, p. 1 - 6, 2014.
- MATOS, A. T. **Potencialidades e limitações do uso de lodo de esgoto em solos – aspectos agrônômicos, controle de atratividade de vetores e de impactos ambientais**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL USO DE LODO DE ESGOTO EM SOLOS: Contribuição para regulamentações no Brasil, 2018, Minas Gerais. [Anais], Belo Horizonte/MG 2018.

- MAZZUCHELLI, E. H.; MAZZUCHELLI, R. C.; LIMA, R. C.; BALDOTTO, P. V. **Produção de alface após adição de composto e doses de adubo no solo.** Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, Presidente Prudente, 20 a 23 de outubro, 2014.
- MÉNDEZ, A.; CÁRDENAS-AGUIAR, E.; PAZ-FERREIRO, J.; PLAZA, C.; GASCÓ, G. **The effect of sewage sludge biochar on peat-based growing media.** *Biological Agriculture & Horticulture*, 2016.
- MENDOZA, J., TATIANA, G., GABRIELA, C., NILSA, S. M. **Metal availability and uptake by sorghum plants grown in soils amended with sludge from different treatments.** *Chemosphere* 65, 2304–2312. 2006.
- MERRINGTON, G., WINDER, L., GREEN, I. **The bioavailability of Cd and Zn from soils amended with sewage sludge to winter wheat and subsequently to the grain aphid *Sitobion avenae*.** *Science Total Environmental*. 205, 245–254. 1997.
- METCALF, EDDY, editors. **Wastewater engineering—treatment, disposal and reuse.** 3rd ed. New York, USA: McGraw Hill; 1991.
- McCABE, B. K.; ANTILLE, D. L.; MARCHUK, S.; TAIT, S.; LEE, S.; EBERHARD, J.; BAILLIE, C. P. **Biosolids-derived organomineral fertilizers from anaerobic digestion digestate: opportunities for Australia.** American Society of Agricultural and Biological Engineers - ASABE Annual International Meeting, 2019.
- MOHAMED, B. A.; ELLIS, N.; KIM, C. S.; BI, X.; EMAM, A. El-raie. **Engineered biochar from microwave-assisted catalytic pyrolysis of switchgrass for increasing water-holding capacity and fertility of sandy soil.** *Science of the Total Environment*, 2016.
- MONTEIRO, F. A.; NOGUEIROL, R. C.; MELO, L. C. A.; ARTUR, A. G.; DA ROCHA, F. **Effect of barium on growth and macronutrient nutrition in Tanzania guineagrass grown in nutrient solution.** *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2011, 42 (13), 1510–1521.
- NAKAGAWA, H.; OHTA, J. **Phosphorus recovery from sewage sludge ash: a case study in gifu, Japan.** In: **Phosphorus Recovery and Recycling.** Springer Singapore, Singapore, pp. 149e155, 2019.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. **Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.
- OFFROY, M.; DUPONCHEL, L. **Topological data analysis: a promising big data exploration tool in biology, analytical chemistry and physical chemistry.** *Analytica Chimica Acta*, 2015.
- OHSE, S.; DOURADO-NETO, D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. **Qualidade de cultivares de alface Produzidos em hidroponia.** *Scientia Agrícola*, v.58, nº1, p.181-185, jan./mar. 2001.
- OSEI, J.; NYAME, F.; ARMAH, T.; OSAE, S.; DAMPARE, S.; FIANKO, J.; ADOMAKO, D.; BENTIL, N. **Application of multivariate analysis for identification of pollution sources in the Densu Delta wetland in the vicinity of a landfill site in Ghana.** *Journal of Water Resource and Protection*, 2010.
- OPEC, F. F. I. D. **Wastewater Report 2018: The Reuse Opportunity.** International Water Association: IWA, 2018.

