

**III-016 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO DE
RESÍDUOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE
BIOFERTILIZANTE POR PROCESSO AERÓBICO.
(ESCALA PILOTO)**

Ivan Cesar Tremarin⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário Univates (Univates/RS). Mestrando em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc/RS).

Dionei Minuzzi Dalevati⁽²⁾

Engenheiro Agrônomo pela UFPel/RS. Doutor em Desenvolvimento Regional pela Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc/RS). Professor Titular do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc/RS).

Odorico Konrad⁽³⁾

Engenheiro Civil pela PUC/RS. Doutor em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Montanuniversitat Leoben da Áustria. Professor Titular do Programa de Pós-graduação em Ambiente e Desenvolvimento do Centro Universitário Univates (Univates/RS).

Endereço⁽¹⁾: Rua Elida Romana Ceregatti Altmayer, 196 - Universitário - Lajeado - RS - CEP: 95900-000 - Brasil - e-mail: ivtremarin@meioambiente.eng.br

Endereço⁽²⁾: Avenida Independência, 2293 - Universitário - Santa Cruz do Sul - RS - CEP 96815-900 - Brasil - e-mail: dionei@unisc.br

Endereço⁽³⁾: Avenida Avelino Tallini, 171 - Universitário - Lajeado - RS - CEP: 95900-000 - Brasil - e-mail: okonrad@univates.br

RESUMO

O reaproveitamento de resíduos para produção de biofertilizante, por processo aeróbico, apresenta-se como uma importante alternativa de destinação e tratamento dos resíduos produzidos pela agricultura e indústria, possibilitando a produção e aplicação de um produto com valor agregado para nutrição de plantas, melhoramento do solo e condições ambientais. O trabalho foi realizado em escala piloto, em biorreator aeróbico, foi elaborado um mix inicial de 100 litros contendo as bases (orgânica, proteica, energética e mineral) para star up. A cada dois dias adicionou-se novas bases, como forma de enriquecimento. O experimento consiste em acompanhar parâmetros referentes ao processo de produção no biorreator, tais como: a condutividade elétrica (CE), pH e a concentração de Nitrogênio Total (NT), Nitrogênio Orgânico (N-Org.), Nitrogênio Amoniacal (N-Amon.), Nitrato, Nitrito, Fósforo Total (P-Tot.), Fosfato, Enxofre (S), Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico (CI), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV).

Os resultados de SSV que se mantiveram em crescimento mesmo com CE elevada, indicando o crescimento de microrganismos no sistema. A composição química do biofertilizante pode ser considerada satisfatória, com exceção do P que permaneceu no lodo devido a decantação. Com cerca de 2,5% de N e 11% de C.

PALAVRAS-CHAVE: Reutilização de Resíduos, Produção de Biofertilizante, Composição de Nutrientes.

INTRODUÇÃO

A geração e a destinação de resíduos causa constante preocupação nos mais diversos setores da economia. O gerenciamento inadequado de resíduos produzidos pela agricultura e indústrias pode gerar grandes problemas ambientais de contaminação da biota e seus meios de sobrevivência (FIGUEIREDO E TANAMATI, 2010; GUERRA, 2012).

A geração e a destinação de resíduos têm movido o poder público e as empresas em busca de soluções. Como exemplo: a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei N° 12.305/2010) e uma série de legislações que aborda a destinação adequada tanto resíduos sólidos quanto de resíduos líquidos. A legislação estabelece que o processamento de resíduos sólidos e a transformação em um produto, ficam sob a responsabilidade de

legalização pelos órgãos competentes, no caso desse trabalho o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 1980.; 1981; 2004.; 2010b; a).

O reaproveitamento de resíduos para produção de biofertilizante, por processo aeróbico, apresenta-se como uma importante alternativa de destinação e tratamento dos resíduos produzidos pela agricultura e indústria, uma forma inovadora de minimização do impacto sobre o meio ambiente e, paralelamente, reduzindo os custos de tratamento pelos geradores e possibilitando a produção e aplicação de um produto com valor agregado para nutrição de plantas, melhoramento do solo e condições ambientais.

