

## MODELO COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL AGRONÔMICO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA, BRASIL

### COMPUTATIONAL MODEL FOR EVALUATING THE AGRONOMIC POTENTIAL OF THE SLUDGE GENERATED AT THE SEWAGE TREATMENT PLANT IN THE MUNICIPALITY OF VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA, BRAZIL

Ana Beatriz Meireles Martins Silva<sup>a</sup>, Jamile Gonsalves de Oliveira dos Santos<sup>a</sup>, Francisco Ramon Alves do Nascimento<sup>a</sup>, Luana dos Santos Lima<sup>a</sup>, Leonardo Vincenzo Santos Sarno<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal da Bahia – UFBA

*anabmms@ufba.br, jamile.gonsalves@ufba.br, francisco.ramon@ufba.br, luanal@ufba.br, leonardo.sarno@ufba.br*

Submissão: 16 de dezembro de 2024

Aceitação: 16 de abril de 2025

#### Resumo

O Lodo de Esgoto (LE), principal subproduto oriundo dos sistemas de tratamento de águas residuárias, é um material rico em matéria orgânica e nutrientes, mas possui na composição substâncias químicas e organismos patogênicos que podem representar riscos potenciais para o aproveitamento. Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial agronômico do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto do município de Vitória da Conquista a partir da abordagem de Dinâmica de Sistemas. A metodologia incluiu caracterização da ETE-VCA, revisão bibliográfica, classificação do LE e o desenvolvimento de um modelo computacional de Dinâmica de Sistemas (DS) no *software* Vensim PLE 9.3.5. A classificação do LE seguiu os parâmetros da Resolução CONAMA nº 498/2020, da norma americana 40 CFR Part 503 e da norma europeia Diretiva 86/278/CEE. A ETE-VCA atende cerca de 256 mil pessoas, gerando em média 2.139 toneladas/ano de LE desaguado e estabilizado. A análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostras do LE revelou conformidade com as legislações brasileira e americana para produção de biossólidos Classe A, permitindo o uso agrícola seguro. As simulações indicaram que os biossólidos produzidos poderiam suprir integralmente as necessidades nutricionais dos cultivos de mandioca, banana e maracujá, e parcialmente os cultivos de feijão, em 84,93%, e café em 17,64% nos últimos cinco anos. O aproveitamento do LE em forma de biossólidos promove benefícios como a redução da dependência de fertilizantes convencionais, diminuição dos custos de produção e o melhor aproveitamento de nutrientes em nível regional, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e para a redução do impacto ambiental.

**Palavras-chave:** sustentabilidade; agricultura; biossólidos; Dinâmica de Sistemas.

#### Abstract

The sewage sludge (SS), the main by-product from wastewater treatment systems, is a material rich in organic matter and nutrients. However, its composition includes chemical substances and pathogenic organisms that may pose potential risks for its utilization. This study aimed to evaluate the SS generated at the Vitória da Conquista Wastewater Treatment Plant (WWTP-VCA), Bahia, to analyze its feasibility as a nutrient source for the cultivation of bananas, cassava, beans, coffee, and passion fruit. The methodology included the characterization of the WWTP-VCA, a literature review, classification of the SS, and the development of a System Dynamics (SD) computational model using Vensim PLE 9.3.5 software. The classification of SS followed the parameters of CONAMA Resolution No. 498/2020, the U.S. standard 40 CFR Part 503, and the European Directive 86/278/EEC—regulations that govern the application of biosolids to soil by establishing maximum allowable levels for heavy metals and pathogens. The WWTP-VCA serves approximately 256,000 people, generating an average of 2,139 tons/year of dewatered and stabilized SS. Analyses of the physical, chemical, and microbiological parameters of the SS samples revealed compliance

with Brazilian and U.S. regulations for the production of Class A biosolids, enabling safe agricultural use. Simulations indicated that the biosolids produced could fully meet the nutritional needs of cassava, banana, and passion fruit crops, while partially meeting the needs of bean (84.93%) and coffee (17.64%) crops over the past five years. The use of SS in the form of biosolids offers benefits such as reducing dependence on conventional fertilizers, lowering production costs, and optimizing nutrient use on a regional scale. This contributes to improving soil fertility and reducing environmental impact.

**Key-words:** sustainability; agriculture; biosolids; Systems Dynamics.

## 1 INTRODUÇÃO

A cobertura dos serviços de esgotamento sanitário é um indicador importante de avaliação da saúde pública e do desenvolvimento socioeconômico de uma população. Segundo o Programa Conjunto de Monitoramento (JMP) da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), em 2020, 54% da população mundial tinha acesso adequado ao serviço de esgotamento sanitário. Além disso, cerca de 2 bilhões de pessoas ainda careciam desse serviço básico, e 494 milhões não tinham acesso a nenhum tipo de solução de gestão das excretas, evidenciando-se a necessidade de esforços contínuos para universalização do saneamento.

No contexto nacional, dados do Censo de 2022 revelaram que 62,5% da população residia em domicílios conectados à rede de coleta de esgoto, representando um aumento de 52,8% em relação ao censo de 2010 (IBGE, 2024a). A falta de sistema de esgotamento sanitário adequado resulta no lançamento de esgotos domésticos não tratados em corpos hídricos, o que compromete a qualidade da água e, conseqüentemente, a saúde pública. Segundo levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), em 2013, mais de 110 mil quilômetros de rios no Brasil estavam com qualidade comprometida, caracterizada nas classes de enquadramento 3 e 4, devido aos elevados teores de DBO decorrentes do lançamento de esgotos domésticos tratados ou não (Brasil, 2017).

Neste sentido, sistemas de tratamento de esgoto doméstico desempenham um papel crucial no gerenciamento de esgotos, a partir da remoção de poluentes antes do lançamento em ecossistemas aquáticos locais (Romanello; Santos, 2019). Um dos principais subprodutos do tratamento dos esgotos domésticos é o LE, que representa a maior parte da quantidade de resíduos sólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Globalmente, a

produção de LE tem aumentado significativamente devido à expansão dos sistemas de tratamento de esgoto, demandando soluções inovadoras para o gerenciamento adequado (Bringhenti *et al.*, 2018). Segundo Feng *et al.* (2023), a produção mundial de lodo é de 53 milhões de t.ano<sup>-1</sup>.

A quantidade de LE gerada em uma ETE está diretamente relacionada à população total atendida e ao tipo de tratamento adotado. Nos Estados Unidos, segundo dados divulgados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), em 2022, nos 41 estados em que a agência é autoridade licenciadora, foram gerenciadas cerca de 3,8 milhões de toneladas de lodo seco, das quais 56% foram destinadas para aplicação em solo (terras agrícolas, áreas degradadas, e paisagismo), 26% foram dispostas em aterros sanitários e 16% foram encaminhadas para incineradores (USA, 2024). Na Europa, em 2021, a produção total de lodo seco foi de aproximadamente 8,98 milhões de toneladas, não sendo contabilizado o lodo gerado na Dinamarca, na Itália, na Islândia em Liechtenstein, em Montenegro e na Macedônia do Norte (Eurostat, 2024; Statista, 2024). Desta quantidade, 5,3 milhões de toneladas tiveram destinações, sendo 46,6%, 36,7%, 7,3% e 9% encaminhados, respectivamente, para uso agrícola e compostagem, incineração, aterros sanitários e outras destinações (Eurostat, 2024).

No Brasil estima-se que, em 2015, 81,3 milhões de toneladas de resíduos de serviços públicos de saneamento básico (RSB) foram geradas em sistemas de tratamento de água e esgoto doméstico, sendo 3% (2,45 milhões de toneladas) provenientes de ETEs (Brasil, 2022). No entanto, esse valor foi subestimado devido à falta de dados e informações sobre a geração de LE e as alternativas de gerenciamento em todas as ETEs no país, o que pode dificultar a elaboração e implementação de políticas públicas mais eficazes para o setor. A gestão do LE apresenta uma série de desafios e oportunidades que exigem uma abordagem integrada e estratégica, por parte dos

gestores, uma vez que o tratamento e manejo representam parcela significativa dos custos operacionais das concessionárias de saneamento, que varia entre 20% e 60% do custo total de uma ETE (Moura *et al.*, 2020; Pedroza *et al.*, 2010; Sperling; Fernandes, 2001).

Um dos principais fatores para melhoria da gestão de LE é a compreensão da natureza do material, que pode ser gerido como resíduo ou recurso. Quanto à gestão como resíduo, conforme estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, LE é classificado como resíduos dos serviços públicos de saneamento básico (Brasil, 2010), e caracterizado como resíduo não perigoso e não inerte. Historicamente, a disposição final em aterros sanitários foi a tecnologia adotada em larga escala, no entanto essa alternativa enfrenta crescentes restrições, especialmente em países com legislações ambientais mais rigorosas (Bagheri *et al.*, 2023). No Brasil, a disposição final do LE em aterros sanitários ainda é a prática mais utilizada, no entanto tem se tornado econômica e ambientalmente inviável (Amaral; Aisse; Possetti, 2020; Brighenti *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2021), o que fomenta a criação de sinergias entre setores produtivos para o aproveitamento do material, com promoção de benefícios econômicos, sociais e ambientais para a rede de atores formada.