- PAIS, I.; JONES JR, J. B. **The Handbook of Trace Elements**. St. Lucie Press: Boca Raton, 1998.
- PAPAIOANNOU, D.; KALAVROUZIOS I. K.; KOUKOULAKIS, P. H.; PAPADOPOULOS, F.; PSOMA, P.; MEHRA, A. **Simulation of soil heavy metal pollution environmental stress on plant growth characteristics in the presence of wastewater**. Global NEST Journal, Vol. 20, 2019.
- PETERSEN, S. O.; PETERSEN, J.; RUBÆK, G. H. **Dynamics and plant uptake of nitrogen and phosphorus in soil amended with sewage sludge**. Appl. Soil Ecol. 24, 187–195. 2003.
- PINTO, E.; ALMEIDA, A. A.; AGUIAR, A. A. R. M.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. **Changes in macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: Influence of soil composition**. Food Chemistry 152 (2014) 603–611.
- POMPEO, R. P., ANDREOLI, C. V., DE CASTRO, E. A., & AISSE, M. M. **Influence of Long-Term Storage Operating Conditions on the Reduction of Viable Ascaris Eggs in Sewage Sludge for Agricultural Reuse**. Water, Air, & Soil Pollution, 227(5), 2016.
- POMPEO, R., P. **Influência da estocagem prolongada de lodos de esgoto, em diferentes condições operacionais, na redução de patógenos, visando a reciclagem agrícola**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2015.
- POONKOTHAI, M AND SHYAMALA VIJAYAVATHI, B. **Nickel as an essential element and a toxicant**. International Journal of Environmental Sciences Vol. 1 N°. 4. 2012. Pp. 285-288.
- QASIM, M.; HIMAYATULLAH, J. N.; SUBHAN, M. **Effect of sewage sludge on the growth of maize crop**. Journal Biological Science. 1, 52–54. 2001.
- QIN Lu; Zhenli L; He; Peter J. Stoffella. **Land Application of Biosolids in the USA: A Review**. Applied and Environmental Soil Science. Volume 2012, Article ID 201462, 11 pages. New York-USA, 2012.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001.
- REHMAN, R. A.; RIZWAN, M.; QAYYUM, M. F.; ALI, S.; REHMAN, M. Z.; ZAFAR-UL-HYE, M.; HAFEEZ, F.; IQBAL, M. F. **Efficiency of various sewage sludges and their biochars in improving selected soil properties and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.)**. Journal Environmental Manage. 223, 607–613. 2018.
- ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S. I.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J. et al. **A safe operating space for humanity**. Nature, 461:472-475, 2009.
- ROSATO, A.; TENORI, L.; CASCANTE, M.; CARULLA, P. R. A.; DOS SANTOS, V. A. P. M.; SACCENTI, E. **From correlation to causation: analysis of metabolomics data using systems biology approaches**. Metabolomics, 2018.
- SAJUR, S. A.; SAGUIR, F. M.; MANCA DE NADRA, M. C. **Vect of dominant specie of lactic acid bacteria from tomato on natural microxora development in tomato purée**. Food Control 18 (2007) 594–600.
- SALA FC; COSTA CP. **'Pira Roxa': Cultivar de alface crespa de cor vermelha intensa**. Horticultura Brasileira 23: 158-159. Brasília, 2005.

SAMARAS, V.; TSADILAS, C. D.; STAMATIADIS, S. **Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and nitrate leaching.** *Agron. J.* 100, 477–483. 2008.

SAMPAIO, A. **Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375.** *Revista DAE, São Paulo*, n. 193, p. 16-27, 2014.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; OTERO, X. L.; VAZQUEZ, F. M.; BOGIANI, J. C.; OLIVEIRA, F. C.; GAVA, J. L.; CIOL, M. A.; LITCKE, K. M.; HARRISON, R. B. **The Impact of Biosolid Application on Soil and Native Plants in a Degraded Brazilian Atlantic Rainforest Soil.** *Water Air Soil Pollut*, 2016.

SELEIMAN, M. F.; SANTANEN, A.; JAAKKOLA, S.; EKHOLM, P.; HARTIKAINEN, H.; STODDARD, F. L.; MÄKELÄ, P. S. A. **Biomass yield and quality of bioenergy crops grown with synthetic and organic fertilizers.** *Biomass Bioenergy* 59, 477–485. 2013.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. **Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin.** *Japan Environmental Modelling and Software*, 2007.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. **Efeito do lodo de esgoto em um argissolo e no crescimento e nutrição de milho.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v. 38, n. 10, p. 1187-195, 2003.

SGARBIERI, V.C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento.** Campinas: UNICAMP, 1987. 387p.

