



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102019017909-0 A2



* B R 1 0 2 0 1 9 0 1 7 9 0 9 A 2 *

(22) Data do Depósito: 28/08/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 09/03/2021

(54) **Título:** PROCESSO DE TRATAMENTO DE LIXIVIADO, USO DE LODO RESIDUAL, PROCESSO DE OBTENÇÃO DE UM BIOSSÓLIDO, BIOSSÓLIDO E USOS DO BIOSSÓLIDO

(51) **Int. Cl.:** C05F 11/02; C05F 15/00; C05F 9/04.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO; INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO.

(72) **Inventor(es):** ZORAYDE LOURENÇO DE OLIVEIRA; SILVIO ROMERO DE MELO FERREIRA; MARÍLIA LYRA COSTA CASTRO; JOSÉ FERNANDO DO NASCIMENTO JÚNIOR.

(57) **Resumo:** PROCESSO DE TRATAMENTO DE LIXIVIADO, USO DE LODO RESIDUAL, PROCESSO DE OBTENÇÃO DE UM BIOSSÓLIDO, BIOSSÓLIDO E USOS DO BIOSSÓLIDO. A presente invenção descreve um processo de tratamento de lixiviado com extrato de semente de Moringa oleífera Lam obtendo-se um lodo residual que é útil para obtenção de um bioossólido. Especificamente, a presente invenção descreve o processo de obtenção de um bioossólido oriundo de lodo residual do tratamento de lixiviado e seu uso para produção de mudas e paisagismo em aterros sanitários. A presente invenção se situa nos campos da agronomia e engenharia ambiental.



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

PROCESSO DE TRATAMENTO DE LIXIVIADO, USO DE LODO RESIDUAL,
PROCESSO DE OBTENÇÃO DE UM BIOSSÓLIDO, BIOSSÓLIDO E USOS
DO BIOSSÓLIDO

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descreve um processo de tratamento de lixiviado com extrato de semente de *Moringa oleífera* e o uso do lodo residual obtido desse processo. Especificamente, a presente invenção descreve o processo de obtenção de um bioossólido oriundo de lodo residual do tratamento de lixiviado. A presente invenção se situa nos campos da agronomia e engenharia ambiental.

Antecedentes da Invenção

[0002] A contaminação é considerada uma alteração dos equilíbrios químico e biológico no solo, que pode ocorrer pela infiltração dos líquidos percolados (lixiviados), provenientes da umidade natural e da água de constituição presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos de degradação biológica dos materiais orgânicos e da água de infiltração na camada de cobertura e na camada interior das células de aterramento, somado a materiais dissolvidos ou suspensos que foram tirados ou extraídos da massa de resíduos (Prosab, 2009).

[0003] Os processos de tratamento para lixiviados muitas vezes não são capazes de atingir os parâmetros exigidos pela legislação, sendo necessário utilizar mais de uma forma de tratamento. Segundo Jucá et al (2009), a adequação à legislação se torna uma difícil tarefa, devido à complexidade do lixiviado, principalmente em função da sua variabilidade. Muitas formas de tratamento utilizadas para o lixiviado não são capazes de atingir os parâmetros exigidos pela legislação.

[0004] O tratamento adequado do lixiviado vem alcançando uma maior

atenção dos órgãos públicos e de pesquisadores, visto que políticas mais eficientes estão sendo implantadas, buscando o estabelecimento de padrões ambientais de descartes cada vez mais rígidos, devido às elevadas concentrações de poluentes encontrados nos efluentes e a necessidade de manutenção da qualidade ambiental tanto pelo aspecto de cuidados com o meio ambiente e com a sociedade quanto pelo aspecto de maximização de qualidade devido à recente lei que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

[0005] Inicialmente, o uso do extrato das sementes de moringa como polímero natural se deu para tratamento de água (Silva, 2005). Recentemente, estudos vêm sendo conduzidos para esgoto e lixiviado, uma vez que se apresenta como uma alternativa viável de tratamento por ser capaz de reter os metais contaminantes em uma matriz sólida. Contudo, alguns estudos têm demonstrado que, apesar da aplicação do extrato de moringa ser positiva para os parâmetros cor, odor, turbidez, pH e odor, poucas são as pesquisas voltadas ao tratamento de lixiviados com utilização de extrato da semente de *Moringa oleífera* Lam como coagulante natural no tratamento de afluentes de aterros sanitários (Bernardo, 2009; Oliveira 2010; Oliveira, 2015).

[0006] O lodo oriundo do tratamento de lixiviado pode conter microrganismos, sólidos orgânicos e não orgânicos e sólidos do próprio coagulante. Prover um destino adequado a este material, de forma a minimizar os impactos ao ambiente e à saúde do homem é, sem dúvida, essencial.

[0007] Existem diferentes processos para fazer a desinfecção do lodo, podendo-se citar a adição de cal, tratamento térmico e compostagem. No Brasil, os processos mais utilizados para desinfecção do lodo de estações de tratamento de esgoto são a desinfecção com adição de cal e a compostagem (Transversal, 2008).