Quanto à gestão como recurso, a escolha da destinação final do LE deve ser baseada levando-se em consideração fatores técnicos, econômicos, ambientais e legais (Bittencourt; Aisse; Serrat, 2017). O LE é um material rico em nutrientes, matéria orgânica e matéria inorgânica, com potencial para aplicações diversas como produção de tijolos cerâmicos (Silva *et al.*, 2024), produção de briquetes (Oliveira *et al.*, 2017), produção de cimento (Uliasz-Bocheńczyk; Mokrzycki, 2022) e produção agrícola (Hulek; Mołko; Pohořelý, 2022). Por ser um material rico em macronutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), e micronutrientes essenciais para o crescimento vegetal, a aplicação agrícola do LE tem sido a destinação mais praticada no Brasil e no mundo (Cioca *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2021). A preparação do LE para aplicação em solos agrícolas consiste nas etapas de higienização do material e transformação em bio sólido, com garantia da segurança sanitária para manejo e aplicação (Bittencourt; Aisse; Serrat, 2017). Conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 498/2020, os processos de produção de bio sólidos, nas classes A ou B, podem ser

compostagem, secagem térmica, secagem em leitos de areia, tratamento térmico, digestão anaeróbia, estabilização com cal, entre outros (Brasil, 2020a). Os tratamentos têm como objetivo a redução de patógenos, odor e substâncias tóxicas, considerando o potencial agrônômico, a redução de atratividade de vetores, a qualidade físico-química e a qualidade microbiológica (Brasil, 2020a; Martins *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2017). Após o tratamento é necessária a adequação do material para a aplicação no solo, considerando-se as doses de adubação para atendimento das necessidades nutricionais das plantas e minimização da poluição ambiental. Além disso, o monitoramento da aplicação a partir de análises de fitotoxicidade é imprescindível para prevenção da contaminação e impactos ambientais adversos (Cioca *et al.*, 2021).

Nesse contexto, as legislações exercem papel fundamental para as práticas de manejo do LE, a partir do estabelecimento de diretrizes e parâmetros (Bagheri *et al.*, 2023). A Diretiva 86/278/EEC da União Europeia para uso do LE e a Norma de Bio sólidos da EPA, Part 503 (USA, 1993), por exemplo, regulamentam a proteção do solo quanto à aplicação do LE na agricultura. No Brasil, a aplicação do LE no solo é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 498/2020, que define diretrizes para os sistemas de produção e utilização de bio sólido em solos agrícolas (Brasil, 2020a). A comercialização de bio sólidos é regulamentada pela Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece aspectos qualitativos e especificações para produção, comercialização e aplicação de fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura (Brasil, 2020b).

Considerando-se os aspectos relacionados à aplicação agrícola, se faz necessária uma abordagem de gestão que permita a integração dos fatores relacionados à geração do LE, à produção de bio sólidos e à demanda das culturas de uma região. Assim, modelos computacionais, produzidos a partir de abordagens como Dinâmica de Sistemas (DS), podem contribuir na tomada de decisão quanto à gestão de LE para produção agrícola. A DS é baseada no pensamento sistêmico, que visa a compreensão de sistemas a partir da avaliação de interconexões e processos de retroalimentação, que podem atenuar ou intensificar o efeito das variáveis do sistema, em oposição à abordagem linear de avaliação de sistemas isolados (Senge, 1994; Meadows, 2008;

2022).

No contexto da gestão do LE, a DS pode ser aplicada para avaliar o potencial de substituição de fertilizantes sintéticos por biossólidos, considerando a oferta de nitrogênio (N) disponível no LE gerado em uma região, a produção potencial de biossólidos e a demanda de N dos cultivos na região. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial agrônomo do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto do município de VCA a partir da abordagem de DS.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo engloba três etapas, que são: I - Caracterização do local de estudo; II - Revisão da literatura; e III - Construção do modelo computacional.

### I- Caracterização do local de estudo

O município de Vitória da Conquista (VCA) está situado na região sudoeste do estado da Bahia (Figura 1) e abrange um território que ultrapassa 3000 km<sup>2</sup> (Vitória da Conquista, 2019). O município está inserido em uma área que reflete a transição entre os biomas Mata Atlântica e Caatinga, influenciada pela altitude elevada e clima que varia entre úmido, sub-úmido e árido (Bahia, 2024). A topografia de Planalto é predominantemente tabular, típica de superfícies geologicamente antigas e estáveis (Observatório Geográfico de América Latina, 2024). Representando a quinta maior economia da Bahia, VCA é o terceiro maior município em população no estado, com mais de 370 mil habitantes no ano de 2022 (IBGE, 2024b).

A realização do levantamento das culturas em VCA foi feita com base nos dados de tipos de cultivo, em permanente e temporário, produção anual, em toneladas, área colhida, em hectares, e o valor de produção, em reais, que foram extraídos do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Para este estudo, foram selecionadas as cinco principais culturas, ou seja, banana, feijão, café, maracujá e mandioca, com base na representatividade dos valores de produção e das áreas colhidas no município.

A Estação de Tratamento de Esgoto de Vitória da Conquista (ETE-VCA) atende aproximadamente 256 mil pessoas e trata uma carga afluyente de 16.742,3 kg de DBO por dia. O sistema de tratamento é composto por reatores UASB (digestores anaeróbios de fluxo

ascendente) e tanques de aeração (sistema de lodos ativados), com eficiência de remoção de DBO igual a 92%. Na ETE são gerados diariamente 5.860 kg de sólidos suspensos, que correspondem a uma produção anual de aproximadamente 2.139 toneladas de lodo desaguado e estabilizado (Embasa, 2021). O tratamento do LE na ETE-VCA é realizado a partir de dois adensadores, uma centrífuga e *bags* de manta geotêxtil, que são utilizados para armazenamento do lodo gerado. A remoção de lodo dos tanques de aeração é realizada diariamente, com descargas de duas horas, resultando em cerca de 40 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de lodo removido e armazenado em *bags* na área interna da ETE-VCA (Embasa, 2021). As análises microbiológicas e físico-químicas do LE armazenado são realizadas regularmente para monitoramento de sólidos totais, coliformes e ovos de helmintos (Embasa, 2021).

### II - Revisão da literatura

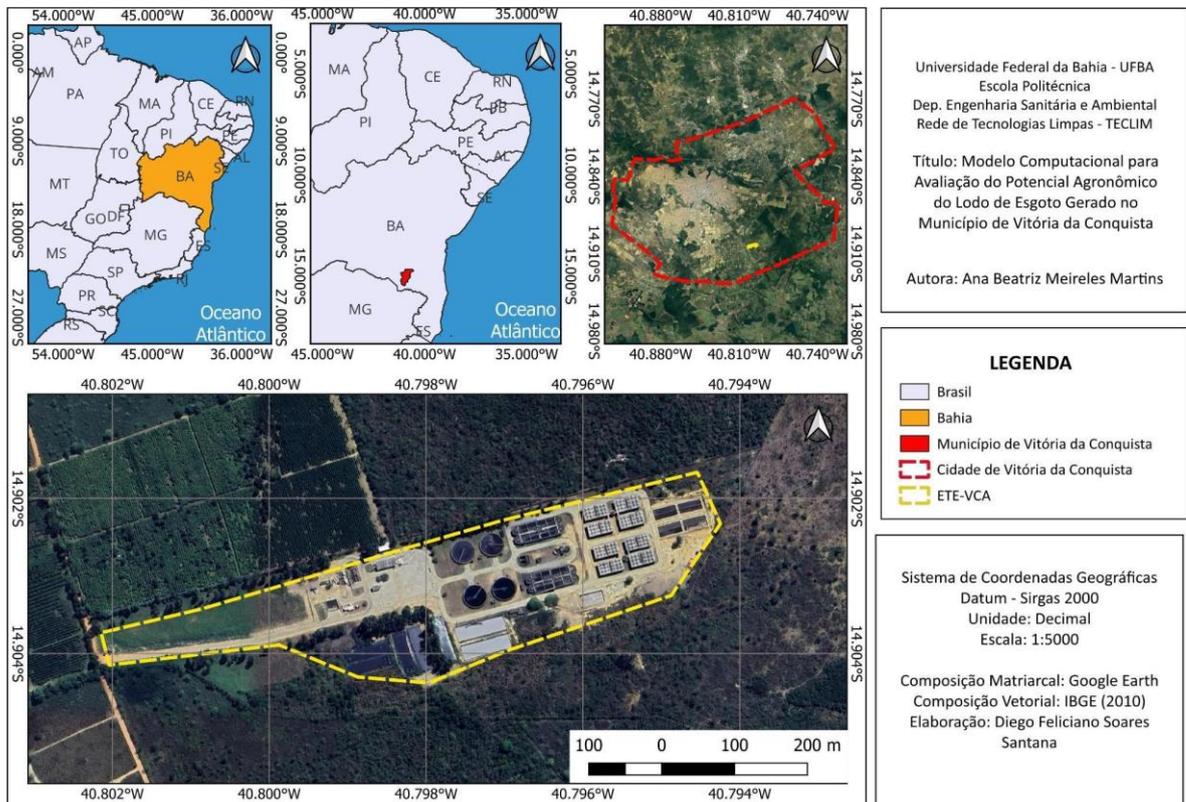
Os dados relacionados à cobertura dos serviços de esgotamento sanitário, geração de lodo de esgoto, produção de biossólidos e demanda nutricional das culturas consideradas nesta pesquisa, foram extraídos de artigos científicos, manuais técnicos e relatórios técnicos de repositórios de empresas relacionadas ao setor de saneamento. A revisão narrativa da literatura foi realizada utilizando as bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Scielo* para a busca de artigos relacionados ao aproveitamento de lodo de esgoto para fins agrícolas. Nas buscas foram utilizadas as palavras-chave *sewage sludge*, *biosolids*, *agronomic potential*, *fertilizer* e *nutrients*, visando a maximização do alcance dos artigos alinhados à temática.

Com base na revisão da literatura, os parâmetros de qualidade do LE da ETE-VCA foram analisados a partir de resultados de outras pesquisas. A avaliação dos parâmetros de restrição para o uso do LE, em solos agrícolas, foi realizada com base nos critérios estabelecidos na Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020), que define valores máximos permitidos (VMP) para organismos patogênicos e contaminantes inorgânicos. As normas da EPA, Part 503 (USA, 1993) e Directivas 86/278/EEC foram utilizadas para comparação com a Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020), com a finalidade de verificar qual legislação é a mais restritiva e classificar o LE produzido na ETE-VCA. Para isto, os dados de VMP dos parâmetros inorgânicos e

microbiológicos estabelecidos nas legislações estadunidense, europeia e brasileira foram

sistematizados em tabela.

**Figura 1** - Mapa da localização da ETE-VCA e do município de Vitória da Conquista-BA



Fonte: autores (2024).