A legislação brasileira caracteriza biofertilizante como: produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante (BRASIL, 2004.).

Como tecnologia de tratamento de resíduos, percebe-se que, a produção de biofertilizante, por processo aeróbico, não tem sido uma técnica utilizada com frequência, minimizando, de certa forma, seu potencial para tratar e reaproveitar resíduos como fonte de nutrientes às plantas. Esse trabalho, busca avaliar o potencial desta técnica para tratamento de resíduos orgânicos disponíveis na região do Vale do Taquari/RS. A disponibilidade local dos resíduos, é um fator importante, podendo diminuir custos com logística e conseqüentemente contribuir para redução da geração de gases, como o metano, e demanda por energia.

Outro fator importante, é o de possibilitar a transformação e revalorização de resíduos com potencial poluidor, em fonte de fornecimento de nutrientes para as plantas, principalmente em substituição às fontes não renováveis e escassas, como por exemplo, o fósforo e o potássio, que provem de jazidas de mineração cujas reservas têm diminuído ao ponto de especialistas alertarem para uma eminente crise dentro de algumas décadas (SCHMUNDT, 2010; AMUNDSON *et al.*, 2015).

O biofertilizante pode ser utilizado em qualquer espécie de planta agrícola ou ornamental, suprimindo parte da demanda por produtos alternativos da agricultura, principalmente da agricultura orgânica. Dentre os benefícios da aplicação de biofertilizantes, está o reequilíbrio dos fatores ambientais do ecossistema (aumento da resiliência). Especificamente nas plantas, o efeito é nutritivo e fito-hormonal, estimulando a resistência da planta contra ação de pragas e doenças – trofobiose. O objetivo principal de um biofertilizante é fornecer parte dos nutrientes de forma prontamente disponível às plantas e parte na forma orgânica para que haja ocorra a transformação e disponibilização de nutrientes no sistema, desse modo, é importante a presença do carbono orgânico (MEDEIROS *et al.*, 2003; DE MEDEIROS E DA SILVA LOPES, 2006; BARBOSA E DE MEDEIROS, 2007; UPARIVONG, 2012).

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em escala piloto, em biorreator aeróbico com volume de 200 litros, foi elaborado um *mix* inicial de 100 litros contendo as bases (orgânica, proteica, energética e mineral) para *star up*. A cada dois dias adicionou-se novas bases, como forma de enriquecimento. Como esse trabalho é protegido pelo pedido de Patente INPI - BR1020160056098, detalhes sobre o biorreator, *mix* de formação e de enriquecimento do biofertilizante não serão mencionados. Realizou-se o experimento no Centro de Estudo de Biomassa e Energias Renováveis (CEBER) da Univates e as análises laboratoriais do processo de produção foram realizadas em laboratórios da Unisc.

O experimento divide-se em duas etapas, a primeira, consiste em acompanhar parâmetros referentes ao processo de produção no biorreator, por um período de vinte e um dias, tais como: a condutividade elétrica (CE), pH e a concentração de Nitrogênio Total (NT), Nitrogênio Orgânico (N-Org.), Nitrogênio Amoniacal (N-Amon.), Nitrato, Nitrito, Fósforo Total (P-Tot.), Fosfato, Enxofre Total (S), Carbono Orgânico Total (COT), Carbono Inorgânico (CI), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV).

O pH e a CE foram monitorados a cada dois dias, do dia 0 até o dia 21, sendo o dia 0 a data do *star up* do biorreator; os demais parâmetros foram monitorados a cada sete dias, totalizando quatro amostras analisadas nos dias 0, 7, 14 e 21. Realizou-se o experimento do dia 08 de fevereiro a 01 de março de 2017.

