

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS NA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS E AGENTES ETIOLÓGICOS EM AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO COMO FERRAMENTA PARA SEU USO NA AGRICULTURA**INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS AND ETIOLOGICAL AGENTS IN SEWAGE SLUDGE SAMPLES AS A TOOL FOR THEIR USE IN AGRICULTURE**

FONSECA, Jemima Gonçalves Pinto¹; EITERER, Lucas Prudêncio²; OTENIO, Marcelo Henrique³; PASSOS, Leônidas Paixão⁴; SILVA, Júlio César José^{5*}

^{1,5} Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Química

² Centro de Ensino Superior, Departamento de Biologia

^{3,4} Embrapa Gado de Leite de Juiz de Fora, Laboratório de Biotecnologia e Fisiologia Vegetal

* *Autor correspondente*
e-mail: julio.silva@ufjf.edu.br

Received 27 November 2019; received in revised form 22 January 2020; accepted 23 January 2020

RESUMO

O trabalho verificou ao longo de 24 meses, a influência da temperatura e da precipitação pluviométrica sobre os níveis de nutrientes e metais pesados em amostras de lodo de esgoto coletadas na Estação de Tratamento de Esgoto de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. Os resultados revelaram altos teores de nitrogênio (4,7-5,2 %), fósforo (1,4-2,2 %), potássio (0,076 - 0,106 %), magnésio (0,113-0,386 %), ferro (1,84-5,03 %) e zinco (38,2 - 6902,1 mg kg⁻¹). Para a maioria das amostras investigadas a concentração de zinco ficou acima do valor máximo permitido (2.800 mg Kg⁻¹). As concentrações de Arsênio cádmio, cromo, cobre e chumbo ficaram abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação. As análises parasitológicas identificaram coliformes termotolerantes (0,49-160 NMP g⁻¹) e ovos de helmintos, porém, em quantidades abaixo do permitido pela legislação. Esses resultados são um indicativo da eficiência do processo de tratamento do esgoto empregado. Adicionalmente, os resultados demonstraram influência significativa dos parâmetros meteorológicos sobre as concentrações de nitrogênio, cobre, chumbo, zinco e agentes patogênicos no lodo. Os resultados demonstraram também forte correlação entre as concentrações de cobre, chumbo e zinco, indicando que a presença desses elementos no lodo de esgoto tem origem comum. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso da matriz investigada como fertilizante quando coletada em períodos chuvosos, quando favorece a diluição dos elementos presentes em suas formas solúveis.

Palavras-chave: *Elemento Tóxicos, Nutrientes, Contaminação, Variação Sazonal*

ABSTRACT

The influence of temperature and rainfall on nutrient levels, heavy metals, and etiologic agents in sludge samples collected at the Sewage Treatment Station of Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil, was verified over 24 months. The results showed high levels of nitrogen (4.7-5.2%), phosphorus (1.4-2.2%), potassium (0.076-0.106%), magnesium (0.113-0.386%), iron 5.03% and zinc (38.2-6902.1 mg Kg⁻¹). For most of the investigated samples, the concentration of zinc was above the maximum allowed value (2,800 mg Kg⁻¹). The concentrations of arsenic, cadmium, chrome, copper, and lead were below the maximum values allowed by the legislation. Parasitological analyzes identified thermotolerant coliforms (0.49-160 NMP g⁻¹) and helminth eggs (1 egg), however, in amounts less than allowed by legislation. These results are indicative of the efficiency of the sewage treatment process. The results showed a significant influence of the meteorological parameters on the concentrations of nitrogen, copper, lead, zinc and pathogens in the sludge. The results also showed a strong correlation between the concentrations of copper, lead and zinc indicating that the presence of these elements in the sewage sludge has a common origin. The results demonstrated the feasibility of using the investigated matrix as fertilizer when collected in rainy periods when

it favors the dilution of the elements present in their soluble forms.

Keywords: *Toxics Elements, Nutrients, Contamination, Seasonal Variation*

1. INTRODUÇÃO

No que diz respeito a gestão de águas residuais em todo mundo, hoje, a destinação do lodo de esgoto (LE) é considerada um dos principais desafios ambientais (CHEN e KUO, 2016). Sua composição predominantemente orgânica pode contribuir para a manutenção da fertilidade do solo, em função da elevada concentração de nutrientes (Sharma, *et al.*, 2017). Uma alternativa que vem sendo considerada viável em muitos países é a utilização desta matriz como fertilizante em processos agrícolas, em função da elevada concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, descritos na literatura como macronutrientes essenciais para as espécies vegetais (Kelessidis e Stasinakis, 2012). Esta premissa se torna relevante, desde que os teores de metais pesados e agentes patogênicos presentes estejam de acordo com as condições propostas na legislação ambiental vigente (Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA] 375 de 29 de agosto de 2006).

Um aspecto importante na avaliação desses materiais é a realização de estudos específicos para cada ETE, em virtude das diferenças que ocorrem na composição mineral do LE conforme - dentre outros fatores - a localização geográfica e os procedimentos de coleta e manejo. As avaliações sazonais e as correlações entre os teores de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto com os parâmetros meteorológicos são importantes para estabelecer os períodos em que a coleta dessa matriz seria apropriada para a utilização agrícola, e os períodos de alerta, em que seria necessário um controle mais rigoroso dessas concentrações, quer no produto obtido (LE), quer nas fontes geradoras (Pinheiro e Sígolo, 2007; Kasina *et al.*, 2017).

Poucos trabalhos têm discutindo o impacto dos parâmetros meteorológicos sobre os teores de nutrientes e metais pesados no LE. Chen *et al.* (2017) avaliou, por exemplo, a relação temporal entre 5 parâmetros presentes no LE dos EUA e confirmou uma correlação negativa entre 3 estudados com a temperatura. Kasina *et al.* (2017) estudaram as mudanças sazonais na composição química e mineralógica de resíduos

de processo de incineração do LE e constataram diferenças para alguns analitos especialmente durante o verão.

No Brasil, Pinheiro e Sígolo (2007) realizaram um estudo da influência da precipitação pluviométrica em São Paulo no teor de metais pesados em LE, e encontraram correlação estatística apenas com Ni e Zn. Nenhum dos trabalhos citados, no entanto, avaliou a influência de parâmetros sazonais nas concentrações de agentes patogênicos, que são listados como um dos 4 critérios de padrão essenciais para avaliação de um LE destinado a processos agrícolas (CONAMA, 2006).

Considerando a necessidade de métodos alternativos para a disposição final do LE e a escassez de matérias-primas para a fabricação de fertilizantes, o presente trabalho teve como objetivo investigar a influência sazonal sobre a concentração de nutrientes, metais pesados e agentes patogênicos no lodo, visando obter uma importante ferramenta de avaliação da viabilidade da utilização deste resíduo como fonte potencial de nutrientes para cultivos agrícolas. A introdução deve apresentar o problema, as razões para a realização do trabalho, as hipóteses ou previsões que estão sendo consideradas e um histórico de maneira clara e compreensível. Não deverá conter equações ou notações matemáticas. Deverá constar uma breve pesquisa da literatura que seja relevante ao trabalho de modo que um leitor não-especialista possa compreender o significado dos resultados apresentados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

Juiz de Fora é a terceira cidade mais populosa do Estado de Minas Gerais, com uma área total de 1.429,875 km², distribuídos em 446,551 km² de área urbana e 983,324 km² de área rural, na Mata Atlântica. O clima da região é o tropical de altitude, com dois períodos distintos, o quente e chuvoso (outubro a abril) e o frio e seco (maio a setembro). A população segundo censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2016 gira em torno de

559.636 habitantes. Além do fluxo de veículos, a região apresenta diversos setores industriais, que incluem atividades de fabricação de produtos têxteis, alimentos e bebidas e setores de metalurgia e montagem de veículos, tornando-se assim um importante pólo comercial e industrial no Estado de Minas Gerais (Portal PJF, 2018). A cidade gera o equivalente a 124 L de esgoto/habitante-dia, ou seja, aproximadamente 3700L de esgoto por cada pessoa em um mês, o que transforma a destinação do resíduo em uma problemática ambiental urgente.