### III - Construção do modelo computacional

O modelo computacional foi construído para a avaliação do potencial de aplicação de bio sólidos a serem produzidos a partir do LE gerado na ETE-VCA, nos cultivos locais, com a utilização do *software* Vensim PLE 9.3.5. O modelo é formado por diagramas específicos (Figuras 2, 3 e 4) para cada variável utilizada para atendimento do objetivo do estudo, considerando-se: a Produção Total de nitrogênio no bio sólido (*PTNBio sólido*) a ser produzido na ETE-VCA, representada na Figura 3; a Demanda Total de N (*DTN*) dos cultivos em VCA, representada na Figura 2; e os Potenciais de Substituição de Fertilizante Sintético Total (*PotTSubsN*) na região e por cultivo específico, representados na Figura 4. Os principais dados utilizados para as simulações são referentes ao período entre os anos 2010 e 2022.

A estimativa da *Prod total LE ETE-VCA* (PTLE) (Equação 1) foi realizada a partir da População atendida pelo Tratamento de Esgoto (PopTE) e da Taxa de produção *per capita* LE

(TxPcLE). A População atendida pelo tratamento de esgoto foi calculada a partir da multiplicação da População urbana atendida com esgotamento sanitário pelo Índice de Tratamento de Esgoto, com dados obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2024. A *Taxa de produção per capita LE* (Equação 2) foi calculada a partir dos dados, referentes ao ano de 2021, da produção de lodo de esgoto de Vitória da Conquista e da população atendida com tratamento de esgoto (Embasa, 2021). Isso porque foi considerada a mesma concepção e eficiência de tratamento da ETE-VCA para todos os anos considerados neste estudo.

$$PTLE = PopTE * TxPcLE \quad (1)$$

Onde:

PTLE: Produção total LE ETE-VCA (kg.ano-1);  
PopTE: População urbana atendida pelo tratamento de esgoto VCA (hab); TxPcLE: Taxa de produção per capita LE VCA (kg.hab-1.ano-1).

**Figura 2** - Diagrama da produção potencial total de N contida nos biossólidos a serem gerados na ETE-VCA



Fonte: autores (2024).

$$TxPcLE = \frac{PopTE21}{PLE21} \quad (2)$$

Onde:

TxPcLE: Taxa de produção per capita LE VCA (kg.hab-1.ano-1);

PLE21: Produção LE de esgoto na ETE-VCA, no ano de 2021 (kg.ano-1); e

PopTE21: População atendida com tratamento de esgoto em VCA, no ano de 2021 (hab).

Com base no laudo da caracterização físico-química do LE (Embasa, 2021), a Concentração de N no Lodo de Esgoto produzido na ETE-VCA (ConcNLE), igual a 3,33%, foi utilizada para determinação da Produção total de N do Lodo de Esgoto de ETE-VCA (PTNLE) (Equação 3). A Produção total N no Biossólido ETE-VCA (PTNBiossólido) foi determinada a partir da Produção total de N do Lodo de Esgoto de ETE-VCA (PTNLE) e da Taxa de volatilização de N Alcalinização (TxVolN) (Equação 4). A taxa de perda de N por volatilização durante os processos de higienização via estabilização alcalina prolongada (EAP) considerada foi de 50% (Carneiro; Sottomaior; Andreoli, 2005).

$$PTNLE = PTLE * ConcNLE \quad (3)$$

Onde:

PTNLE: Produção total de nitrogênio no lodo de esgoto na ETE-VCA (kg.ano-1); PTLE: Produção

total de lodo de esgoto na ETE-VCA (kg.ano-1); e ConcNLE: Concentração de nitrogênio no lodo de esgoto (%).

$$PTNBiossólido = PTNLE * TxVolN \quad (4)$$

Onde:

PTNBiossólido: produção total de nitrogênio no biossólido a ser produzido na ETE-VCA (kg.ano-1); PTNLE: Produção total de nitrogênio no lodo de esgoto na ETE-VCA (kg.ano-1); e TxVolN: Taxa de volatilização de nitrogênio no processo de estabilização alcalina (%).

A DTN para os principais cultivos de VCA foi determinada pela soma das aplicações de N em todas as culturas avaliadas neste estudo (Figura 3), considerando-se a Equação 5. A definição das culturas a serem estudadas foi realizada a partir da análise dos maiores valores de produção entre os anos 2010 e 2022. A aplicação de N em cada cultivo foi determinada a partir da multiplicação da área plantada pela taxa de aplicação de N (Equação 6). Os dados de área plantada e valor de produção de cada cultura em VCA foram obtidos na base de dados do IBGE (2024c). As taxas de aplicação de N (TxAplicNCultivo) foram extraídas do Manual de Adubação e Calagem para o Estado da Bahia (Bahia, 1989), sendo 15, 90, 160, 40 e 40 kg.ha-1.ano-1 para mandioca, banana, maracujá, feijão e café, respectivamente.

$$DTN = AplicTNMandioca + AplicTNBanana + AplicTNMaracujá + AplicTNFeijão + AplicTNCafé \quad (5)$$

Onde:

DTN: Demanda total de N dos principais cultivos de VCA (kg.ano-1); *AplicTNMandioca*: Aplicação total de N no cultivo de mandioca (kg.ano-1); *AplicTNBanana*: Aplicação total de N no cultivo de banana (kg.ano-1); *AplicTNMaracujá*: Aplicação total de N no cultivo de maracujá (kg.ano-1); *AplicTNFeijão*: Aplicação total de N no cultivo de feijão (kg.ano-1); e *AplicTNCafé*: Aplicação total de N no cultivo de café (kg.ano-1).

$$AplicTNCultivo = \frac{DTN}{APCultivo \times TxAplicNCultivo} \cdot 1000 \quad (6)$$

Onde:

*AplicTNCultivo*: Aplicação total de N em cada cultivo (kg.ano-1); *APCultivo*: Área plantada de cada cultivo (ha.ano-1); e *TxAplicNCultivo*: Taxa de aplicação de N em cada cultivo (kg.ha-1).

Para a análise do potencial de substituição de fertilizante sintético por biofósforo total e por cultivo (Figura 3), o potencial de Substituição de N de cada cultura (*PotSubsNCultivo*) foi determinado pela razão entre a Produção Total N Biofósforo VCA (*PTNBiofósforo*) e a aplicação total N de cada cultivo (*AplicTNCultivo*) (Equação 7). O potencial de substituição de N total do município

(*PotTSubsN*) foi determinado a partir da produção total de N no Biofósforo (*PTNBiofósforo*) e da Demanda Total N (DTN) (Equação 8), com a finalidade de avaliar a capacidade de suprimento de N a partir do LE da ETE-VCA quanto a demanda de N dos principais cultivos de VCA.

$$PotSubsNCultivo = \frac{PTNBiofósforo}{AplicTNCultivo} \times 100 \quad (7)$$

$$PotTSubsN = \frac{PTNBiofósforo}{DTN} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

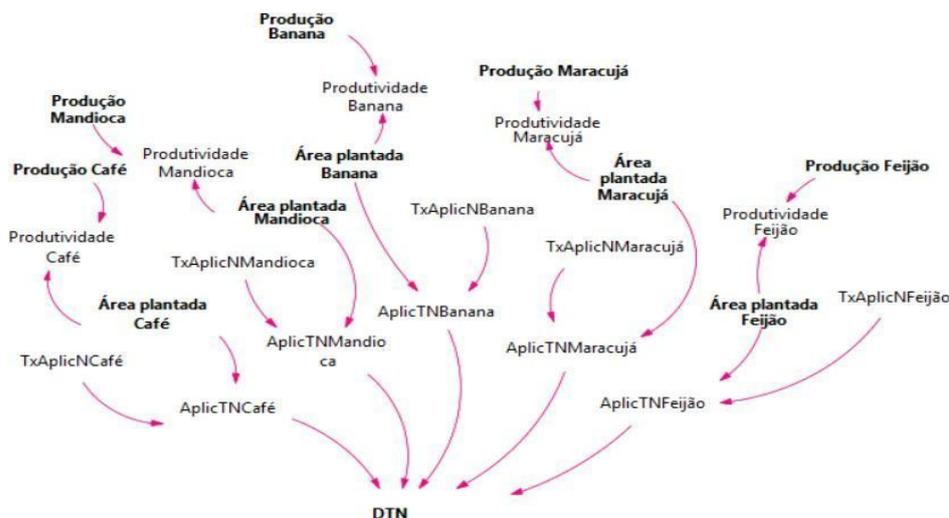
*PotSubsNCultivo*: Potencial de substituição de fertilizante sintético nitrogenado por biofósforo por cultivo (%);

*PotTSubsN*: Potencial total de substituição de fertilizante sintético nitrogenado por biofósforo (%); *AplicTNCultivo*: Aplicação total de N em cada cultivo (kg.ano-1);

DTN: Demanda total de N dos principais cultivos de VCA (kg.ano-1); e

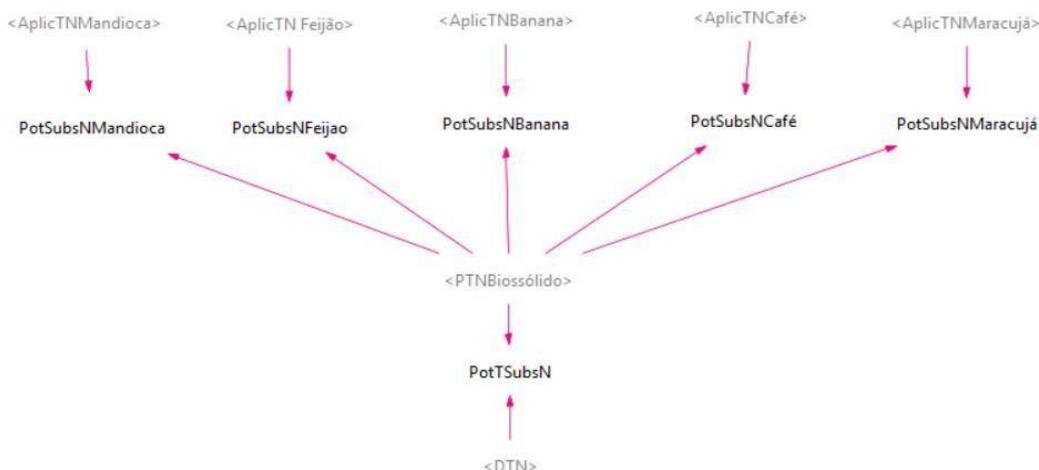
*PTNBiofósforo*: Produção total de nitrogênio no biofósforo a ser produzido na ETE-VCA (kg.ano-1).