Na amostra do dia 21 a aeração foi desligada e o biofertilizante passou por processo de decantação de duas horas, sendo descartado o lodo e o material sobrenadante. Dessa amostra, também encaminhou-se para análise de macronutrientes e micronutrientes essenciais para as plantas e de contaminantes (metais pesados, ovos viáveis de helmintos, coliformes termo tolerantes e *Salmonella sp.*), porém ainda não foi expedido o laudo final dessa amostra (MAPA, 2006; 2009).

A segunda etapa consiste em testar a eficiência agrônômica do biofertilizante na cultura do morango em sistema conhecido como de bancadas ou semi-hidropônico (SANHUEZA, 2007). Essa etapa encontra-se em desenvolvimento.

As análises do processo de produção foram realizadas como forma de avaliar o aumento da concentração de nutrientes e a forma dos mesmos, através da CE e dos teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Carbono (C). Como forma de manter condições favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos, foram avaliados parâmetros como o pH, que foi monitorado a cada dois dias (corrigido quando necessário) e a concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV), utilizada como forma de medir o crescimento da biomassa do sistema.

Mediu-se o pH com pHmetro digital portátil e a CE com condutivímetro portátil. A amostra era coletada com o biorreator em agitação em becker de 1 litro e os parâmetros eram medidos e anotados.

Para as amostras destinadas as análises dos sólidos e nutrientes, com o biorreator em agitação, coletou-se três frascos em cada amostragem: um para sólidos e análise elementar (C, N e S), sem preservação (frasco plástico com 1 litro de amostra – frasco 1), um para nitrogênio, com preservação (frasco plástico com 500 ml de amostra – frasco 2) e outro para fósforo com preservação (frasco de vidro com 300 ml de amostra – frasco 3).

A preservação das amostras foi realizada com ácido sulfúrico (P.M. 98,08), adicionado até atingir o pH 2. Após a coleta e preservação, as amostras eram resfriadas e analisadas após um período de 16 h. Cada frasco seguiu o seguinte procedimento para análise:

- **Frasco 1** – a amostra para análise de ST e SSV, foi realizada pela metodologia *standard methods* (ASSOCIATION E ASSOCIATION, 2005) e a análise elementar de C, N e S por analisador elementar por combustão dos elementos (separação por cromatografia frontal) e detecção dos gases por TCD (detector de condutividade térmica);
- **Frasco 2** – analisou-se uma fração da amostra pela metodologia *standard methods*, para N-Amoniacal, Nitrito e Nitrato; a outra fração, passou por filtragem a vácuo com papel filtro de poro de 45 µm e posteriormente em filtro de seringa de poro de 45 µm. Em seguida, a amostra foi diluída em balão volumétrico de 50 ml, na proporção 1:50, e passada pelo analisador TOC-L, pelo método de Oxidação por Combustão Catalítica a 680 °C e detecção por infravermelho não dispersivo (NDIR), para determinação de COT, CI, S e N;
- **Frasco 3** - a amostra foi analisada pela metodologia *standard methods*, para P-Tot. e Fosfato.

RESULTADOS

Todos os resultados demonstrados foram obtidos diretamente dos laudos, com exceção do N-Org. que foi obtido pela diferença entre NT e N-Amon. Os resultados obtidos de pH e CE estão expressos, na tabela 1. Os resultados para nutrientes estão expressos na tabela 2, exceto para análise elementar, expressos na tabela 3.

Tabela 1: Valores de pH e CE

Data	pH	CE (mS/cm)
08/fev.	8,5	7,56
10/fev.	7,8	13,32
12/fev.	8	14,25
14/fev.	7,8	15,74
16/fev.	7,5	16,52
18/fev.	7,2	17,75
20/fev.	6,9	18,88
22/fev.	6,6	20,01
24/fev.	6,5	21,07
26/fev.	6,9	22,82
01/mar.	7,3	24,50