2.2. Coleta e acondicionamento das amostras

As amostras foram coletadas mensalmente na ETE da Companhia de Saneamento de Juiz de Fora (CESAMA –JF), unidade Mercedes – Benz/Barreira do Triunfo, a partir de janeiro de 2015 até dezembro de 2016. Para o acondicionamento do resíduo, utilizaram-se frascos de polietileno previamente descontaminados em solução de HNO₃ 10% v/v durante 24 horas. No laboratório a amostra foi estocada em geladeira, a 4 °C e em seguida foram preparadas para análise. Para todas as análises, foram quarteadas, secas em estufa a 40 °C por 3 dias, peneiradas em peneiras de aço inox com malha de 2 mm e maceradas em gral de ágata com pistilo para completa homogeneização.

2.3. Instrumentação e técnicas analíticas

Com o objetivo de identificar quais elementos poderiam ser empregados como indicadores da influência de parâmetros meteorológicos sobre a concentração de espécies tóxicas nas amostras de LE foi realizada uma varredura inicial usando um espectrômetro de emissão óptica em plasma indutivamente acoplado (ICP AES) modelo Optima™ 7000DV (Perkin Elmer – Waltham, MA, USA). As técnicas utilizadas neste trabalho para a determinação sazonal dos analitos escolhidos estão sintetizadas no mapa conceitual descrito na Figura 1.

2.4. Reagentes e curvas analíticas

Todos os reagentes utilizados foram grau analítico e as soluções preparadas com água deionizada (ELGA Optimus Milipore), com resistividade igual a 18,2 MΩ.cm e menos que 2

µg·L⁻¹ de carbono orgânico total (TOC). Para o preparo das soluções padrões intermediárias de Cu, Cr, Fe, K, Mg, P, Pb e Zn foram usadas soluções padrões monoelementares de 1000 mg L⁻¹ em meio HNO₃ 2% v/v (MERCK). As faixas de concentrações para as curvas analíticas foram: P (2-40 mg·L⁻¹), K (2-30 mg·L⁻¹), Cu, Cr e Pb (0,1 – 4 mg·L⁻¹), Fe e Zn (0,5 – 8 mg·L⁻¹) e Mg (0,06 – 6 mg·L⁻¹). Todas as vidrarias foram descontaminadas em solução de HNO₃ (Isotar, Duque de Caxias, RJ) 10% v/v por no mínimo 24 horas

2.5. Preparo das amostras

Para a digestão das amostras de LE empregou-se o método oficial do *Deutsches Institut für Normung* (DIN EM) 13346. Para a análise de P empregou-se o método utilizado por Salinas e Garcia (1985). Utilizou-se o método de Kjeldhal para a concentração de N (Yanu e Jakmune, 2017).

2.6. Figuras de Mérito

Os limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) instrumentais nas análises por espectrometria de absorção atômica por chama (FAAS) foram calculados multiplicando o desvio padrão de 10 leituras do branco analítico por 3 e 10, respectivamente, e dividindo-se o resultado pelo coeficiente angular da curva analítica. Para calcular os valores de LD e LQ do método proposto, utilizou-se um fator de correção considerando a massa de LE utilizada no método e o volume final da amostra digerida, considerando também os fatores de diluição envolvidos. Para as técnicas de espectrometria por emissão atômica por chama (FAES) e espectrofotometria no UV/Vis os LD e LQ instrumentais foram calculados utilizando a estimativa do desvio padrão do coeficiente linear no lugar do desvio padrão do branco. A detectabilidade ou sensibilidade para a técnica FAAS nas condições avaliadas foi verificada através do cálculo da concentração característica (c₀). Os valores foram calculados pela divisão do valor 0,0044 pelo coeficiente angular da curva analítica. A linearidade das curvas analíticas foi avaliada pelo coeficiente de determinação (r²). A precisão foi avaliada através da estimativa do coeficiente de variação (CV), realizado em ensaios independentes, repetidos de amostras em replicatas. Testes de adição e recuperação

de analitos foram realizados, em dois níveis de concentração, para avaliar a exatidão do método (Lourdes *et al.*, 2016).

2.7. Análises Estatísticas

As curvas de calibração foram validadas e a significância estatística foi determinada pela Análise de Variância (ANOVA) e o pressuposto de normalidade verificado pelo teste de Shapiro – Wilk. A fim de comparar as variações das concentrações ao longo do período de estudo, utilizaram-se gráficos de barras. Para verificar o grau de correlação entre as variáveis (precipitação pluviométrica e temperatura com a concentração das substâncias inorgânicas), calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (Action Stat, Versão: 3.5.152.34 build 4), uma vez que os dados obtidos obedecem ao pressuposto da Normalidade. A significância do coeficiente de correlação foi calculada para cada analito utilizando o teste de hipóteses, com n-2 graus de liberdade na tabela t de *Student* em um nível de confiança de 95 %.

2.8. Análises microbiológicas

Para a análise de ovos de helmintos utilizou-se a técnica de centrifugo-flutuação conforme sugerido por Sloss e Kemp (1978). Para as análises de coliformes termotolerantes, empregou-se a técnica do número mais provável (NMP) também conhecido como método de tubos múltiplos, ambas preconizadas pela resolução CONAMA (375/2006). A fim de avaliar a eficiência de redução de coliformes termotolerantes pelo tratamento aeróbico realizado no lodo de esgoto de Juiz de Fora/MG, empregou-se a técnica de semeadura por espalhamento em superfície *spread plate* (Vanderzant e Splitoesser, 1992) em meios EMB (*Eosin Methylen Blue Agar*) e *MacConkey*, preparado previamente e esterilizado.

2.9. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos da cidade de Juiz de Fora/MG (precipitação pluviométrica e temperatura) foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Caracterização inicial do LE

Os resultados da varredura realizada no LE estão apresentados na tabela 1, juntamente com as concentrações máximas de substâncias inorgânicas permitidas pelas legislações dos EUA, Comunidade Europeia e Brasileira. A escolha dos elementos para o estudo sazonal baseou-se na concentração nas amostras, na exigência da legislação e na importância do elemento para o estado nutricional da planta (CONAMA, 2006; Alexandre *et al.*, 2012). Com base nesses parâmetros foram escolhidos para o estudo N, P, K e Mg (classificados como macronutrientes essenciais), Cu, Fe e Zn (classificados como micronutrientes), e Cr e Pb (considerados metais tóxicos). Os elementos As, Ba, Cd não foram incluídos porque apresentaram concentrações abaixo dos respectivos LD's do método e do máximo permitido pela legislação brasileira.

3.2. Validação dos métodos utilizados

Os testes de Shapiro - Wilk nas curvas apresentaram uma distribuição normal com p-valores maiores que 0,05. Nas variâncias, os valores de F calculado foram menores que F tabelado para a falta de ajuste e para a significância do método foram obtidos valores de F calculado significativamente maiores do que os de F tabelados, indicando assim bom ajuste e linearidade do método, observado também pelo coeficiente de determinação (r^2) (Tabela 2).