Figura 3 - Diagrama de determinação da demanda total de N dos cultivos em VCA



Fonte: autores (2024).

**Figura 4 - Diagrama do Potencial Substituição de fertilizante sintético por biossólidos em VCA**



Fonte: autoria própria com base em dados do IBGE (2024c).

### 3 RESULTADOS

As análises das amostras do LE gerado na ETE-VCA indicaram que as concentrações de N (33,3 g.kg-1), K2O (2,4 g.kg-1), Mg (3,8 g.kg-1), Fe (21,3 g.kg-1), Ca (19,9 g.kg-1) e Mn (0,187 g.kg-1) estavam dentro da faixa de valores encontrados na literatura (Tabela 1), considerando-se: 20 a 35,1 g.kg-1 para N; 0,6 a 2,9 g.kg-1 para K2O; 2,44 a 5,95 g.kg-1 para Mg; 9,3 a 34 g.kg-1 para Fe; 0,33 a 34,8 g.kg-1 para Ca; e 0,11 a 0,377 g.kg-1 para Mn. Os valores para P2O5 (18,1 g.kg-1) e Zn (0,96

g.kg-1) estavam acima dos reportados na literatura, considerando-se as faixas de 6,0 a 16,06 g.kg-1 e 0,076 a 0,894 g.kg-1 para P2O5 e Zn, respectivamente. Já os valores de Na (0,2 g.kg-1), S (25,0 g.kg-1) e CO (189,5-250,0 g.kg-1) estavam menores que os valores reportados na literatura. Assim, o macronutriente presente em maior quantidade no LE é o N, elemento mais demandado pelas culturas e de maior valor econômico agregado, o que pode viabilizar o uso do LE para a produção de biossólidos (Lins; Lima, 2022).

**Tabela 1 - Concentração dos parâmetros agrônômicos e condicionadores de solo do lodo desidratado da ETE-VCA em comparação com valores da literatura**

Parâmetros Agrônômicos	Unidade	Concentrações			
		Embasa (2021)	Pereira et al. (2020a)	Santos et al. (2017)	Lins e Lima (2022)
pH	-	4,74	3,8	5,9	-
Nitrogênio total (N)	g.kg-1	33,3	30,0	35,1	20-24,9
Fósforo (P2O5)	g.kg-1	18,1	6,0	16,06	7,9-10,7
Potássio (K2O)	g.kg-1	2,4	0,6	2,9	1,2-2,7
Cálcio (Ca)	g.kg-1	19,9	12,0	34,8	0,33-1,8
Enxofre (S)	g.kg-1	14,1	25,0	-	-
Magnésio (Mg)	g.kg-1	3,8	3,7	3,30	2,44-5,95
Ferro (Fe)	g.kg-1	21,3	34,0	-	9,3-24,6
Manganês (Mn)	g.kg-1	0,187	0,377	0,11	0,143-0,275
Zinco (Zn)	g.kg-1	0,96	0,076	0,894	0,233-0,545
Sódio (Na)	g.kg-1	0,2	0,423	1,85	-
Carbono orgânico (CO)	g.kg-1	117,0	250,0	189,5	-

Fonte: autores (2024).

O LE é formada principalmente por matéria orgânica, nutrientes como P, N, K, Ca (Amorim Junior et al., 2021; Breda et al., 2020; Carvalho et al., 2015), grupos funcionais como lipídios, carboidratos, proteínas e compostos inorgânicos como areia, argila e silte (Moura et al., 2020). No entanto, o LE também possui alta concentração de organismos patogênicos e metais pesados que podem incidir em contaminação química e biológica, se não tratados corretamente (Breda et al., 2020; Feitosa et al., 2023).

Quanto aos aspectos restritivos, na Resolução Conama nº 498 (Brasil, 2020) foram estabelecidos os limites de metais pesados em biossólidos destinados ao uso no solo (Tabela 2)

como Cd (39 mg.kg<sup>-1</sup>), Pb (300 mg.kg<sup>-1</sup>) e Hg (17 mg.kg<sup>-1</sup>), sendo semelhante à legislação americana 40 CFR Part 503 (Brasil, 2020a; United States, 1993). Contudo, os limites brasileiros são mais rigorosos para Se (36 mg.kg<sup>-1</sup>), em comparação aos 100 mg.kg<sup>-1</sup> permitidos nos Estados Unidos. Na União Europeia, regulada pela Diretiva 86/278/CEE, os critérios são menos restritivos para a maioria dos metais, como Hg (16-25 mg.kg<sup>-1</sup>), Pb (750-1200 mg.kg<sup>-1</sup>), Cu (1000-1750 mg.kg<sup>-1</sup>) e Zn (2500-4000 mg.kg<sup>-1</sup>), permitindo flexibilidade na aplicação de biossólidos em solos agrícolas (European Union, 1986).

**Tabela 2** - Comparação dos parâmetros inorgânicos do LE da ETE-VCA com VMP estabelecidos nas legislações brasileira, americana e europeia

Parâmetros Inorgânicos (mg/kg-1)	Concentração Lodo Úmido Bag	Valores Máximos Permitido (VMP)		
	(Embasa, 2021)	CONAMA nº 498/2020 (Classe 1)	40 CFR Part 503 (Valores médios mensais)	Directiva 86/278/CEE
Arsênio (As)	7,6	41	41	-
Bário (Ba)	1107	1300	-	-
Cádmio (Cd)	2,5	39	39	20-40
Chumbo (Pb)	91	300	300	750-1200
Cobre (Cu)	441	1500	1500	1000-1750
Cromo (Cr)	-	1000	-	-
Mercúrio (Hg)	< 0,45	17	17	16-25
Molibdênio (Mo)	8,8	50	-	-
Níquel (Ni)	33	420	420	300-400
Selênio (Se)	< 9,1	36	100	-

Fonte: autores (2024).

A abordagem mais flexível quanto aos limites de metais pesados em biossólidos, estabelecidos pela norma europeia, permite ajustes baseados nas condições específicas de solos e cultivos. Essa estratégia considera fatores como pH, textura do solo e capacidade de retenção de metais e busca o uso seguro para maximizar o aproveitamento do material (European Union, 1986). Já na Resolução Conama nº 498 (Brasil, 2020) foram estabelecidos os limites fixos para

metais pesados, priorizando-se a uniformidade nos critérios e a proteção ambiental, em um contexto de aplicação agrícola, considerando-se as abordagens de dupla barreira de proteção e avaliação quantitativa de risco microbiológico (AQRM) (Paes; Ferreira-Santos; Dias, 2023).

Na regulamentação 40 CFR Part 503, os limites fixos e controle cumulativo são combinados, o que permite certa flexibilidade nas práticas, desde que sejam atendidas as exigências para

segurança do solo e da saúde pública (United States of America, 1993). A avaliação e monitoramento de metais pesados é fundamental, considerando-se que são tóxicos mesmo em baixas concentrações e podem provocar contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, e impactar negativamente a cadeia alimentar. Vale ressaltar que concentrações de metais pesados são um fator limitante para determinação da quantidade de biossólido a ser aplicado no solo (Domini et al., 2022). Como os valores de metais pesados no LE gerado na ETE-VCA foram obtidos a partir do relatório fornecido pela Embasa, com apenas uma amostragem, no ano de 2021, recomenda-se a realização de análises periódicas do lodo a ser doado para monitoramento dos níveis de metais pesados, com a finalidade de assegurar conformidade legal.

Conforme os parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020), o LE tratado na ETE-VCA atende aos requisitos para produção de biossólidos classe 1, já que as concentrações de metais pesados estão abaixo dos VMPs estabelecidos na legislação para os parâmetros As, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se e Zn. Desta forma, a qualidade do LE da ETE-VCA pode permitir a utilização em solos a longo prazo de forma segura. Vale ressaltar que a legislação americana possui os valores médios mensais para concentração de parâmetros inorgânicos semelhantes aos VMPs estabelecidos na Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020) para classe 1, enquanto na norma europeia foram estabelecidos valores superiores para Cd, Pb, Cu, Zn e Hg e valor inferior para Ni.

Referente aos parâmetros microbiológicos, as legislações apresentaram diferenças significativas, o que pode refletir nos contextos e prioridades regionais. Na norma 40 CFR Part 503 (United States of America, 1993) foram especificados parâmetros microbiológicos claros, incluindo coliformes fecais e ovos de helmintos, com limites distintos para classes de uso. Para a Classe A, que permite uso irrestrito, exige-se que concentrações de coliformes fecais estejam abaixo de 1.000 NMP/gST e ovos de helmintos viáveis menor que 0,25 ovo/gST. Para a Classe B, de uso restrito, concentrações de coliformes fecais devem ser inferiores a  $2 \times 10^6$  NMP/gST. Além disso, na norma foram indicados tratamentos que garantem a eliminação (Classe A) ou a redução significativa (Classe B) de patógenos.

Na Diretiva 86/278/CEE (European Union, 1986) não foram especificados os limites

quantitativos para parâmetros microbiológicos, focando na redução de riscos químicos associados ao uso de lodo. Na diretiva foi estabelecida a necessidade de tratamento adequado para evitar riscos à saúde pública, mas deixa a cargo de cada país membro a possibilidade de adoção de regulamentações mais rigorosas conforme condições locais. Essa abordagem mais flexível contrasta com a rigidez normativa dos Estados Unidos e do Brasil, permitindo maior adaptação às realidades de cada país europeu.

Na Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020) foram apresentados os critérios microbiológicos específicos, incorporando coliformes termotolerantes e ovos de helmintos viáveis como parâmetros obrigatórios. Para a Classe A, destinada ao uso irrestrito, o limite estabelecido para concentração de coliformes termotolerantes foi inferior a  $1,0 \times 10^3$  NMP/gST; e para ovos de helminto viáveis menor que 1 ovo/gST. Para a Classe B, de uso restrito, os limites são de até  $10^6$  NMP/gST para coliformes termotolerantes, porém não foi especificado o padrão de qualidade quanto aos ovos de helmintos para esta classe.