SHEN, T.; KONG, W.; LIU, F.; CHEN, Z.; YAO, J.; WANG, W.; PENG, J.; CHEN, H.; HE Y. **Rapid Determination of Cadmium Contamination in Lettuce Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy.** *Molecules* 2018, 23, 2930; doi: 10.3390/molecules23112930.

SHIBA, N. C.; NTULI, F. **Extraction and precipitation of phosphorus from sewage sludge.** *Waste Manag.* 60, 191e200, 2017.

SHRIVASTAVA, R. et al. **Effects of chromium on the immune system.** *FEMS Immunology and Medical Microbiology* 34 (2002).

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SINGH, V.; AGRAWAL, H. M.; JOSHI, G. C.; SUDERSHAN, M.; SINHA, A. K. **Elemental profile of agricultural soil by the EDXRF technique and use of the Principal Component Analysis (PCA) method to interpret the complex data.** *Applied Radiation and Isotopes* 69 (2011) 969–974.

SOLOMON, E. B. et al. **Transmission of Escherichia coli O157:H7 from Contaminated Manure and Irrigation Water to Lettuce Plant Tissue and Its Subsequent Internalization.** *Applied and Environmental Microbiology*, Jan. 2002, p. 397–400.

SWAMINATHAN, B.; SUKALAC, K. E. **Technology transfer and mitigation of climate change: the fertilizer industry perspective.** In *Proceedings from IPCC Expert Meeting on Industrial Technology Development, Transfer And Diffusion*, 140-154, 2005.

- SZYMANSKA-CHARGOT, M. & ZDUNEK A. **Use of FT-IR Spectra and PCA to the Bulk Characterization of Cell Wall Residues of Fruits and Vegetables Along a Fraction Process.** *Food Biophysics* (2013) 8:29–42.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Fisiologia Vegetal**, 5th ed. ArtMed, Porto Alegre. 2013.
- TOMA, H., S., et al. **Aspectos Clínicos, Laboratoriais, Necroscópicos e Métodos Diagnósticos da Ataxia Enzoótica em Pequenos Ruminantes.** *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária* – ISSN: 1679-7353, julho de 2010.
- TONINI, R. M. C. W.; REZENDE, C. E.; DAUDT, A. **Degradação e biorremediação de compostos do petróleo por bactérias: revisão.** *Oecologia Australis*, 14 (4):1027-1035, 2010.
- TORRI, S. I.; CORREA, R. S.; RENELLA, G. **Biosolid Application to Agricultural Land—a Contribution to Global Phosphorus Recycle: A Review.** *Pedosphere*. 27(1): 1–16, 2017.
- USDA, 1993. **Soil Survey Manual.** Revised Edition, United States Department of Agriculture Handbook No. 18, US Department of Agriculture, Washington, DC.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Method 3050 – SW – 846. Microwave assisted Acid digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils.** Washington, D.C.: US Government Printing Office. 1996.
- URBANIAK, M.; WYRWICKA, A.; TOŁOCZKO, W.; SERWECIŃSKA, L.; ZIELIŃSKI, M. **The effect of sewage sludge application on soil properties and willow (*Salix sp.*) cultivation.** *Science Total Environmental*. 586, 66–75. 2017.
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Method 3051A: Microwave assisted acid dissolution of sediments, sludges, soils, and oils. 2. ed.** Washington, D.C.: US Government Printing Office. 1997.
- _____ (USEPA). **Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites.** Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, D.C. 2002.
- _____ (USEPA). **Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge.** Under 40 CFR Part 503. S.1: EPA, 1992 (EPA 625/R - 92/013).
- VAN VUUREN D. P.; BOUWMAN, A. F.; BEUSEN, A. H. W. **Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion.** *Global Environ Chang.* 20: 428–439, 2010.
- VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.
- VON SPERLING, M. **Urban Wastewater Treatment in Brazil.** Inter-American Development Bank, 2016.
- WANG, P.; MENZIES, N.W.; HONGPING, C.; YANG, X.; MCGRATH, S.P.; ZHAO, F.; KOPITTKKE, P.M. **The risk of silver transfer from soil to the food chain is low after long-term (20 years) field applications of sewage sludge.** *Environ. Sci. Technol.* 52, 4901–4909. 2018.
- WEN, G.; WINTER, J. P.; VORONEY, R. P.; BATES, T. E. **Potassium availability with application of sewage sludge, and sludge and manure composts in field experiments.** *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 47, 233–241. 1997

WERNER, C.; PANESAR, A.; RÜD, S.B.; OLT, C.U. **Ecological sanitation: Principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management.** Desalination 248 (2009) 392–401, 2009.