Os LD's e LQ's para Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, P, Pb e Zn variaram entre (1,18.10⁻³-1,40 mg·L⁻¹ instrumental e 0,127 – 1,81 mg·kg⁻¹ método) e (0,212 - 1,81 instrumental e 0,707 – 6,04 mg·kg⁻¹ método) respectivamente. Esses valores ficaram abaixo dos valores permitidos pelas legislações indicando que o método é apropriado para determinação dos analitos. Para a sensibilidade, os valores encontrados ficaram na mesma ordem de grandeza dos valores do manual do equipamento e obtidos por outros autores indicando que os métodos utilizados apresentaram sensibilidade adequadas. Os valores de CV para todas as amostras analisadas por FAAS foram menores que 6%. Já para as demais técnicas os valores ficaram abaixo de 1,5 %. As recuperações variaram de 83 – 116 % demonstrando que os métodos utilizados apresentaram precisão e exatidões

adequadas (Lourdes *et al.*, 2016).

3.3. Avaliação dos parâmetros meteorológicos

Na Figura 2 e na Tabela 3 são apresentados os dados meteorológicos (precipitação e temperatura do ar) no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016. A cidade de Juiz de Fora está localizada em uma região de transição climática, no qual recebe a influência do oceano Atlântico, da continentalidade e da latitude. Levando, ainda em consideração a dinâmica dos sistemas atmosféricos, esta é influenciada por quatro massas de ar (massa tropical atlântica (mTa), massa polar atlântica (mPa), massa tropical continental (mTc) e Massa Equatorial Continental (mEc)) e pelo sistema frontal (Borsato e Mendonça, 2015). Desta forma, a ação das massas de ar enfatiza a sazonalidade das precipitações anuais, criando um período mais seco e com menor aquecimento continental no qual prevalecem sob influência das massas de ar de alta pressão atmosférica, que se caracterizam por promover estabilidade atmosférica, céu limpo e baixa umidade (Musk, 1988) o que prevalece ao longo do outono e inverno como pode ser observado na Figura 2.

Por outro lado, de setembro a março, ocorre maior aquecimento continental o que propicia a atuação de sistemas atmosféricos de baixa pressão, acarretando em maiores volumes de precipitação e instabilidade atmosférica. Destaca-se também nesse período a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que se caracteriza por uma faixa de nebulosidade convectiva que pode se estender desde o sul da Amazônia até o sudeste, sendo considerado um fenômeno típico de verão na América do Sul e favorece a ocorrência de significativos volumes de precipitação (Borsato e Mendonça, 2015). O comportamento das precipitações nos dois anos analisados seguiu um padrão habitual, com duas sazonalidades bem distintas, uma mais seca e outra mais chuvosa (Figura 1). Com relação ao total de precipitação anual, o ano de 2015 teve um comportamento de tendente a seco e o ano de 2016 foi habitual, quando comparados à média de precipitações registradas na cidade que são de 1646,6 mm. Quanto à temperatura do ar em ambos os anos foi habitual, isto é próximo à média do período de 1981-2010, que é de 19,3° C (Normais Climatológicas, 2010).

3.4. Concentração sazonal dos nutrientes e metais pesados no LE

A Tabela 4 mostra as concentrações obtidas (em base seca) dos elementos investigados (N, P, K, Mg, Cu, Fe, Zn, Cr e Pb) no LE durante 24 meses de coleta. Para melhor visualização das variações das concentrações de cada analito no período investigado utilizaram-se gráficos de barras (Figura 3) contendo as concentrações tabeladas através do sistema de normalização de dados (Caldas, Brum, Paula e Cassella, 2013). Na análise dos macronutrientes, os resultados obtidos para o N indicaram variações entre 4,71 e 5,18 %, valores de 1,40 a 2,44 % para P e de 0,076 a 0,11 % para K. Para o Mg, os resultados obtidos apresentaram uma faixa de variação de 0,11 – 0,38%. Analisando o gráfico de barras, é possível perceber que as concentrações dos elementos N, P e K variam apenas em pequena extensão (CV < 9,0 %). O fato das concentrações variarem muito pouco ao longo de 2 anos de coleta atestam, em um primeiro momento, que o resíduo investigado pode ser considerado uma fonte promissora destes nutrientes independente da época do ano. A legislação brasileira (CONAMA 375/2006) não especifica uma concentração limite para os elementos N, P, K, Mg e Fe em amostras de LE utilizado para fins agrícolas (Kelessidis e Stasinakis, 2012). Porém, segundo a literatura (Malavolta, 2006) admite-se que de 1 a 4 % do total de N orgânico possa ser mineralizado e fornecido à cultura durante seu ciclo anual. Logo, quanto maior o teor de N no solo/substrato utilizado, maior será disponibilizado para as espécies vegetais.

Os valores encontrados de P no LE investigado foram bem superiores aos disponíveis nos solos de um modo geral (0,005 a 0,2%). No entanto, deve ser considerado que o uso de uma matriz com altos teores de P pode ocasionar processos eutróficos, decorrentes da lixiviação dos solos pela ação das chuvas e pelo intemperismo (Oliveira e Matiazzo, 2001). As amostras contendo K, por outro lado, foram as que apresentaram as menores concentrações desse elemento em comparação com N, P e Mg. Tsutiya (1999) relatou que a baixa concentração de K no LE é decorrente do mineral ser solúvel em água, permanecendo na fase líquida durante o processo de secagem na ETE. As espécies vegetais absorvem grandes quantidades de K trocável, podendo acumular no tecido foliar concentrações na faixa de 0,5 – 5%, demonstrando a necessidade deste nutriente

para a manutenção das culturas, o que nem sempre pode ser suprida pelo LE, havendo necessidade de complementação por parte de outras fontes (Malavolta, 2006).

Em relação aos micronutrientes, o Fe foi o elemento que apresentou maior concentração, com teor na faixa de 1,8 – 5,0 % e um CV na ordem de 24%, já para o Cu foi observado uma variação de 104 a 602 mg kg⁻¹ com CV de 31%. Nas determinações de Zn, foram observados, assim como no Fe e Cu, altos teores desse analito. Embora tenha sido observada uma variabilidade na concentração de Fe (Figura 3), essas variações não afetaram a importância do caráter nutricional do resíduo uma vez que os teores de Fe foram elevados independentemente da época do ano. Há relatos na literatura sobre a toxicidade do Fe em comparação com outros elementos, no entanto, sabe-se que em solos muito ácidos pode ocorrer a fitotoxicidade desse elemento (Nogueiro, Melo, Bertoni e Allconi, 2014). Outra característica do Fe são os efeitos de toxicidade indireta ocasionados pelo seu excesso que pode alterar a absorção de outros nutrientes como Ca, Mg, K e P (Zhang, Zhang e Mao, 1999). A concentração de Cu, embora seja requerida na ordem de µg kg⁻¹, dependendo da origem das águas residuais e do local onde são produzidas, podem originar lodos com altas concentrações desse elemento (na ordem de mg kg⁻¹ ou até mesmo % m/m), como é o caso do lodo de Juiz de Fora/MG. Segundo Nogueiro *et al.* (2014) elementos metálicos podem ser considerados um problema em particular, porque não são biodegradáveis como algumas substâncias orgânicas, podendo se acumular no ecossistema em que está inserido (solo e plantas), principalmente quando se faz o uso continuado, em doses crescentes, em áreas cultiváveis. Segundo a literatura, a aplicação de LE promove o aumento da concentração de metais no solo, dentre eles Fe, Cu e Zn (Rangel, Silva, Bettiol e Dynia, 2003). Por outro lado, há estudos que apontam que, embora este aumento seja evidente, a mobilidade dos metais em solos tratados com lodo de esgoto é baixa. No entanto, a capacidade do solo de reter tais elementos, em função do tempo, dos fatores climáticos, da capacidade de troca catiônica, dentre outros, é um importante fator que deve ser questionado e avaliado para a utilização deste resíduo *in natura* em sistemas agrícolas (Oliveira e Mattiazzi, 2001)