Na comparação entre as três legislações, destaca-se a abrangência das normativas brasileira e americana ao incluir ovos helmintos como parâmetro obrigatório, algo ausente na regulamentação europeia. Em relação aos coliformes termotolerantes, tanto nos EUA quanto no Brasil, os limites foram estabelecidos de forma clara, enquanto na União Europeia exige-se que o lodo passe por tratamentos antes do uso agrícola visando à redução de patógenos, mas não especifica claramente os padrões para o tratamento ou os níveis aceitáveis de microrganismos após o processo. Além disso, as normas americana e brasileira compartilham a diferenciação entre classes de uso, definindo padrões mais rigorosos para a Classe A e restrições para a Classe B, enquanto a diretiva europeia não faz tal distinção. Os valores para concentrações de coliformes termotolerantes iguais a  $1,50 \times 10^2$  NMP/gST e de ovos de helmintos menor que 0,25 ovo/gST, das amostras do LE desidratado da ETE-VCA, indicaram que as concentrações estavam dentro dos padrões de segurança exigidos para produção de biossólidos Classe A, considerando tanto a Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020) quanto a norma 40 CFR Part 503 (United States of America, 1993), como se pode observar na Tabelas 3.

Considerando-se a produção total de LE e o teor de N das amostras, a quantidade total de N

disponível no LE, no período estudado, variou entre 44,43 t.ano<sup>-1</sup> e 84,95 t.ano<sup>-1</sup>. Partindo-se do princípio que durante o processo de produção de biossólidos, via EAP, ocorre perda de aproximadamente 50% da quantidade de N, devido à volatilização de amônia, a quantidade total de N disponível seria entre 22,22 t.ano<sup>-1</sup> e 39,24 t.ano<sup>-1</sup>. Já as quantidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O disponíveis no LE variaram de 24 t.ano<sup>-1</sup> a 45,9 t.ano<sup>-1</sup> e 3,06 t.ano<sup>-1</sup> a 6,12 t.ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os dados referentes às áreas de cultivo de

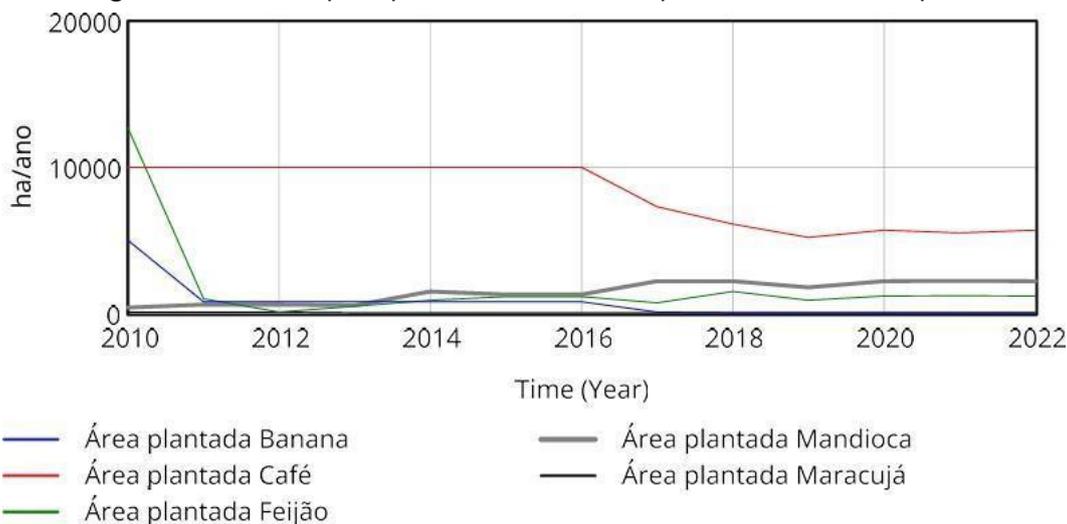
Vitória da Conquista evidenciaram que, ao longo dos anos, o café se tornou o principal plantio a partir de 2010, abrangendo 10000 ha de área plantada (Figura 5), ultrapassando o feijão que anteriormente ocupava essa posição e sofreu uma significativa redução da produção entre os anos de 2010 e 2011. A mandioca alcançou a segunda maior área de cultivo, a partir de 2011, atingindo 2200 ha em 2022. As áreas destinadas aos cultivos de banana e maracujá são as menores, com redução de 5000 ha para 40 ha e de 100 ha para 40 ha, respectivamente .

**Tabela 3** - Comparação entre as concentrações dos parâmetros microbiológicos no Lodo ETE-VCA e os valores máximos permitidos nas legislações brasileira e americana

Parâmetros Microbiológicos	Concentração Lodo Úmido nos Bags (Embasa, 2021)	Valores Máximos Permitido (VMP)			
		CONAMA nº 498/2020		40 CFR Part 503	
		Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
Coliformes Termotolerantes (NMP/gST)	1,50 x 10 <sup>2</sup>	1,0 x 10 <sup>3</sup>	1,0 x10 <sup>6</sup>	1,0 x 10 <sup>3</sup>	2,0 x10 <sup>6</sup>
Ovos Viáveis de Helmintos (ovo/gST)	< 0,25	< 1	-	< 0,25	-

Fonte: autores (2024).

**Figura 5** - Área dos principais cultivos do município de Vitória da Conquista



Fonte: autores (2024).

O solo predominante em VCA é o Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e Álico, que oferece boas condições físicas e morfológicas, mas possui limitações como baixa fertilidade natural e acidez (Observatório Geográfico de América Latina, 2024). Neste sentido, o uso de corretivos e

fertilizantes é importante para a manutenção da fertilidade do solo necessária para os cultivos da região. As simulações geradas indicaram que o biossólido produzido a partir do LE da ETE-VCA, atenderia parcialmente à demanda de nutrientes requerida pelos cultivos de feijão, suprindo cerca

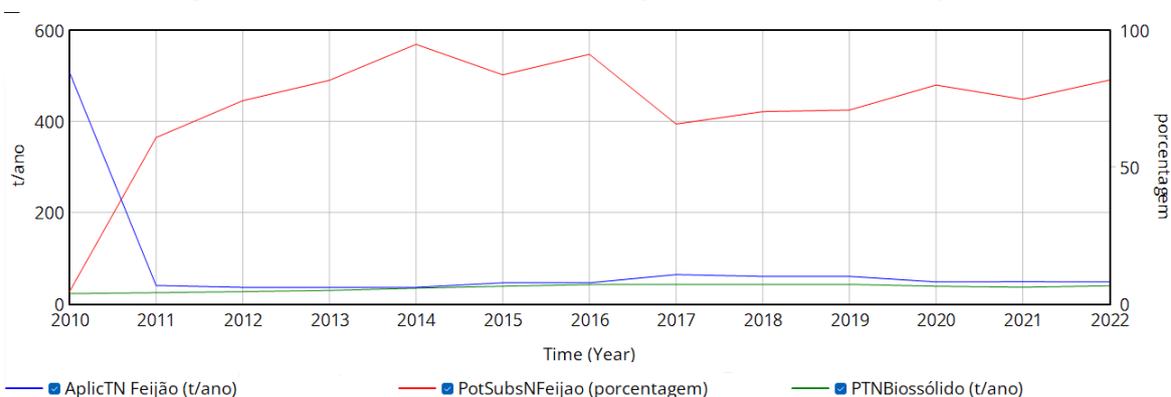
de 82% das necessidades nutricionais no ano de 2022 e, em média, 74,75% ao longo dos 12 anos analisados (Figura 6).

Estudos de aplicação de biossólidos em feijoeiros evidenciaram que o biofertilizante pode estimular a formação de nódulos e fixar N<sub>2</sub> em plantas noduladas pelas estirpes nativas de rizóbio, bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> favorecendo a assimilação do nutriente pelas plantas (Vieira; Tsai; Teixeira, 2004). Nascimento et al. (2005) relataram que a aplicação do biossólido em cultivos de feijão promoveu a diminuição do pH, o aumento dos teores de matéria orgânica, do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e de micronutrientes como Ca e Mg no solo. Quanto aos metais pesados, as concentrações de Zn, Cu, Mn, Fe e Pb nos solos e nas plantas, estiveram abaixo dos limites fitotóxicos estabelecidos para utilização agrícola, viabilizando a aplicação do biossólido nos solos sem maiores riscos de contaminação.

No cultivo de maracujá, o biossólido produzido teria a capacidade de suprir a demanda total dos plantios em todos os anos avaliados em até 5 vezes ao longo do período, chegando até 6,6

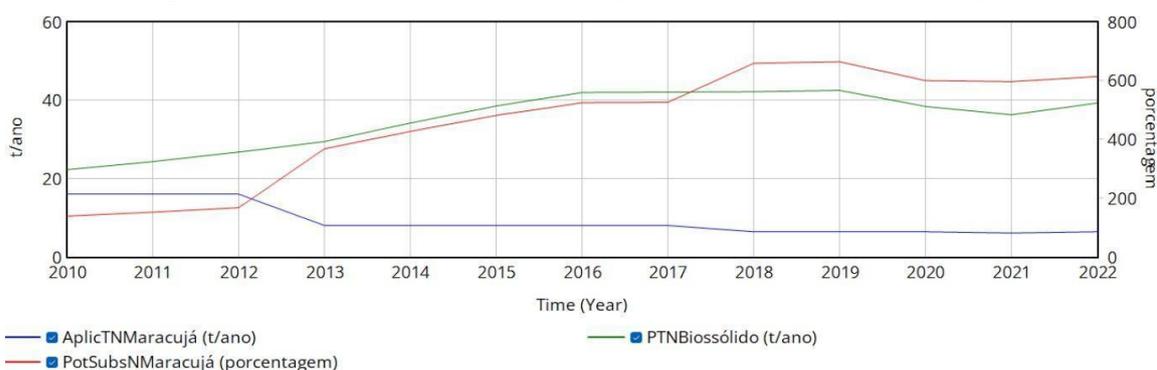
vezes à área plantada em 2019 (Figura 7). Pesquisas sobre aplicação de biossólidos em cultivos de maracujá constataram a eficácia no atendimento das necessidades nutricionais da cultura, beneficiando o crescimento de mudas de maracujazeiros da espécie *passiflora alata curtis* (Freitas et al., 2015). Estudos realizados por Zacarias et al. (2016) avaliaram doses de adubação de mudas produzidas e concluíram que as plantas cultivadas com doses de 25% a 50% apresentaram comprimento total das plantas compatível com a média de plantas produzidas com fertilizantes convencionais. Esses resultados corroboram com os resultados de Pereira et al. (2020a), que utilizaram a dosagem de 50% de LE para mudas de maracujá amarelo, que apresentou os melhores desempenhos nos parâmetros de altura da planta, diâmetro do colo e número de folhas. Esses resultados destacam a eficácia dessa proporção em equilibrar a disponibilidade de nutrientes e as propriedades físicas do substrato, promovendo o desenvolvimento saudável das mudas.