WÓJTOWICZ, A.; JĘDRZEJOWSKI, C.; BIENIOWSKI, M.; DARUL, H. **Model solutions in sludge management.** Bydgoski Dom Wydawniczy Margrafen. ISBN 978-83-63921-56-9, 2013.

WONG, J. W. C.; LI, G. X.; WONG, M. H. **The growth of Brassica chinensis in heavy-metal contaminated sewage sludge compost from Hong Kong.** Bioresour. Technol. 58 309–313. 1996.

YANG, P.; GUO Y.; QIU L. **Effects of ozone-treated domestic sludge on hydroponic lettuce growth and nutrition.** Journal of Integrative Agriculture 2018. 17(3):593–602.

YANG, Y.; WANG, Y.; WESTERHOFF, P.; HRISTOVSKI, K.; JIN, V. L., JOHNSON, M. V. V.; ARNOLD, J. G. **Metal and nanoparticle occurrence in biosolid-amended soils.** Science of the Total Environment 485–486 (2014) 441–449, 2014.

ZUO, W.; GU, C.; ZHANG, W.; XU, K.; WANG, Y.; BAI, Y.; SHAN, Y.; DAI, Q. **Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land.** Science Total Environmental, 2019.

ANEXO I

Figuras do Desenvolvimento Agrônomo em doses crescentes de biofóssido

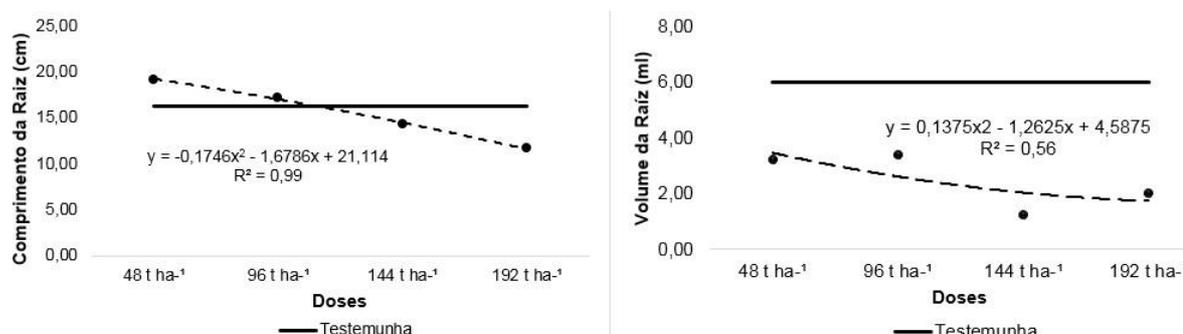


Figura 13 - Comprimento e Volume de Raiz das alfaces cultivadas com doses crescentes de biofóssido de esgoto urbano.

Fonte: Autor.

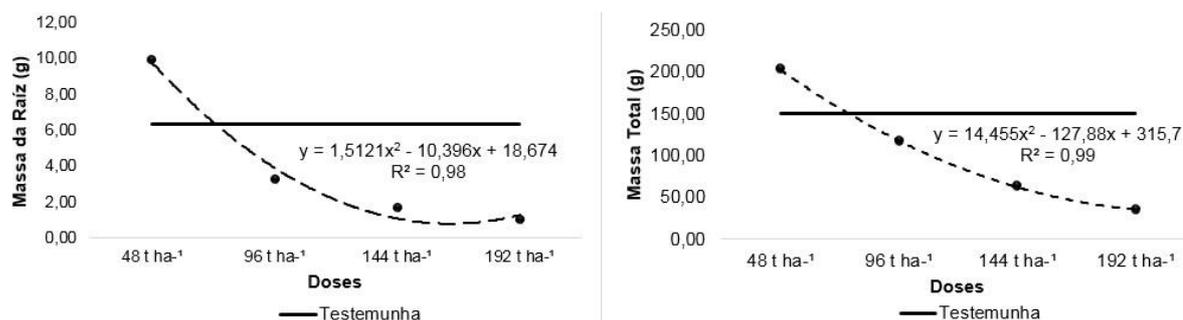


Figura 14 - Massa da Raiz e Massa Total das alfaces cultivadas com doses crescentes de biofóssido de esgoto urbano.