O comportamento do Zn nas amostras de LE investigadas foi distinto em relação aos demais micronutrientes. A concentração de Zn

variou de 38,2 mg kg⁻¹ até um valor máximo em torno de 7000 mg kg⁻¹, um valor 2,5 vezes maior que o valor máximo permitido (VMP) de 2800 mg kg⁻¹, com exceção para os meses de janeiro, fevereiro e novembro de 2015 e fevereiro e dezembro de 2016. O Zn também foi o elemento que apresentou um perfil mais heterogêneo no período investigado (Figura 3) e o que apresentou o maior número de valores anômalos (Tabela 4, sublinhado em negrito). Essa variação significativa de concentração (CV de 52%) só não foi maior que a variação do volume de precipitação pluviométrica, com um CV de 81,3% em 2015 e de 105,3% em 2016 (Tabela 3 e Figura 3), porém, considerando que a cidade de Juiz de Fora possui duas estações bem definidas de precipitação pluviométrica (estação seca e estação úmida), essa variação pode ser considerada dentro do padrão esperado (Mimura *et al.*, 2016). A alta concentração de Zn no lodo não pode ser considerada incomum. Segundo Alexandre *et al.* (2012) o Zn é o 23º elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo encontrado em praticamente todos os compartimentos do meio ambiente. Outro fator que pode acarretar o aumento significativo de Zn no substrato é a origem do lodo. Em águas residuais industriais, a quantidade deste mineral pode aumentar em decorrência das atividades produtivas. Ignatowicz (2017) relata a presença de Zn em amostras de lodos municipais com concentração variando entre 220,3 e 227 mg kg⁻¹, já Sharma *et al.* (2017), comparando as propriedades físico-químicas entre lodos de diversos países, observou variações de Zn de 161 a 2050 mg kg⁻¹ na Índia, de 0,21 a 1350 mg kg⁻¹ na China, de 210 – 3060 mg kg⁻¹ na Austrália e de 560 a 1100 mg kg⁻¹ na Espanha. Nissim *et al.* (2018) observou concentrações de Zn em torno de 961 mg kg⁻¹ em amostras de LE coletadas na Itália. Segundo o Departamento nacional de Produção Mineral (DNPM), no Brasil o Zn tem grande utilidade em virtude de seu potencial anticorrosivo, sendo assim, é um elemento intensamente empregado em indústrias automobilísticas, construção civil e de eletrodomésticos. Tais fatores podem favorecer a produção de lodos industriais com altos teores de metal. De acordo com os dados obtidos pode se afirmar, para as amostras investigadas, que o Zn é um elemento determinante na escolha da melhor época do ano para a coleta do lodo destinado ao uso agrícola.

As análises demonstraram que as concentrações de Cr e Pb variaram na faixa de 71- 158 mg kg⁻¹ e de 17 - 106 mg.kg⁻¹ com CV's de 17 e 32% para Cr e Pb, respectivamente. A

legislação brasileira possui valores de referência apenas para o Cr ($1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), sendo os valores encontrados considerados aceitáveis, tanto para Cr quanto para Pb. De acordo com a Tabela 5 foi possível observar que os resultados encontrados para os macronutrientes (N, P, K, e Mg e Fe), micronutrientes (Zn e Cu) e metais pesados (Cr e Pb) para as amostras de LE coletadas na ETE de Juiz de Fora/MG foram comparáveis com os resultados obtidos para amostras de LE de outros países e de outras regiões do Brasil, exceto para K e Zn. Nota-se que são poucos os registros do teor de Mg e Fe nos estudos de destinação do LE para uso agrícola, apesar da relevância destes elementos para a nutrição vegetal (Malavolta, 2006).

3.5. Concentração sazonal dos agentes patogênicos no LE

Os resultados relativos a concentração dos coliformes termotolerantes estão descritos na Tabela 6. Os dados foram obtidos a partir de testes com tubos múltiplos, referentes aos meses de julho, agosto, outubro, novembro e dezembro de 2016, compreendendo meses com diferentes características climáticas (verão, outono e inverno) para controle de qualidade de agentes patogênicos. Os valores foram comparados com a tabela de índice de NMP de amostra e indicaram, com um nível de confiança de 95%, a presença dos coliformes termotolerantes a 100 mL ou 100 gramas de LE base seca. Segundo a resolução CONAMA 375/06, o LE do tipo "A", adequado para a agricultura deve apresentar valores menores que 10^3 NMP g^{-1} de ST (sólidos totais). Na análise de ovos de helmintos, avaliando a presença dos micro-organismos indicadores de contaminação fecal, encontrou-se apenas um único ovo em todas as amostras coletadas para este estudo. De acordo com a literatura, a concentração dos elementos presentes no LE depende do tipo de efluente que chega à ETE. Os de origem industrial podem gerar lodos com alta concentração de metais pesados, principalmente metais, em contrapartida, com menor teor de agentes patogênicos, como é o caso do LE deste estudo (Zielinska, Oleszczuk, Charnas, Skubiszewska-Zieba e Pasieczna-Patkowska, 2015).

Na contagem de colônias de coliformes totais em meio MacConkey e EMB os resultados demonstraram que o processo de tratamento aeróbico empregado na ETE Barreira do Triunfo de Juiz de Fora/MG causou uma diminuição considerável no número de coliformes totais (Tabela 7), diminuindo, conseqüentemente, os

riscos de contaminação e propagação de doenças, além de possibilitar a utilização deste lodo como fertilizante para o solo. A legislação brasileira não especifica um valor máximo para contagem de colônias a partir dos métodos MacConkey e EMB, sendo o procedimento utilizado apenas para avaliar a eficácia do processo de tratamento do esgoto empregado para minimizar a presença de contaminantes microbiológicos. Todos os resultados apresentaram valores abaixo do especificado pelas legislações, embora tenha sido observado que nos meses mais chuvosos a quantidade de coliformes termotolerantes reduz drasticamente o que implicaria em uma influência expressiva do ciclo pluviométrico.