**Figura 6 - Análise do potencial substituição de N no cultivo de feijão**



Fonte: autores (2024).

**Figura 7 - Análise da potencial substituição de N no cultivo de Maracujá**



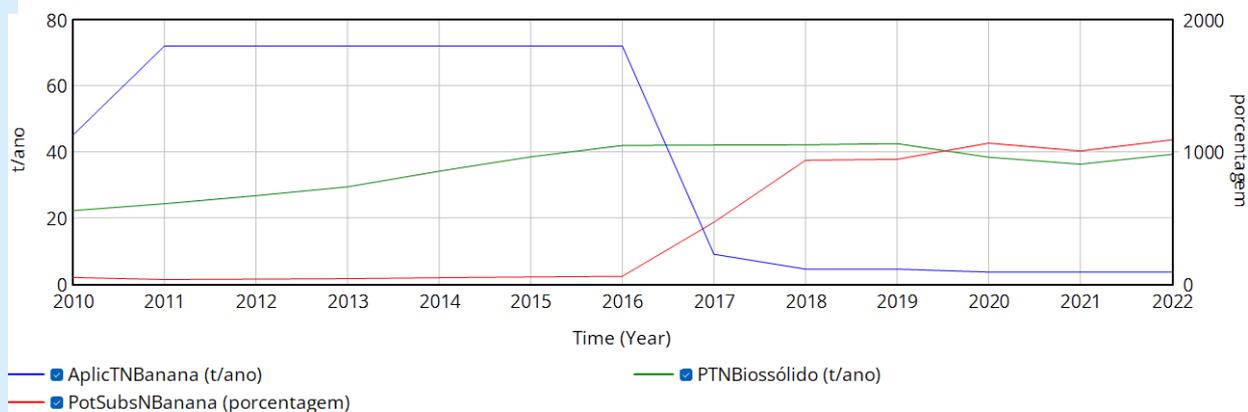
Fonte: autores (2024)

O cultivo de banana teria a demanda parcialmente atendida variando de 4,91% a 58,25% entre 2010 e 2016, e completamente atendida entre 2017 e 2022, com cobertura de até 10 vezes o requerido na área plantada em 2022 (Figura 8). Esse aumento de cobertura após 2016 deve-se à considerável redução da área cultivada a partir deste ano. O estudo realizado por Durán et al. (2023) investigou o uso de biossólidos como fertilizantes orgânicos no cultivo de bananas e concluíram que houve benefícios significativos na fertilidade do solo e melhorias na composição nutricional da fruta. As bananas cultivadas com biossólido apresentaram teor de umidade de 86% a 87% superior à média de 76%, e teores de

potássio (538 mg/100 g a 4-580 mg/100 g) maior do que bananas cultivadas com fertilizantes convencionais (275 mg/100 g a 534 mg/100 g).

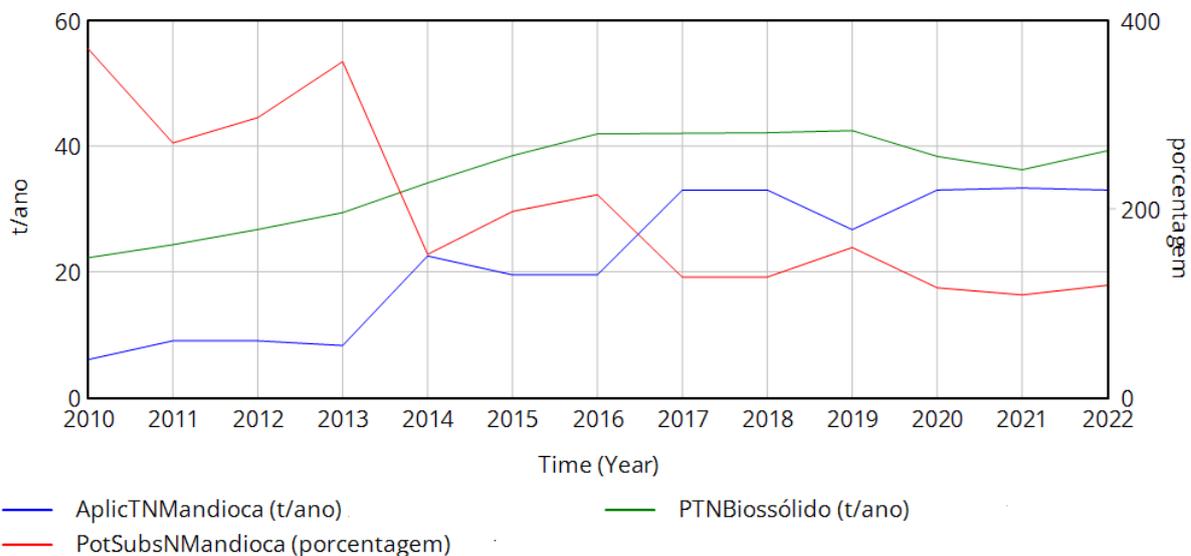
Nos cultivos de mandioca, a produção de biossólido atenderia completamente a demanda durante todos os anos estudados, com média de cobertura de até 3 vezes o tamanho da área de plantio ao longo do período, e superior a 100% da demanda total em 2022 (Figura 9). É importante ressaltar que em plantios de vegetais cuja parte comestível tenha contato direto com o solo, não pode ser realizada aplicação de biossólido em período inferior a 1 mês antes da colheita (Brasil, 2020a).

**Figura 8 - Análise da potencial substituição de N no cultivo de Banana**



Fonte: autores (2024).

**Figura 9 - Análise da potencial substituição de N no cultivo de Mandioca**



Fonte: autores (2024).

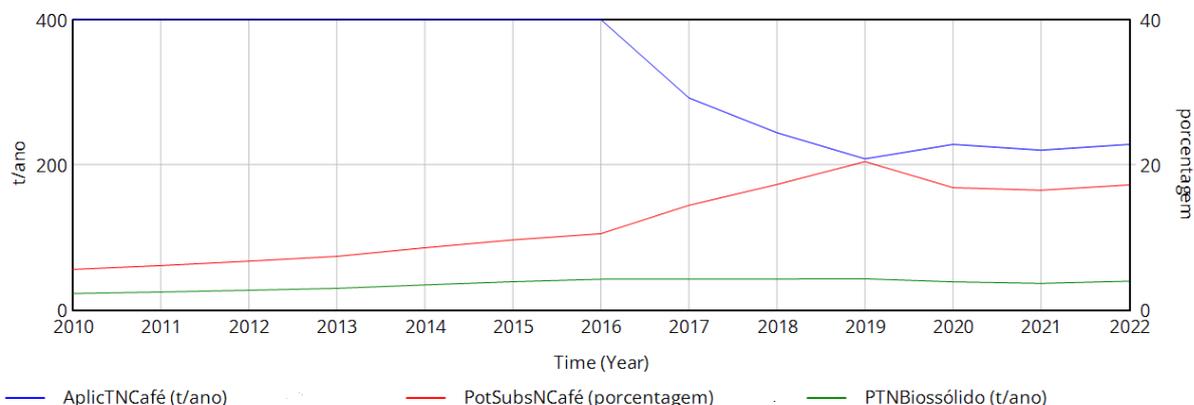
O cultivo de café foi o único cuja demanda não foi completamente atendida em nenhum dos anos estudados, apresentando média de cobertura de 10% ao longo do período e 17% em 2022 (Figura 10). Isso se deve à extensa área plantada em comparação com os demais cultivos. O café não exige a maior taxa de aplicação de N para suprir as necessidades nutricionais, sendo doses inferiores às dos cultivos de maracujá e banana, e semelhantes às do feijão. O uso de biossólidos como complemento para adubação em cultivos de café apresentou resposta positiva em estudos realizados, mantendo a produtividade dos plantios (Martins et al., 2015). Outro benefício identificado na literatura foi a redução de alumínio (Al<sup>3+</sup>) no solo devido à cal presente no material que contribuiu para a correção da acidez e a insolubilidade do Al<sup>3+</sup>, sendo reduzido a teores próximos de zero (Costa et al., 2010).

Considerando-se a geração de LE na ETE-VCA dos últimos cinco anos, a disponibilidade de N do biossólido produzido teria potencial para suprir em média 12,63% da demanda total de N dos cultivos avaliados. Essa quantidade de nutriente teria suprido as demandas individuais

dos cultivos de mandioca, banana e maracujá e, parcialmente, as demandas de N das plantações de feijão e de café, em cerca de 84,93% e 17,64%, respectivamente, nos últimos cinco anos.

Os dados apresentados indicaram que as oportunidades de sinergia entre os setores saneamento e agrícola podem trazer benefícios econômicos e socioambientais significativos para o município de Vitória da Conquista, como a redução da demanda por fertilizantes químicos e a gestão sustentável do LE gerado no processo de tratamento de esgoto. É importante salientar, que a produção de biossólidos é uma atividade passível de licenciamento ambiental, que exige a implementação de uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), responsável pelo processamento, caracterização, transporte e monitoramento do biossólido, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 498 (Brasil, 2020), sendo necessária a elaboração do plano de gerenciamento contendo informações detalhadas sobre as características do biossólido produzido, as áreas e cultivos prioritários em que será realizada a aplicação do material (Brasil, 2020a).