Fonte: Autor.

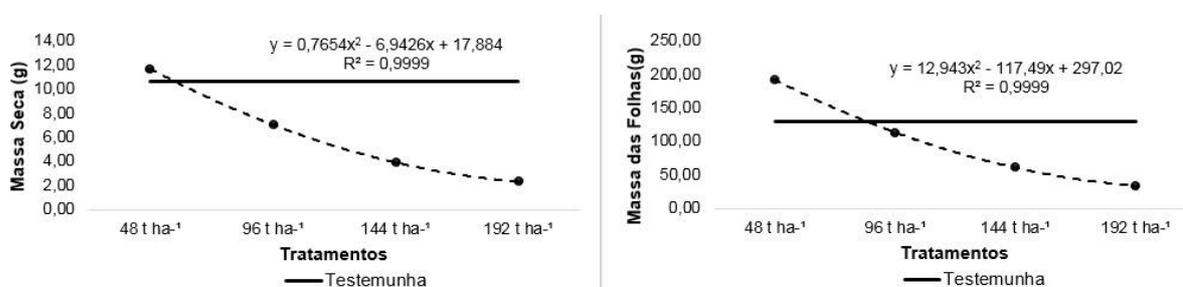


Figura 15 - Massa Seca e Massa das Folhas de alfaces cultivadas com doses crescentes de biofóssido de esgoto urbano.

Fonte: Autor.

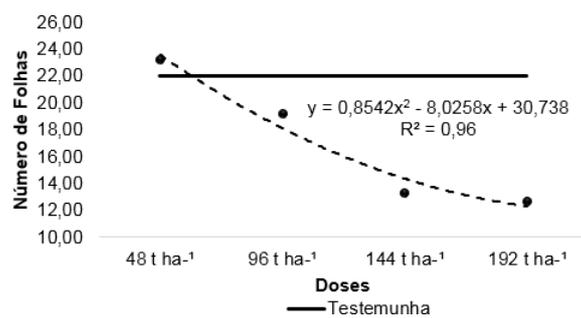


Figura 16 - Número de Folhas de alfaces cultivadas com doses crescentes de biossólido de esgoto urbano.
Fonte: Autor.

ANEXO II

Figuras do Desenvolvimento Agrônomo em doses decrescentes de biofóssido

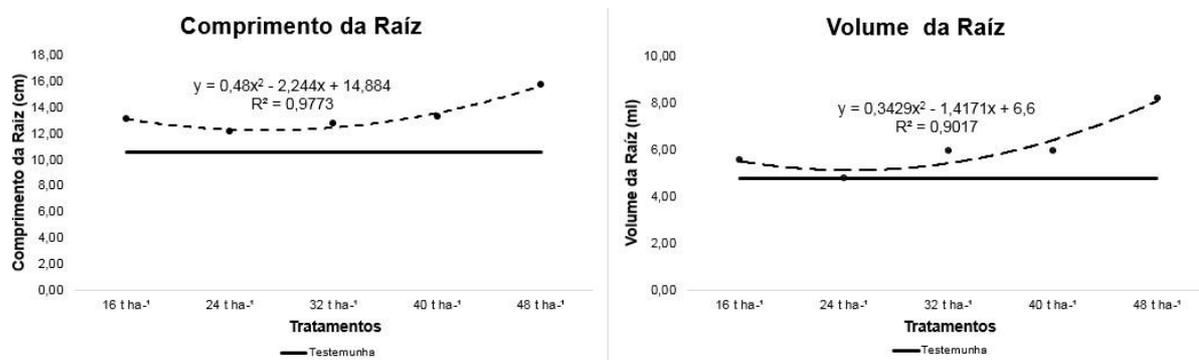


Figura 17 - Comprimento e Volume de Raiz das alfaces cultivadas com doses decrescentes de biofóssido de esgoto urbano.