3.6. Correlação entre os parâmetros meteorológicos e as variáveis investigadas no LE

A matriz de correlação de Pearson (Tabela 8) indicou a 95% de confiança que os elementos analisados, em geral, se mostraram pouco sensíveis às variações sazonais. No entanto, os dados indicaram uma correlação positiva entre o N e a precipitação pluviométrica (0,54). Na atmosfera podem ocorrer formas combinadas de N, como amônia e formas orgânicas em resíduos finamente subdivididos, principalmente em áreas industriais. A ocorrência de chuvas mais fortes pode carrear para os tanques de produção e equalização do LE essas formas combinadas, aumentando assim o teor de nitrogênio neste resíduo. Horttanainen e Havukainen (2017) afirmam que o N presente nos sistemas de esgotos é originado principalmente da ureia que rapidamente se hidrolisa em nitrogênio amoniacal. O nitrogênio amoniacal em águas residuais está presente concomitantemente em ambas às formas: NH_3 e NH_4^+ e o equilíbrio entre as duas formas em uma solução líquida é dependente do pH e da temperatura, o que explicaria as mudanças de concentração com a variação de precipitação pluviométrica. A avaliação estatística dos dados também demonstrou uma correlação negativa entre Cu (-0,55), Zn (-0,55) e Pb (-0,51) e a temperatura. Esse comportamento antagônico indica que em meses chuvosos (mais quentes) a concentração é menor provavelmente devido ao efeito da diluição das frações solúveis (Pinheiro e Sígolo, 2007). Porém, considerando as altas concentrações de Zn durante todo o ano, o período de coleta do lodo deve privilegiar os meses mais quentes compreendidos entre novembro e fevereiro em decorrência dos

maiores índices de precipitação (Tabela 3), como demonstrado pela correlação (0,58) entre a temperatura e o índice de precipitação. Os resultados demonstraram a viabilidade da utilização do LE como fertilizante quando coletado em períodos chuvosos, quando favorece a diluição dos elementos presentes em suas formas solúveis. A adoção dessa estratégia poderia ser um meio de potencializar o uso do LE na agricultura evitando, concomitantemente, etapas exaustivas e custosas de pré-tratamento para redução da concentração desse contaminante (Nascimento *et al.*, 2014; Pires *et al.*, 2014).

A falta de correlação entre as concentrações de K, Mg, Fe e Cr no LE com os fatores climáticos estudados, em comparação com os outros elementos, é um indicativo que a presença dos metais no biossólido não é proveniente do intemperismo das rochas ocasionado pela ação das chuvas e da temperatura, mas outros fatores como os descartes de efluentes industriais ou a presença de frações não solúveis (Pinheiro e Sígolo, 2007). No caso do P, a falta de correlação pode ser explicada pelo fato das principais contribuições das frações de fósforo (orgânico e inorgânico) encontrados no LE não serem provenientes dos ciclos naturais, mas do acesso da população a produtos industrializados (detergentes à base de polifosfatos) e dieta alimentar (Jordão e Pessoa, 2011). Como o LE da ETE Barreira do Triunfo é 90% proveniente de atividades industriais, tais fatores possivelmente não influenciariam no aumento ou diminuição da concentração de P no resíduo. Os testes estatísticos indicaram também correlações positivas entre os elementos analisados, como por exemplo, moderadas entre Zn e Pb (0,60), P e Mg (0,50), K e Pb (0,48) e entre P e Cr (-0,61), bem como forte entre Cu e Zn (0,74) e Cu e Pb (0,93). Como correlações positivas indicam fontes comuns entre os elementos investigados, é possível afirmar que tanto o Zn, quanto Cu e Pb, são provenientes de contribuições industriais. Esses resultados chamam a atenção, tanto para a eficiência dos processos de tratamento de efluentes industriais, bem como dos processos de tratamento desses efluentes quando chegam a ETE.

4. CONCLUSÕES:

O estudo demonstrou que o LE produzido na cidade de Juiz de Fora/MG é uma fonte

altamente promissora de macronutrientes e micronutrientes essenciais e que pode ser utilizado como fertilizante através da coleta nos meses mais chuvosos uma vez que os fatores sazonais auxiliam na diluição, não somente do Zn, mas de vários outros elementos, além de restringir drasticamente o teor de agentes patogênicos prejudiciais à saúde que poderiam ocasionar contaminação em espécies vegetais. Essa estratégia, adicionalmente, evitaria etapas exaustivas e custosas de pré-tratamento para redução da concentração de contaminantes. Esta utilização do lodo seria extremamente benéfica para a região uma vez que reduziria a geração de resíduo sólido e diminuiria a dependência de adubos comerciais, favorecendo a agricultura familiar e pequenas empresas. É de suma importância que estudos específicos em diferentes ETE's do país sejam realizados a fim de se avaliar futuras possibilidades de obtenção de um LE que esteja dentro dos padrões legais, ambientais e sanitários a fim de garantir uma utilização segura em atividades agrícolas e promover práticas ambientais sustentáveis. Por fim, é possível concluir que contribuições industriais é a possível fonte elementos importantes, tais como, Cu, Pb e Zn, no LE investigado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Sebastião de Castro Evaristo pelo auxílio na condução dos experimentos. Fonseca, J. G. P., agradece a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado concedida. Os autores também agradecem as agências de fomento CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), Rede Mineira de Química, INCT Acqua (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia: Recursos Minerais, Água e Biodiversidade e Mineração), Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e CAPES pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexandre, J.R., Oliveira, M.L.F., Santos, T.C., Canton, G.C., Conceição, J.M., Eutrópio, F., Cruz, Z.M.A.; Dobbs, L.B., e

- Ramos, A.C. *Natureza on line*, **2012**, *10*, 23.
2. Borsato, V.A., e Mendonça, F.A. *Geosp*, **2016**, *19*, 585.
 3. Brito, J.M.C., Lopes, R., Machado, A.M.V., Guerrero, C.A.C., Faleiro, L., e Beltrao, J. *Bio. Life Sci*, **2007**, *86*, 205.
 4. Caldas, F.S., Brum, D.M., Paula, E.R., e Cassella, R.J. *Talanta*, **2013**, *110*, 21.
 5. Ciélisk, M.B.; Namie´snik, J.; e Konieczka, P. *J. Clean. Prod*, **2015**, *90*, 1.
 6. CHEN, Y.C.; KUO, J. *J. Clea. Prod*, **2016**, 196.
 7. Chen, Y., Wang, M., Wang, G., Chen, M., Luo, D., Li, R. *Soil Tillage Res*, **2012**, *123*, 35.
 8. Horttanainen, M., e Havukainen, J. *J. Clea. Prod*, **2017**, *142*, Part 4.
 9. <https://www.mma.gov.br/>, acessada em Agosto de 2018.
 10. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas.>, acessada em Novembro de 2018.
 11. Ignatowicz, K. *Environ. Res*, **2017**, *156*, 19.
 12. Jordão, E.P., Pessoa, C.A., Tratamento de esgotos domésticos, 6 ed., ABES: Rio de Janeiro, 2011.
 13. Kasina, M., Kovalski, R.P., Michalik, M. *Energy Procedia*, **2017**, *125*, 34.
 14. Kelessidis, A., Stasinakis, S.A. *Waste Mangement*, **2012**, *32*, 1186.
 15. Lakdhar, A.; Scelza, R., Scotti, R., Rao, M.A., Jedidi, N., Gianfreda, L., Abdelly, C. *Rev. Cie. Suelo Nutri. Veg*, **2010**, *10*, 40.
 16. Lima, T.M., Neves, C.A.R. *Sumário Mineral – Departamento Nacional de Produção Mineral*, **2015**, *35*, 1.
 17. Lourdes, A., Mimura, A., Sousa, R., Silva, J. *Atomic Spec*, **2016**, *37*, 120.
 18. Malavolta, E. *Manual de Nutrição Mineral das Plantas*, 3 ed., Agronomica Ceres: São Paulo, 2006.
 19. Mimura, A. S., Fazaa, L. P., Marqueza, R., Hyarica, M.L., Oliveira, M. A. L., Silva, J.C. *Quim. Nova*, **2016**, *15*, 1.
 20. Musk, L., *Weather systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
 21. Nascimento, A. L., Sampaio, R. A., Cruz, S. F. Junio, G. R. Z., Barbosa, C. F., Fernandes, L. A. *Rev. Bras. Enga. Agríc. Amb*, **2014**, *18*, 694.
 22. Nash, D., Butler, C., Cody, J., Warne, M.St.J., McLaughlin, M.J., Heemsbergen, D., Broos, K., Bell, M., Barry, G., Pritchard, D., Penny, N. *Appl. Environ. Soil Sci*, **2011**, *11*, 1.
 23. Nissim, W.G., Cincinelli, A., Martellini, T., Alvisi, L., Palm, E., Mancuso, E., Azzarello, E. *Environ. Res*, **2018**, *164*, 356.
 24. Nogueirol, R. C., Melo, W.J., Bertoncini, E.I., Allconi, L.R.F. *Environ. Monit. Asses*, **2015**, *185*, 2015.
 25. Oliveira, F.C., Matiazzo, M.E. *Sci. Agríc*, **2001**, *58*, 807.
 26. Pinheiro, C.H.R., Sígolo, J.B. *Geochim. Bras*, **2007**, *21*, 151.
 27. Pires, A. M. M., Mattiazzo, M. E., Berton, R. S., Guilherme, L. R. G., Marchi, G. *Embrapa Com. Tec*, **2014**, *28*, 1.
 28. <https://www.pjf.mg.gov.br/>, acessada em Novembro de 2018.
 29. Rangel, O.J.P., Silva, C.A., Bettiol, W., Dynia, J.F. *Rev. Bras. Cie. Solo*, **2006**, *30*, 2006.
 30. Salinas, J. G., Garcia, R. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Programa de Pastos Tropicales, 1 ed., Cali: Colombia, 1985.
 31. Sharma, B., Sarkar, A., Singh, P., Sing, R.P. *Waste Management*, **2017**, *64*, 117.
 32. Sloss, M. W., Kemp., R. L. *Veterinary clinical parasitology*, 5. ed., Ames: Iowa State University, 1978.
 33. Sommers, L.S. *J. Environ. Quality*, **1985**, *6*, 1977.
 34. Tsutyia, M.T. Resumo do 20^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, Brasil, 1999.
 35. Vanderzant, C., Splittstoesser, D.F. (1992). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*, 3. ed., American Public Health Association: Washington, 1992.