**Figura 10 - Análise da potencial substituição de N no cultivo de Café**



Fonte: autores (2024).

A aplicação de biossólidos em solos agrícolas apresenta barreiras e oportunidades. Dentre as barreiras identificadas, destacam-se a ausência de políticas de integração entre os setores e a aceitação pública do uso do material, que por vezes associa o uso de LE a riscos de contaminação, dificultando a aceitação por parte da população (Lins; Lima, 2022). Além disso, os custos de tratamento e logísticos, especialmente para o transporte do biossólido até áreas rurais, também são desafios significativos (Amaral; Aisse; Posseti, 2020). Por outro lado, a parceria entre

produtores rurais e concessionárias de saneamento tem sido promissora, possibilitando a gestão sustentável do LE e contribuindo para a oferta de nutrientes beneficiando a produção agrícola (Bittencourt; Aisse; Serrat, 2017).

No estado do Paraná, o programa de destinação do lodo para uso agrícola, implementado desde 2007, já destinou 420 mil toneladas de LE aplicadas em mais de 3 mil ha (SANEPAR, 2024a). No ano de 2022, 157 agricultores foram atendidos pelo programa com cerca de 23 mil toneladas de LE higienizado e

relatarem que a experiência foi positiva, resultando em benefícios financeiros com a redução dos custos de produção com a economia na compra de fertilizantes convencionais e de calcário para a correção do pH do solo (SANEPAR, 2024b).

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo sugerem que o LE gerado na ETE-VCA possui características agronômicas desejáveis para produção de biossólidos classe A, para aplicação como fertilizante e condicionador de solo. O uso dos biossólidos reduz a dependência de fertilizantes convencionais e contribui para a diminuição dos custos de adubação. Além de demonstrar a viabilidade da utilização do LE na agricultura, este estudo pode fornecer subsídios para contribuir com a redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários, mitigando impactos ambientais e diminuindo os custos operacionais associados à disposição final.

Os dados obtidos sugerem que a ETE estudada possui potencial para atender às demandas dos principais cultivos do município de Vitória da Conquista/BA. Além de demonstrar a viabilidade da utilização do lodo de esgoto como biossólido na agricultura, este estudo fornece subsídios para mitigar os impactos ambientais negativos associados aos métodos convencionais de gerenciamento desse material no estado da Bahia.

Para garantir a segurança e eficiência da aplicação dos biossólidos é fundamental a realização de testes periódicos para monitorar os níveis de nutrientes, assegurando-se que permaneçam dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação vigente. Ressalta-se que, os parâmetros físico-químicos do LE variam de acordo com as condições socioeconômicas e o tipo de tratamento da região, podendo ser encontrados diversos valores na literatura. Para estudos futuros, pretende-se realizar estudos adicionais para avaliar a viabilidade técnica da aplicação dos biossólidos nos cultivos locais, bem como quantificar os benefícios agronômicos e ambientais advindos dessa prática.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos o financiamento para a realização desta pesquisa, possibilitada por bolsas concedidas pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo Programa

Milton Santos e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O apoio foi fundamental para a viabilidade de todas as etapas do estudo, promovendo o avanço científico e contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

AMARAL, K. G. C.; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Análise do custo de ciclo de vida do tratamento e destinação final do lodo e biogás, provenientes de ETE que emprega reatores do tipo UASB. *Revista DAE*, v. 68, n. 226, p. 6-17, out./dez. 2020. Disponível em: [https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_226\\_n\\_1907.pdf](https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_226_n_1907.pdf). Acesso em: 12 nov. 2024.

AMORIM JUNIOR, S. S.; MAZUCATO, V. S. H.; MACHADO, B. S.; GUILHERME, D. O.; COSTA, R. B.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. Agronomic potential of biosolids for a sustainable sanitation management in Brazil: nutrient recycling, pathogens and micropollutants. *Journal of Cleaner Production*, v. 289, n. 3, p. 125708, dec. 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/348052047\\_Agronomic\\_potential\\_of\\_biosolids\\_for\\_a\\_sustainable\\_sanitation\\_management\\_in\\_Brazil\\_Nutrient\\_recycling\\_pathogens\\_and\\_micropollutants](https://www.researchgate.net/publication/348052047_Agronomic_potential_of_biosolids_for_a_sustainable_sanitation_management_in_Brazil_Nutrient_recycling_pathogens_and_micropollutants). Acesso em: 12 nov. 2024.

BAGHERI, M.; BAUER, T.; BURGMAN, L. E.; WETTERLUND, E. Fifty years of sewage sludge management research: mapping researchers motivations and concerns. *Journal of Environmental Management*, v. 325, Part A, p. 116412, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116412>.

BAHIA. Comissão Estadual de Fertilidade de Solos. Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia. 2. ed. revista e aumentada. Salvador: CEPLAC/ EMATERBA/ EMBRAPA/ EPABA/ NITROFÉRTIL, 1989, p. 173. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/145390>. Acesso em: 8 nov. 2024.

BAHIA. Instituto do Patrimônio Artístico e Cultural da Bahia. Sistema de Informações do Patrimônio Cultural da Bahia (SIPAC). Território de

Identidade: Vitória da Conquista. Disponível em: <http://patrimonio.ipac.ba.gov.br/territorio/vitoria-da-conquista/>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 6, p. 1129–1139, nov./dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017156260>.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF: Ministério das Cidades/ANA, 2017, 92 p. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/964>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. 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 União, seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 14 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define os critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ano 2020, n. 161, Seção 1, p. 265-269, 21 ago. 2020a. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=515&pagina=265&data=21/08/2020&captchafield=firstAccess>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, 10 jul. 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>.

Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: MMA, 2022. Disponível em: [https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obr-as-atividades/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano\\_nacional\\_de\\_residuos\\_solidos-1.pdf](https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obr-as-atividades/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf). Acesso em: 19 out. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Série Histórica. Site institucional, 2024. Disponível em: <http://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/>. Acesso em: 8 abr. 2024.

BREDA, C. C.; SOARES, M. B.; TAVANTI, R. F. R.; VIANA, D. G.; FREDDI, O. S.; PIEDADE, A. R.; MAHL, D.; TRABALLI, R. C.; GUERRINI, I. A. Successive sewage sludge fertilization: recycling for sustainable agriculture. Waste Management, v. 109, p. 38-50, may. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.045>.

BRINGHENTI, J. R.; BOSCOV, M. E. G.; PIVELI, R. P.; GÜNTHER, W. M. R. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 5, p. 891–899, out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018124980>.

CARNEIRO, C.; SOTTOMAIOR, A. P.; ANDREOLI, C. V. Dinâmica de nitrogênio em lodo de esgoto sob condições de estocagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 6, p. 987–994, dez. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000600016>.

CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. M. Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences, Recife, PE, v. 10, n. 3, p. 413–419, 2015. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/pdf/1190/119041746013.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

CIOCA, L.-I.; CIOMOȘ, A.-O.; ȘEITOAR, D.; DRUȚĂ, R. M.; DAVID, G. M. Industrial Symbiosis through the Use of Biosolids as Fertilizer in Romanian Agriculture. *Recycling*, v. 6, n. 3, p. 59, sep. 2021. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/354441321\\_Industrial\\_Symbiosis\\_through\\_the\\_Use\\_of\\_Biosolids\\_as\\_Fertilizer\\_in\\_Romanian\\_Agriculture](https://www.researchgate.net/publication/354441321_Industrial_Symbiosis_through_the_Use_of_Biosolids_as_Fertilizer_in_Romanian_Agriculture). Acesso em: 12 nov. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). Produzido pela Sanepar, lodo do esgoto vira alternativa sustentável para agricultura. Disponível em:

<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Produzido-pela-Sanepar-lodo-do-esgoto-vira-alternativa-sustentavel>

-para-agricultura. Acesso em: 13 nov. 2024a.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). Programa de destinação agrícola do lodo de esgoto. Disponível em:

<https://site.sanepar.com.br/sustentabilidade/destinacao-agricola-lodo-esgoto>. Acesso em: 13 nov. JM 2024b.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S.; PEREIRA, A. C. C.; LIMA, M. F.; MATTOS, C. N. Influência da aplicação de lodo de estação de tratamento de esgoto, tratado com cal virgem, na produtividade do café arábica. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10, 2010, Maceió: ABES, 2010. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3102/1/adubacao-com-lodo-de-esgoto-e-m-cafe-arabica.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.

DOMINI, M. et al. Sewage Sludge Quality and Management for Circular Economy Opportunities in Lombardy. *Applied Sciences*, v. 12, n. 20, p. 10391, oct. 2022. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/364405769\\_Sewage\\_Sludge\\_Quality\\_and\\_Management\\_for\\_Circular\\_Economy\\_Opportunities\\_in\\_Lombardy](https://www.researchgate.net/publication/364405769_Sewage_Sludge_Quality_and_Management_for_Circular_Economy_Opportunities_in_Lombardy)

Circular\_Economy\_Opportunities\_in\_Lombardy. Acesso em: 11 nov. 2024.

ROMANELLO, M. V. D.; SANTOS, M. F. G. O saneamento básico como direito fundamental:

Uma análise jurídica dos desafios enfrentados na cidade de Salvador/Ba. *Revista do Curso de Direito do Unifor*, v. 10, n. 2, p. 1-24, 2019.

Disponível em:

<https://www.revistas.uniformg.edu.br/cursodireitouniformg/article/view/999/1122>. Acesso em: 8 nov. 2024.

DURÁN, A. J. M. et al. Aprovechamiento de los biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas urbanas en agricultura. Estudio de caso en República Dominicana. *Revista DELOS*, v. 13, n. 37,

p. 1-16, dez. 2022. Disponível em:

<https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/689/679>. Acesso em: 8 nov. 2024.

EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E SANEAMENTO S.A. Relatório Projeto Piloto (Experimento): doação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Vitória da Conquista para uso agrícola como biosólido em lavouras de café. Vitória da Conquista: Embasa, 2021. 24 p.