Tabela 2: Concentração de nutrientes

Tempo	Concentração de Nutrientes em mg.L ⁻¹										
	ST	SSV	P-Tot.	Fosfato	NT	N-Org.	N-Amon.	Nitrato	Nitrito	COT	CI
08/fev.	88.440	17.560	170,7	150,7	2.142	536	1.606	18,1	1,0	11.690	12,7
15/fev.	122.040	22.720	811,3	738,9	25.190	18.706	6.484	20,8	1,0	33.200	11,5
22/fev.	196.943	37.600	1.492,7	634,5	18.800	14.459	4.341	16,5	1,9	54.850	16,3
01/mar.	281.674	27.250	251,7	42,9	24.340	20.992	3.347	771,5	2,4	108.750	10,1

Tabela 3: Concentração de nutrientes (elementar)

Data	Concentração em %		
	C	N	S
08/fev.	2,46	0,45	0,72
15/fev.	3,87	1,84	0,79
22/fev.	6,25	2,01	0,87
01/mar.	10,85	2,63	0,94

Conforme mencionado anteriormente, o pH foi mantido numa faixa de 6,5 a 8,5 como forma de favorecer os microrganismos e para impedir a formação de amônia livre (NH₃⁺) que é tóxica e forma-se quando pH é maior que 8,5. Um fator a ser considerado no processo de ajuste do pH é a demanda elevada por alcalinidade, principalmente nos primeiros 10 dias do processo (MOTA E VON SPERLING, 2009; METCALF E EDDY, 2016).

Em relação a CE, teve como objetivo aumentar a concentração de sais, quanto maior a concentração para um fertilizante, menor a quantidade do mesmo a ser diluída para aplicação. A figura 1 demonstra o comportamento do pH e da CE da tabela 1.

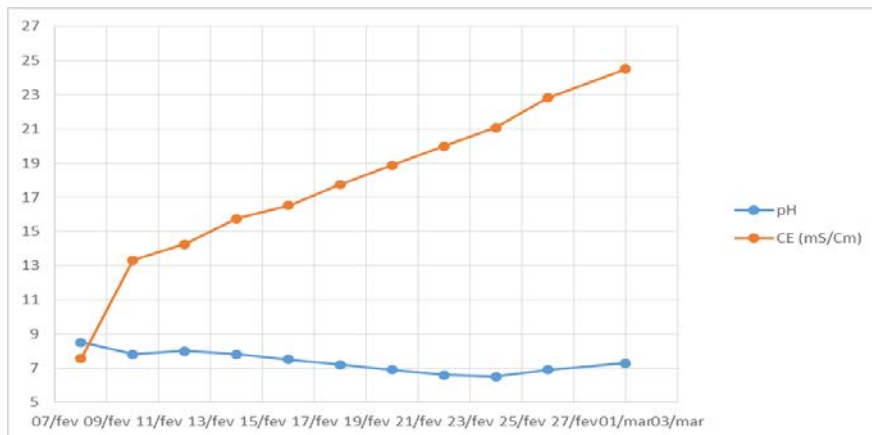


Figura 1: Comportamento do pH e CE no processo de produção

A figura 2 demonstra o comportamento dos sólidos da tabela 2, com o aumento dos ST e também o aumento dos SSV. A elevação dos SSV indica que houve crescimento de microrganismos mesmo com o aumento da concentração de sais e que o *mix* do biofertilizante não apresentou elementos com toxicidade aos mesmos (METCALFE EDDY, 2016).