36. Xue, D., Huang, X. *Chemosphere*, **2013**, 93, 583.
37. Yanu, P., Jakmunne, J. *Food Chem*, **2017**, 230, 572.
38. Zhang, X., Zhang, F., Mao, D. *Plant, and Soil*, **1999**, 209, 187.
39. Zielinska, A., Oleszczuk, P., Charmas, B., Skubiszewska-Zieba, J., Pasieczna-Patkowska, S. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, (2015), doi:10.1016/j.jaap.2015.01.025.

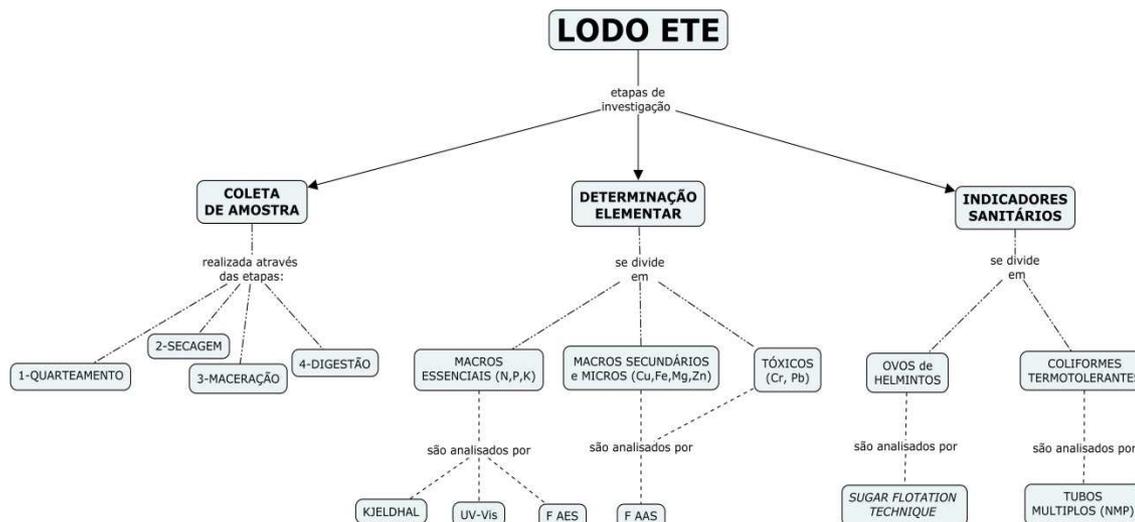


Figura 1. Mapa conceitual das técnicas e procedimentos utilizados no estudo

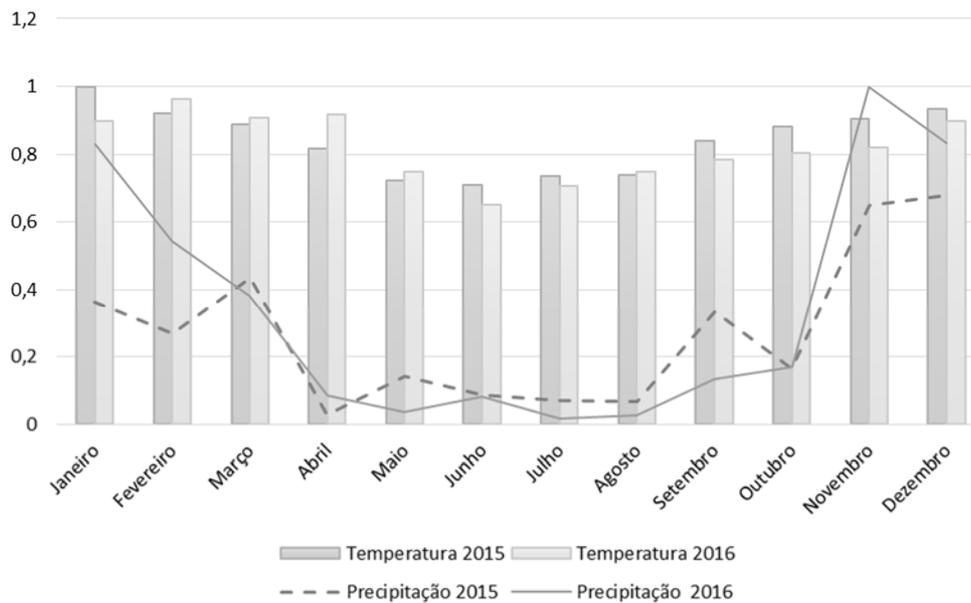


Figura 2. Variação da precipitação pluviométrica e da temperatura na cidade de Juiz de Fora/MG durante o período de estudo (2015 e 2016).