EUROPEAN UNION. Directive no 86/278/EEC, of June 12, 1986. Concerning the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. *Official Journal of the European Communities*, Brussels, 1986. Disponível em:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/NIM/?uri=CELEX:31986L0278>. Acesso em: 14 out. 2024.

EUROSTAT. Sewage sludge production and disposal. Luxembourg: European Statistical Office, 2019. Disponível em:

[https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env\\_ww\\_spd](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/env_ww_spd). Acesso em: 8 nov. 2024.

FEITOSA, M. C. A. et al. Use of sewage sludge for the substitution of fine aggregates for concrete. *Journal of Composites Science*, v. 7, n. 1, p. 21, jan. 2023. DOI:

<https://doi.org/10.3390/jcs7010021>. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/366990447\\_Use\\_of\\_Sewage\\_Sludge\\_for\\_the\\_Substitution\\_of\\_Fine\\_Aggregates\\_for\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/366990447_Use_of_Sewage_Sludge_for_the_Substitution_of_Fine_Aggregates_for_Concrete)

\_Fine\_Aggregates\_for\_Concrete. Acesso em: 11 nov. 2024.

FENG, J. et al. Assessing metal contamination

and speciation in sewage sludge: implications for soil application and environmental risk. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 22, p. 1037-1058, oct. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-023-09675-y>. Acesso em: 14 out. 2024.

FREITAS, A. R. et al. Emergência e crescimento de mudas de maracujá doce em função de lodo de esgoto e luz. *Comunicata Scientiae*, v. 6, n. 2, p. 234-240, 2015. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/675826611/745-Article-Text-4888-4905-10-20150708>. Acesso em: 14 out. 2024.

HUĽEK, M.; MOĽKO, J.; POHOŘELÝ, M. Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: current state-of-the-art. *Journal of Environmental Management*, v. 315, n. 115090, aug. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115090>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados. Vitória da Conquista (BA). Rio de Janeiro: IBGE, 2024a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista>. Acesso em: 14 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2022: rede de esgoto alcança 62,5% da população, mas desigualdades regionais e por cor e raça persistem. Matéria de Igor Ferreira, 2024b. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-per-sistem>. Acesso em: 2 dez. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados do Brasil. Site institucional. Rio de Janeiro: IBGE, 2024c. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/pesquisa/15/11863>. Acesso em: 14 out. 2024.

LINS, T. C.; LIMA, A. S. T. Lodo de Esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci - AL. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 8, p. e13511830461, 2022.

DOI: 10.33448/rsd-v11i8.30461. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30461>.

Acesso em: 14 out. 2024.

MARTINS, D. et al. Estado nutricional de cafeeiros comerciais após aplicações de lodo de esgoto como condicionador do solo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 58, n. 3, p. 248-256, 2015. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/289555123\\_Estado\\_nutricional\\_de\\_cafeeiros\\_comerciais\\_apo](https://www.researchgate.net/publication/289555123_Estado_nutricional_de_cafeeiros_comerciais_apo)

[s\\_aplicacoes\\_de\\_lodo\\_de\\_esgoto\\_como\\_condicionador\\_do\\_solo](https://www.researchgate.net/publication/289555123_Estado_nutricional_de_cafeeiros_comerciais_apo). Acesso em: 14 out. 2024.

MARTINS, S. F. Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para fins agrícolas na estação de tratamento de esgoto de Botucatu-SP. *Revista Energia na Agricultura*, v. 36, n. 2, p. 218-229, jun. 2021. DOI:

<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2021v36n2p218-229>. Disponível em:

<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/4214/3064>. Acesso em: 14 out. 2024.

MEADOWS, D. H. *Thinking in Systems: A primer*. London, UK: Earthscan, 2008. 240 p. MEADOWS, D. H. *Pensando em sistemas*. 1. ed. Rio de Janeiro: Sextante, 2022. 256 p.

MOURA, A. F. F. et al. Reaproveitamento energético do lodo de estação de tratamento de esgoto – uma revisão. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, v. 6, n. 5, p. 740-747, dez. 2020. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/348464201\\_REAPROVEITAMENTO\\_ENERGETICO\\_DO\\_LO](https://www.researchgate.net/publication/348464201_REAPROVEITAMENTO_ENERGETICO_DO_LO)

[DO\\_DE\\_ESTACAO\\_DE\\_TRATAMENTO\\_DE\\_ESGOTO\\_-](https://www.researchgate.net/publication/348464201_REAPROVEITAMENTO_ENERGETICO_DO_LO)

[UMA\\_REVISAO\\_REVIEW\\_ENERGY\\_REUSE\\_OF\\_SEWAGE\\_TREATMENT\\_PLANT\\_SLUDGE](https://www.researchgate.net/publication/348464201_REAPROVEITAMENTO_ENERGETICO_DO_LO). Acesso em: 14 out. 2024.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200017>

OBSERVATÓRIO GEOGRÁFICO DE AMÉRICA LATINA. Geomorfologia do Planalto de Vitória da Conquista. Disponível em:

<http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Geomorfologia/05.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

OLIVEIRA, R. S. et al. Briquettes production for use as power source for combustion using charcoal thin waste and sanitary sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 24, n. 11, p. 10778–10785, apr. 2017. DOI: 10.1007/s11356-017-8695-0

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaração Universal dos Direitos Humanos. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 24 set. 2024.

PAES, L. J. S.; FERREIRA-SANTOS, J.; DIAS, E. H. O. Utilização agrícola de biossólidos: Análise crítica da Resolução CONAMA n° 498/2020. *Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica*, p. 439-455, ago. 2023. Disponível em: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/82819>. Acesso em: 14 out. 2024.

PEDROZA, M. M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, v. 11, p. 89-188, 2010.

PEREIRA, I. D. S. et al. Agricultural use and pH correction of anaerobic sewage sludge with acid pH. *Journal of Environmental Management*, v. 275, p. 111203, dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111203>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720311282?via%3DiHub>. Acesso em: 14 out. 2024.

PEREIRA, I. M. et al. Evaluation of the Potential of Sewage Sludge for Manufacturing Substrate for Passion Fruit Seedlings. *Journal of Agricultural Science*, v. 12, n. 4, p. 262, mar. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/339942807\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Potential\\_of\\_Sewage\\_Sludge\\_for\\_Manufacturing\\_Substrate\\_for\\_Passion\\_Fruit\\_Seedlings](https://www.researchgate.net/publication/339942807_Evaluation_of_the_Potential_of_Sewage_Sludge_for_Manufacturing_Substrate_for_Passion_Fruit_Seedlings). Acesso em: 14 out. 2024.

SANTOS, D. S. et al. Efeito da secagem em leito nas características físico-químicas e microbiológicas de lodo de reator anaeróbio de fluxo ascendente usado no tratamento de esgoto

sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 341–349, mar./abr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016100531>.

SENGE, P. M. *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Nova York, NY: Doubleday/Currency, 1994. 412 p.

SILVA, J. B. et al. Reciclagem de lodo de esgoto municipal de estações de tratamento de efluentes brasileiras para fabricação de tijolos cerâmicos ecologicamente corretos. *Estudos de Caso em Materiais de Construção*, v. 21, p. 3610, 2024.

SHARMA, B. et al. Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste management*, New York, NY, v. 64, p. 117–132, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/315466837\\_Agricultural\\_utilization\\_of\\_biosolids\\_A\\_review\\_on\\_potential\\_effects\\_on\\_soil\\_and\\_plant\\_grown](https://www.researchgate.net/publication/315466837_Agricultural_utilization_of_biosolids_A_review_on_potential_effects_on_soil_and_plant_grown). Acesso em: 14 out. 2024.

SPERLING, M. von; FERNANDES, F. *Lodo de Esgoto: Tratamento e Disposição final*. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, p. 484, 2001.

STATISTA. Generation of sewage sludge in Europe from 2005 to 2020. Julho de 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1393771/sewage-sludge-generation-europe/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

VITÓRIA DA CONQUISTA. Prefeitura Municipal. Plano Estratégico Vitória da Conquista 2020: Etapa I - Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano e Agência Reguladora Municipal. Salvador: PMVCA/FEP, 2019. 174 p. Disponível em: [https://www.pmvc.ba.gov.br/wp-content/uploads/PMVC\\_Produto\\_01\\_Plano\\_Trabalho\\_Maio2018.pdf](https://www.pmvc.ba.gov.br/wp-content/uploads/PMVC_Produto_01_Plano_Trabalho_Maio2018.pdf). Acesso em: 14 out. 2024.

ULIASZ-BOCHEŃCZYK, A.; MOKRZYCKI, E. The use of waste in cement production in Poland – the move towards sustainable development. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi - Mineral Resources Management*, v. 38, n. 3, p. 67-81, 2022. Disponível em: <https://gsm.min-pan.krakow.pl/pdf-153539-80800?filename=The%20use%20of%20waste%20>

0in.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND; WORLD HEALTH ORGANIZATION. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene, 2000-2020. 2021. [Programa Conjunto de Monitoramento da OMS/UNICEF]. Disponível em: <https://washdata.org/reports>. Acesso em: 11 nov. 2024.

UNITED STATES. 40 CFR Part 503: Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. Code of Federal Regulations. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency, 1993.

UNITED STATES OF AMERICA. Environmental Protection Agency. Biosolids Biennial Report N. 9 (Reporting Period 2020-2021). Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/biosolids/biennial-report-no-9-reporting-period-2020-2021>. Acesso em: 11 nov. 2024.

VIEIRA, R.; TSAI, S. M.; TEIXEIRA, M. A. Nodulação e fixação simbiótica de nitrogênio em feijoeiro com estirpes nativas de rizóbio, em solo tratado com lodo de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 10, p. 1047-1050, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001000015>.

ZACARIAS, A. et al. Avaliação de mudas de maracujá produzidas em diferentes doses de lodo de esgoto via intervalo de confiança. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 17; ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 7, São José dos Campos, 2016, Universidade do Vale do Paraíba. Anais [...]. São José dos Campos: Univap, 2016. Disponível em: [https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2017/anais/arquivos/RE\\_0577\\_0929\\_01.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_0577_0929_01.pdf). Acesso em: 11 nov. 2024.