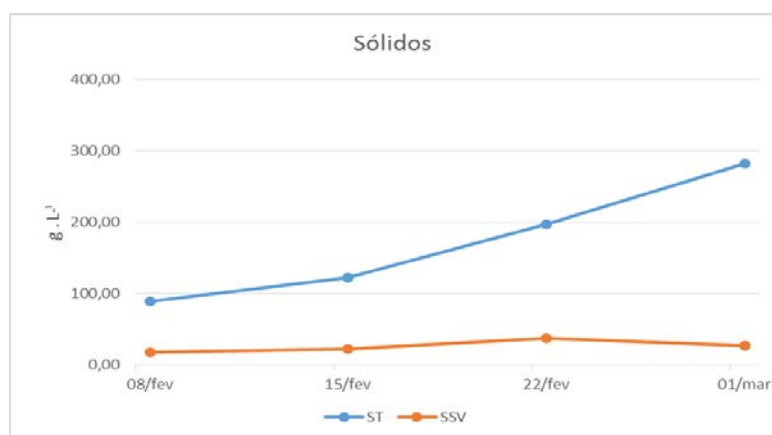


Figura 2: Comportamento dos sólidos no processo de produção

A figura 3 demonstra o comportamento do P-Tot. e do fósforo da tabela 2, o incremento do P-Tot. foi significativo até a terceira amostra, já o fósforo teve uma diminuição a partir da adição de calcário para ajuste do pH (segunda amostra), o que indica a precipitação como fosfato de cálcio. Na amostra final, devido ao processo de decantação, houve a diminuição de ambas as formas do fósforo, tanto por precipitação quanto pela remoção da biomassa sobrenadante, porém aguarda-se o resultado final dos macronutrientes para confirmação (MOTA E VON SPERLING, 2009; METCALFE EDDY, 2016).

Para o biofertilizante as duas formas de P são importantes, tanto a fração orgânica como a mineral. O pH do solo ou do substrato influenciam diretamente na absorção do P pelas plantas, sendo uma das formas de absorção o fosfato, no entanto algumas formas podem ser insolúveis, como o fosfato de cálcio (MEURER, 2006; MOTA E VON SPERLING, 2009).

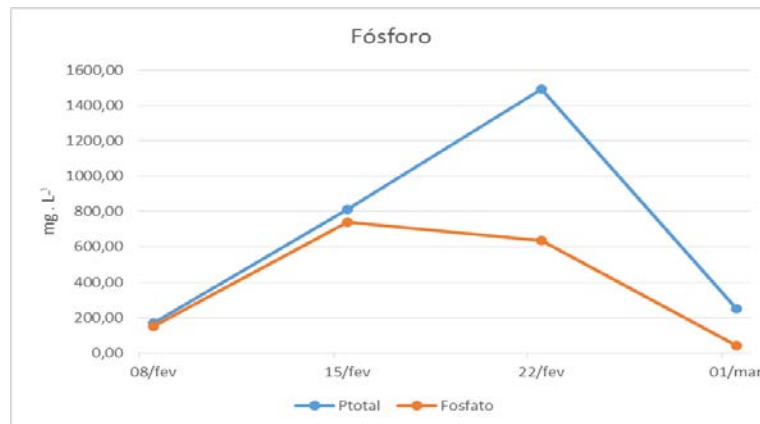


Figura 3: Comportamento do P no processo de produção

A figura 4 demonstra o comportamento do N da tabela 2, as formas preferencias de absorção de N pelas plantas são a forma amoniacal ou de nitrato, no entanto a forma orgânica também é importante fonte de reserva. Os resultados do N são satisfatórios, inclusive para o nitrito que representa uma forma tóxica de nitrogênio (MEURER, 2006; MOTA E VON SPERLING, 2009).

O processo de decantação, diferentemente do fósforo, não influenciou de forma significativa a concentração de N na amostra final, com valores a serem confirmados no laudo final de macro e micronutrientes. Os valores de NT podem ser confirmados pela análise elemental da figura 6.