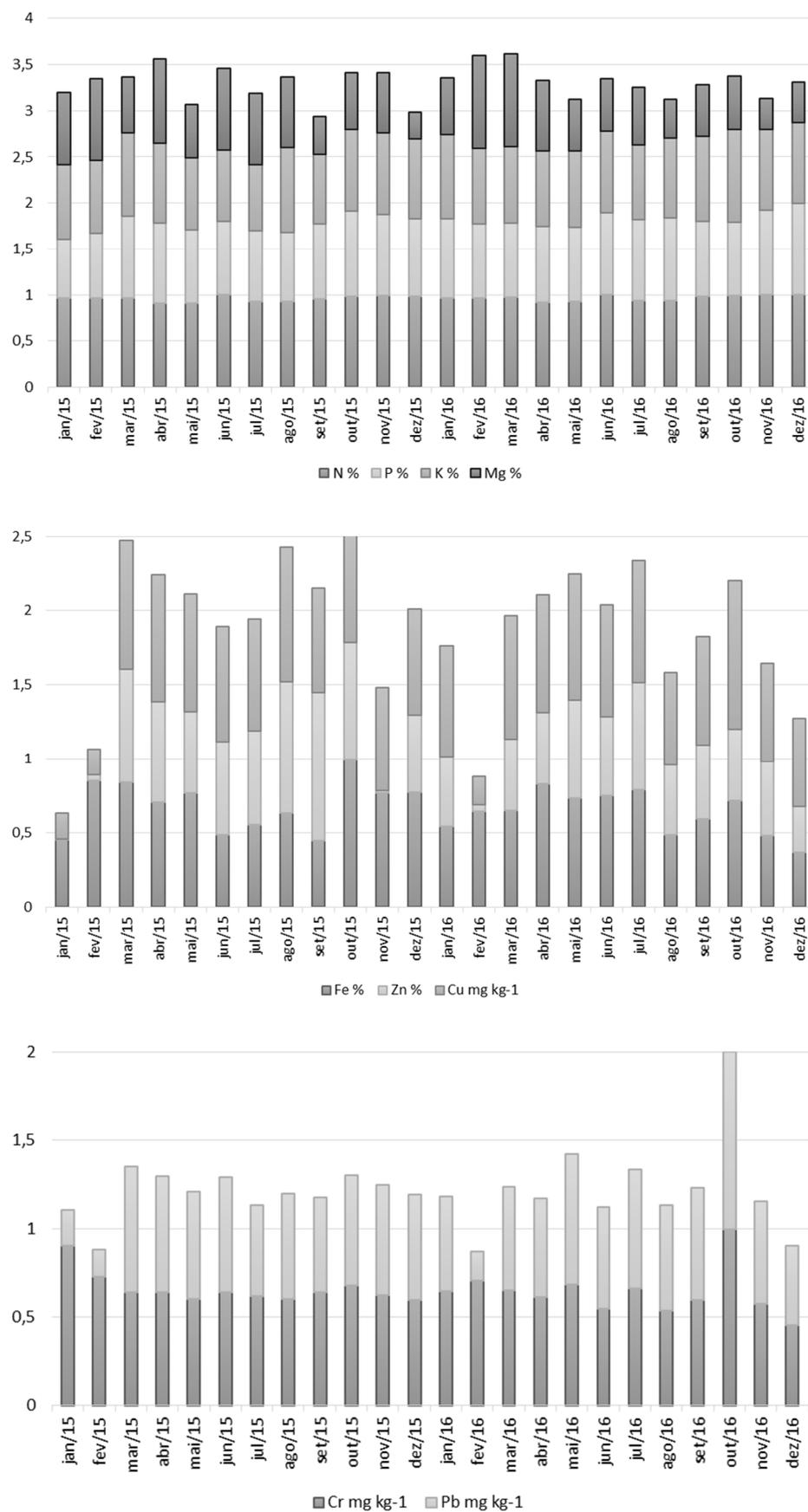


Figura 3. Variações das concentrações de N, P, K, Mg, Cu, Fe, Zn, Cr e Pb do LE de Juiz de Fora/MG durante o período de estudo (2015 e 2016).

Tabela 1. Determinação de macro e micro-elementos em LE por ICP AES. Apenas os valores disponíveis nas legislações são apresentados. Valores em mg kg⁻¹ base seca.

Parâmetros	Valores máximo permitidos (VMP)			
	^a EUA	^b Europa	^c Brasil	Este estudo
Arsênio	41	-	41	< LD
Bário	-	-	1300	< LD
Cádmio	39	20-40	39	< LD
Cálcio	-	-	-	1,06. 10 ⁴
Chumbo	300	750 -1200	300	71,5
Cobre	1500	1000 -1750	1500	307,7
Cromo	-	-	1000	87,5
Estrôncio	-	-	-	128,2
Ferro	-	-	-	2,3.10 ⁴
Fósforo	-	-	-	1,3.10 ⁴
Magnésio	-	-	-	1,1.10 ³
Mangânes	-	-	-	438,2
Molibdênio	-	-	50	5,4
Níquel	420	300-400	420	77,6
Potássio	-	-	-	780
Sódio	-	-	-	580
Zinco	2800	2500-4000	2800	2,3.10 ³

^aEUA – USEPA 40 CFR/50; ^bComunidade Européia - Diretiva 86/278 EEC; ^cBrasil - CONAMA 375.

Tabela 2. Resultados dos testes estatísticos para os nutrientes e metais pesados presentes no LE

Analitos	p-valores	Ajuste da curva		Significância da curva		r ²
		F tabelado	F calculado	F tabelado	F calculado	
P	0,2292	3,97	3,05	4,38	1,42.10 ³	0,9917
K	0,9711	3,33	3,03	4,45	4,92.10 ³	0,9991
Mg	0,0671	3,97	3,73	4,84	1,86.10 ⁵	0,9995
Cu	0,3396	3,71	2,67	4,67	4,09.10 ⁴	0,9992
Fe	0,3909	3,71	3,25	4,67	1,34.10 ⁴	0,9989
Zn	0,8245	3,97	3,85	4,96	6,2.10 ³	0,999
Cr	0,3944	3,33	2,94	4,96	2,5.10 ³	0,9997
Pb	0,2107	3,33	3,24	4,96	2,4.10 ⁵	0,9994

Tabela 3. Parâmetros meteorológicos em Juiz de Fora durante o período de 2015 e 2016 (INMET, 2017)

Mês	Precipitação pluviométrica (mm)		Temperatura Média (°C)	
	2015	2016	2015	2016
Jan	146,8	334,8	23,8	21,4
Fev	108,8	219,0	21,9	22,9
Mar	175,2	153,4	21,1	21,6
Abr	11,2	35,0	19,4	21,8
Mai	58,0	15,6	17,2	17,8
Jun	35,8	33,0	16,9	15,5
Jul	29,0	6,8	17,5	16,8
Ago	27,4	11,4	17,6	17,8
Set	135,2	54,6	20,0	18,7
Out	66,4	68,8	21,0	19,1
Nov	261,4	402,8	21,5	19,5
Dez	273,4	335,6	22,2	21,4
Média	110,717	139,233	20,0083	19,525
¹ Min.	27,4	6,8	16,9	16,8
² Máx.	273,4	402,8	23,8	22,9
³ S	90,0	146,6	2,3	2,3
⁴ CV(%)	81,2945	105,262	11,3939	11,7952
Total anual	1328,6	1670,8	240,1	234,3

¹Mínimo, ²Máximo, ³Desvio padrão, ⁴Coefficiente de variação

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

Tabela 4. Concentração dos elementos no LE (n=3), precipitação pluviométrica e variação da temperatura no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016. Valores anômalos em sublinhado em negrito