Fonte: Autor.

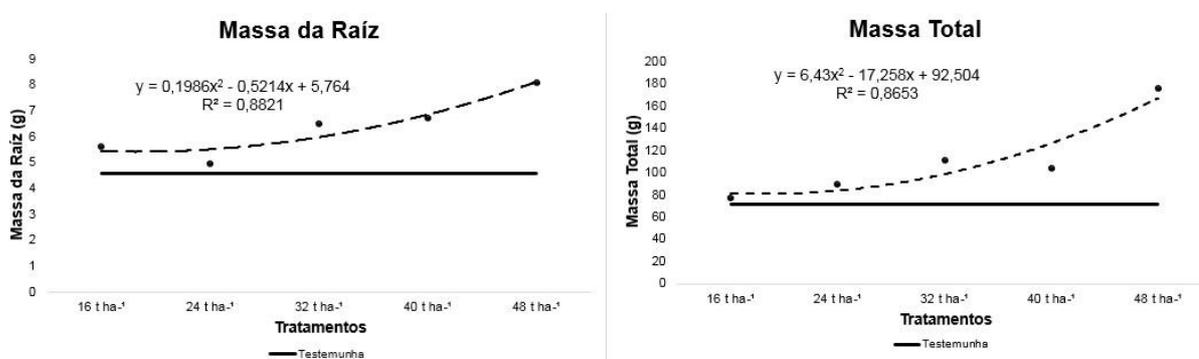


Figura 18 - Massa da Raiz e Massa Total das alfaces cultivadas com doses decrescentes de biofóssido de esgoto urbano.

Fonte: Autor.

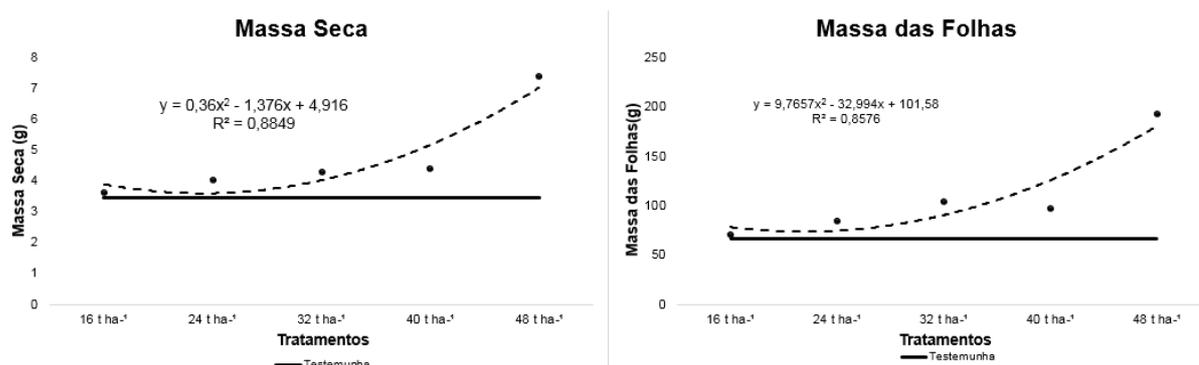


Figura 19 - Massa Seca e Massa das Folhas de alfaces cultivadas com doses decrescentes de biofóssido de esgoto urbano.

Fonte: Autor.

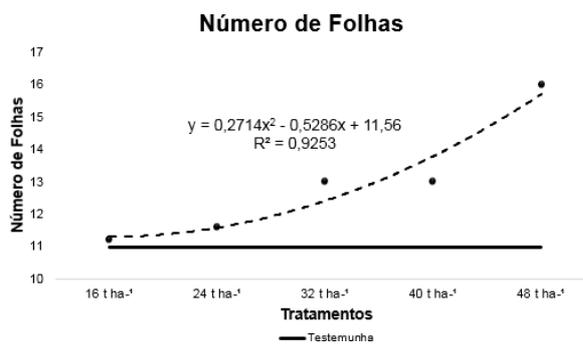


Figura 20 - Número de Folhas de alfaces cultivadas com doses crescentes de biossólido de esgoto urbano.

Fonte: Autor.