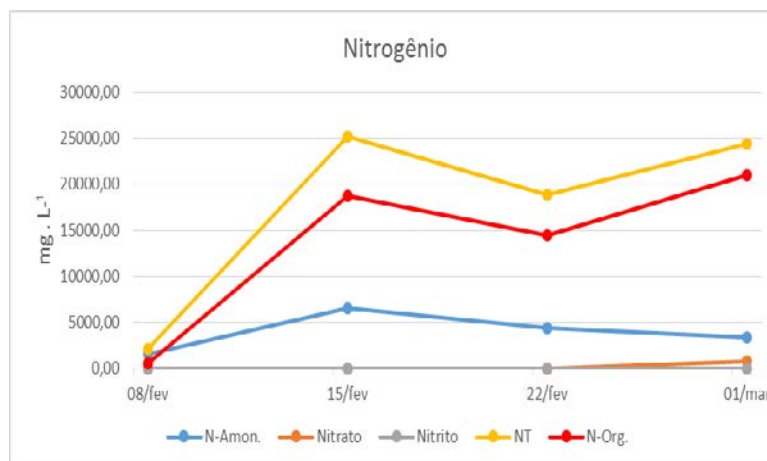


Figura 4: Comportamento do N no processo de produção

A figura 5 demonstra o comportamento do C da tabela 2, que representa importante elemento em fertilizantes orgânicos devido as suas influências nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e/ou substratos. Sua degradação tem influência direta na disponibilização de nutrientes para as plantas, principalmente o N. É um elemento obrigatório com garantias mínimas para registro de fertilizantes orgânicos (MEURER, 2006; MAPA, 2009; MOTA E VON SPERLING, 2009).

Os valores alcançados são crescentes em todas as amostras, com valor final considerado satisfatório, inclusive acima da quantidade exigida pela legislação brasileira para fertilizantes orgânicos fluídos, cujo percentual mínimo de COT é de 8% (MAPA, 2009). O valor de CI é baixo, devido principalmente a origem dos produtos que compõem o *mix* do biofertilizante. Os valores de C podem ser ratificados pela análise elemental da figura 6.

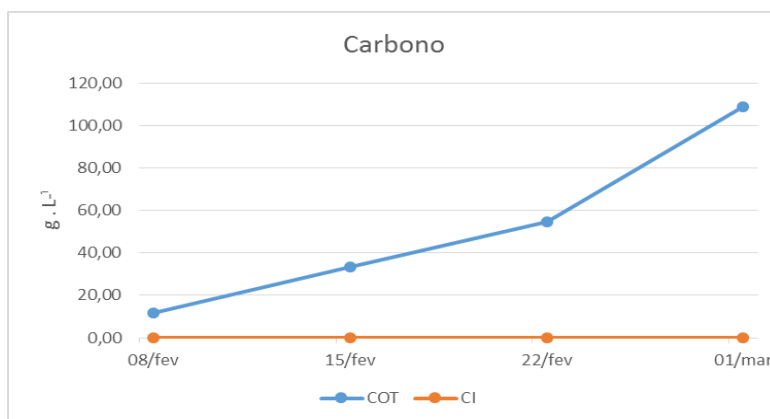


Figura 5: Comportamento do C no processo de produção

A figura 6 demonstra o comportamento da análise elementar do C, N e S, da tabela 3. Embora com metodologias diferentes a figura 6 ratifica os resultados das demais análises, com exceção do S, considerado um nutriente essencial para as plantas, cuja concentração ficou próxima a 1%. A concentração de C é próxima a 11% e de N próxima a 2,5%.

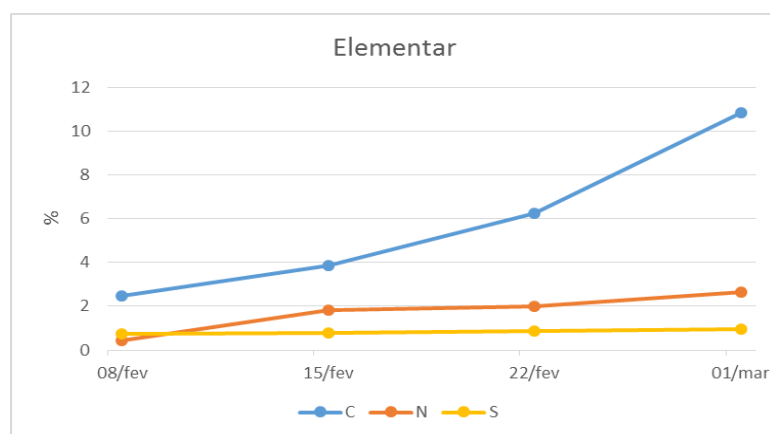


Figura 6: Análise elementar de C, N e S

CONCLUSÕES

Como mencionado anteriormente no processo de ajuste do pH ocorre uma demanda elevada por alcalinidade, principalmente nos primeiros 10 dias do processo, esse fato indica a busca por produtos com maior alcalinidade para compor o *mix* inicial e reduzir a demanda por calcário agrícola.