Mês	Macroelementos (%)					Microelementos (mg kg ⁻¹)			
	N	P	K	Mg	Fe	Cu	Zn	Cr	Pb
jan/15	4,97	1,41	0,086	0,302	2,26	107,6	<u>38,2</u>	143,0	22,0
fev/15	5,00	1,55	0,083	0,341	4,28	104,7	<u>268,2</u>	114,3	17,1
mar/15	4,99	1,95	0,096	0,236	4,24	522,4	5251,3	101,0	76,4
abr/15	4,72	1,91	0,092	0,351	3,56	515,3	4680,5	101,1	70,1
mai/15	4,71	1,75	0,083	0,221	3,85	476,9	3830,6	95,2	64,8
jun/15	5,17	1,77	0,081	0,341	2,43	467,8	4354,2	101,1	69,8
jul/15	4,79	1,69	0,076	0,297	2,79	454,4	4374,7	97,4	55,4
ago/15	4,78	1,65	0,099	0,294	3,18	547,5	6131,9	95,1	64,2
set/15	4,93	1,80	0,079	0,161	2,25	424,7	6902,1	100,7	57,8
out/15	5,11	2,02	0,094	0,236	5,03	448,6	5425,2	106,7	67,1
nov/15	5,15	1,92	0,094	0,250	3,85	420,5	<u>116,8</u>	98,4	67,0
dez/15	5,07	1,85	0,092	0,113	3,88	429,8	3631,1	93,7	64,3
jan/16	4,99	1,89	0,096	0,240	2,73	451,5	3246,7	101,4	58,1
fev/16	5,01	1,77	0,087	0,385	3,23	116,9	<u>305,7</u>	111,3	18,1
mar/16	5,02	1,78	0,088	0,386	3,26	500,1	3345,6	102,4	63,1
abr/16	4,76	1,81	0,087	0,293	4,16	479,2	3345,8	96,6	60,1
mai/16	4,79	1,77	0,088	0,217	3,68	513,2	4581,5	107,9	79,4
jun/16	5,17	1,95	0,094	0,219	3,78	452,2	3694,0	86,4	61,8
jul/16	4,83	1,93	0,086	0,241	3,97	494,0	5033,6	104,0	72,2
ago/16	4,84	1,97	0,092	0,158	2,45	376,4	3255,5	84,6	63,8
set/16	5,09	1,79	0,097	0,215	2,99	441,8	3430,6	93,7	68,4
out/16	5,14	1,75	0,106	0,224	3,60	602,2	3355,0	158,2	106,9
nov/16	5,18	2,01	0,093	0,129	2,41	402,6	3449,5	90,2	62,9
dez/16	5,16	2,18	0,093	0,171	1,84	356,8	<u>2168,5</u>	71,2	48,3
Média	4,97	1,83	0,086	0,251	3,32	421,1	3509,0	102,3	60,8
³ Min.	4,71	1,41	0,076	0,113	1,84	104,7	38,2	71,2	17,1
⁴ Máx.	5,18	2,18	0,106	0,386	5,03	602,2	6902,1	158,2	106,9
⁵ S	0,160	0,163	0,007	0,076	0,80	131,6	1840,4	17,5	19,4
⁶ CV(%)	3,2	8,9	8,0	30,3	24,2	31,3	52,4	17,1	31,9
⁷ VMP	⁸ ND	ND	ND	ND	ND	1500	2800	1000	300

¹Precipitação pluviométrica; ²Temperatura; ³Mínimo, ⁴Máximo, ⁵Desvio padrão; ⁶Coefficiente de variação;

⁷Valores máximos permitidos pela legislação brasileira (CONAMA 375); ⁸Não determinado.

Tabela 5. Concentração das substâncias inorgânicas no LE em diferentes países

País	Elementos									Fonte ³
	N ¹	P ¹	K ¹	Mg ¹	Fe ¹	Zn ¹	Cu ²	Cr ²	Pb ²	
Brasil (JF)	4,7-5,2	1,4-2,2	0,08-0,11	0,11-0,40	1,8-5,0	0,004-0,7	105-602	71-158	17-107	-
Brasil (SP)	2,2-5,5	0,6-3,7	0,10	0,38	24-54	0,1-0,3	1058	823	364	2
Austrália	2,50	0,83	---	---	1,3-1,8	0,02-0,3	92-1996	308	323	1
Bélgica	---	---	---	---	---	0,1	100	150	600	2
Canadá	5,90	3,80	0,63	---	---	0,05	100	210	150	3
Chile	0,49	0,14	0,36	0,09	$4,4 \cdot 10^{-4}$	0,068	239,6	11,74	0,89	4
China	2-6,50	2,18	0,62	---	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,13	975	288	49-186	5
Espanha	3,5-4,5	0,58	0,60	1,30	31	0,06-0,1	450	1-400	43-300	6
EUA	3,30	2,30	0,30	0,40	38	0,04	300	100	150	7
Portugal	4,00	1,70	0,40	---	---	---	---	---	---	8
Tunísia	3,87	0,01	0,09	---	28	---	0,059	---	101,7	9

¹%, ² mg kg⁻¹, ³. Fonte: (1) Nash *et al.* (2011); Sharma *et al.* (2017); (2)(3) Sharma *et al.* (2017); (4) Celis *et al.* (2008); (5) Xue e Huang (2013); Sharma *et al.* (2017); (6) Sharma *et al.* (2017); (7) Sommers (1977); Sharma *et al.* (2017); (8) Brito *et al.* (1999); (9) Lakhdar *et al.* (2010).

Tabela 6. Resultados dos testes para coliformes termotolerantes pela técnica do número mais provável (NMP)

Amostras	Nº de tubos com resultado positivo			NMP/100 mL
	Etapa 3 - Ensaio Confirmativo			
	Meio E.C - Diluições			
	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	
Julho	5	4	5	430
Agosto	5	5	5	>1600
Outubro	5	2	0	49
Novembro	5	3	0	79
Dezembro	5	3	0	79

Tabela 7. Contagem de colônias de coliformes totais em meio MacConkey e BEM

Diluição do meio de cultura	1ª duplicata	2ª duplicata	Meio de cultura	Tipo de amostra
10 ⁻²	Incontáveis	Incontáveis	MacConkey	Entrada
10 ⁻⁴	5 F / 2 NF	2 F / 4 NF	MacConkey	Entrada
10 ⁻⁶	0 F / 0 NF	0 F / 0 NF	MacConkey	Entrada
10 ⁻²	4 F / 2 NF	2 F / 3 NF	MacConkey	Saída
10 ⁻⁴	0 F / 0 NF	0 F / 0 NF	MacConkey	Saída
10 ⁻⁶	0 F / 0 NF	0 F / 0 NF	MacConkey	Saída
10 ⁻²	Incontáveis	Incontáveis	EMB	Entrada
10 ⁻⁴	45 F / 10 NF	39 F / 5 NF	EMB	Entrada
10 ⁻⁶	0 F / 0 NF	0 F / 2 NF	EMB	Entrada
10 ⁻²	43 F / 21 NF	36 F / 12 NF	EMB	Saída
10 ⁻⁴	2 F / 0 NF	0 F / 3 NF	EMB	Saída
10 ⁻⁶	0 F / 0 NF	0 F / 0 NF	EMB	Saída

F: fermentadores; NF: Não fermentadores.

Tabela 8. Matriz de correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos, elementos-traço e maiores no lodo de esgoto. Apenas as correlações com significância $p < 0,05$ são apresentadas

	N	P	K	Mg	Cu	Fe	Zn	Cr	Pb	PP (mm)	T(°C)
N	1										
P	-	1									
K	-	-	1								
Mg	-	-0,50	-	1							
Cu	-	-	-	-	1						
Fe	-	-	-	-	-	1					
Zn	-	-	-	-	0,74	-	1				
Cr	-	-0,61	-	-	-	-	-	1			
Pb	-	-	0,48	-	0,93	-	0,60	-	1		
PP (mm)	0,54	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
T(°C)	-	-	-	-	-0,55	-	-0,55	-	-0,51	0,58	1

- abaixo do nível de significância; PP: Precipitação pluviométrica; T: Temperatura.