Com relação aos sólidos, pode-se concluir que a presença e evolução dos sólidos é satisfatória. Os SSV que se mantiveram em crescimento mesmo com CE elevada, o que demonstra que ocorreu crescimento de microrganismos no sistema.

Embora as metodologias utilizadas para análises químicas sejam diferentes os resultados se confirmam pelas proximidades dos mesmos. As metodologias demonstraram uma composição química do biofertilizante pode ser considerada satisfatória, com exceção do P que permaneceu no lodo devido a decantação. Com cerca de 2,5% de N e 11% de C.

O domínio do processo produtivo com o *mix* de resíduos tem resultados satisfatórios, apontando para busca de novos procedimentos relacionados ao elemento P, referente a decantação e busca por um produto que substitua o calcário agrícola, para evitar a precipitação na forma de fosfato de cálcio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMUNDSON, R. et al. Soil and human security in the 21st century. *Science*, v. 348, n. 6235, p. 1261071, 2015. ISSN 0036-8075.
2. ASSOCIATION, A. P. H.; ASSOCIATION, A. W. W. Standard methods for the examination of water and wastewater. Baltimore: American Public Health Association, 2005. ISBN 0-87553-047-8.
3. BARBOSA, A. D. S.; DE MEDEIROS, M. B. Potencial de ação elicitora dos biofertilizantes líquidos na indução de resistência sistêmica vegetal. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, n. 2, 2007. ISSN 1980-9735.
4. BRASIL. Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980 - Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília: D.O.U. de 17 de dezembro de 1980.
5. _____. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 - Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente. providências. Brasília: D.O.U. de 02 de setembro de 1981.
6. _____. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 - dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília: D.O.U. de 12 de julho de 2004.
7. _____. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 - Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília: D.O.U. de 23 de dezembro de 2010a.
8. _____. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Brasília: D.O.U de 03 de agosto de 2010b.
9. DE MEDEIROS, M. B.; DA SILVA LOPES, J. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. *Bahia Agrícola*. Salvador. v. 7, 2006.
10. FIGUEIREDO, P. G.; TANAMATI, F. Y. Adubação orgânica e contaminação ambiental. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 5, n. 3, 2010. ISSN 1981-8203.
11. GUERRA, S. Resíduos sólidos: comentários à Lei 12.305/2010. 2012.
12. MAPA, M. D. A., PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa SDA nº 27 de 05 de junho de 2006 (alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016) - Os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nesta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Brasília: Republicada no D.O.U. de 02 de maio de 2016, 2006.
13. _____. Instrução Normativa SDA nº 25 de 23 de julho de 2009 - Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: D.O.U. de 28 de julho de 2009.
14. MEDEIROS, M. D.; WANDERLEY, P.; WANDERLEY, M. Biofertilizantes líquidos: processo trofobiótico para proteção de plantas em cultivos orgânicos. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*. 31: 38-44 p. 2003.
15. METCALF, L.; EDDY, H. P. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2016. ISBN 9788580555233.
16. MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Evangraf, v. 5, 2006.
17. MOTA, F.; VON SPERLING, M. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. ABES: Rio De Janeiro, Brasil, v2, 2009.
18. SANHUEZA, R. M. V. Produção de morangos no sistema semi-hidropônico. IV Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas, p. 61, 2007.
19. SCHMUNDT, H. Essential Element Becoming Scarce: Experts Warn of Impending Phosphorus Crisis. *Spiegel International*, Apr. 2010. Disponível em: <<http://www.spiegel.de/international/world/essential-element-becoming-scarce-experts-warn-of-impending-phosphorus-crisis-a-690450.html>>. Acesso em: 20 abr. 2016.
20. UPARIVONG, S. Bioclean and liquid biofertilizers a new way to the green area. *International Journal of GEOMATE*, v. 2, n. 1, p. 144-147, 2012.