[0008] A compostagem é um processo de decomposição da matéria orgânica em que fatores como a temperatura, concentração de oxigênio, umidade e disponibilidade de nutrientes devem ser controlados (Oliveira, 2012). O produto

final da compostagem pode ser utilizado na agricultura, desde que esteja em conformidade com a legislação vigente. O aumento da temperatura durante o processo de compostagem contribui para a desinfecção de patógenos (Transversal, 2008; Caern, 2016).

[0009] O uso do lodo gerado durante o tratamento de esgoto na agricultura é uma forma ambientalmente correta de se dar um destino para o lodo. Contudo, a utilização do lodo proveniente do tratamento de esgoto deve ser feita de forma criteriosa, de forma a não contaminar o solo e não colocar em risco a saúde dos trabalhadores e da população. Estudos realizados por Colodro e Espíndola (2006) e Alves e colaboradores (2007) mostraram que o crescimento de plantas de eucalipto e de espécies nativas de Cerrado foi maior quando se utilizou lodo de esgoto na adubação.

[0010] No Brasil, a aplicação de biossólidos, como matéria prima de fertilizantes, condicionadores de solos ou substrato para produção de mudas, depende da anuência prévia do órgão governamental responsável pela fiscalização ambiental local, do licenciamento ambiental e do registro do fabricante no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

[0011] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[0012] O documento não patentário de Dissertação de mestrado intitulado "*Avaliação do uso da Moringa oleífera Lam para fitorremediação e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*" de Lourenço de Oliveira, Zorayde, publicado em 2010, revela o tratamento de lixiviados com utilização de extrato da semente de *Moringa oleífera* Lam como coagulante natural no tratamento de afluentes de aterros sanitários e a viabilidade da espécie *Moringa oleífera* Lam de recuperar solo contaminado por resíduos sólidos urbanos através da Fitorremediação, bem como potencial de suas sementes, na forma de extrato, para o pré-tratamento do lixiviado de aterros sanitários. Há menção da utilização de lodo para produção de composto e os parâmetros utilizados foram diferentes dos da presente invenção.

[0013] O documento não patentário intitulado “*Lixiviado de aterro sanitário tratado com extratos de Moringa oleífera Lam isolados e combinados com Abelmoschus esculentus L. Moench e Biossurfactante*” de Oliveira, Z., publicado em 2015 revela um tratamento de lixiviado com testes de bancada com parâmetros específicos, diferentes dos utilizados na presente invenção, e avalia a eficiência do uso de extratos de sementes de Moringa oleífera Lam, isolados e combinados com Quiabo (*Abelmoschus esculentus L. Moench*) e biossurfactante no tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

[0014] O documento BR 10 2017 010980, intitulado “*Processo de compostagem ultrarrápido e respectivo produto final obtido*” revela um processo de compostagem ultrarrápido e seu respectivo produto final obtido, pertencentes ao campo de aplicação dos métodos de reciclagem, transformação e reaproveitamento de materiais orgânicos. O processo consiste em transformar restos de alimentos em adubo rico e fértil utilizando métodos automáticos em máquinas apropriadas de compostagem, através da mistura controlada de determinados tipos de ingredientes em etapas, duração, temperatura e dosagens específicas. Não há menção da utilização do lodo residual como matéria prima.

[0015] O documento PI 0609997-1, intitulado “Processo, ou sistema, em estágios para a compostagem de um material orgânico” revela, em várias formas de realização, processos, ou sistemas, em estágios para a compostagem de materiais orgânicos, como refugos de material animal e plantas. Em um aspecto, a invenção envolve a passagem em estágios de material orgânico através de ecologias de compostagem alternativas, de modo a otimizar a diversidade de organismos apodrecidos que podem trabalhar sobre os materiais orgânicos. Em algumas formas de realização, um meio termofílico, bem misturado e robusto é criado por compostagem aeróbica no estágio primário. O composto primário produzido por este estágio pode ser transferido para uma ecologia de compostagem estratificada alternativa, em que o composto secundário desce com o passar do tempo de uma camada

relativamente estável de compostagem aeróbica termofílica residual para camadas subjacentes que envolvem uma degradação aeróbica não termofílica do material orgânico. Não há menção da utilização do lodo residual como matéria prima.

[0016] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

Sumário da Invenção

[0017] Dessa forma, a presente invenção resolve os problemas do estado da técnica a partir do processo de tratamento de lixiviado com extrato das sementes de *Moringa oleífera* Lam obtendo-se um lodo residual que é utilizado no processo de obtenção de um biossólido pelo processo de compostagem. O biossólido obtido é útil para a produção de mudas e paisagismo em aterros sanitários agindo como um fertilizante natural.

[0018] A presente invenção apresenta como conceitos inventivos os seguintes objetos.

[0019] A presente invenção apresenta como primeiro objeto o processo de tratamento de lixiviado compreendendo as etapas:

- (a) Coleta de lixiviado bruto;
- (b) Obtenção do extrato de *Moringa oleífera* Lam. por trituração; e,
- (c) Tratamento do lixiviado bruto com extrato obtido em (b);

[0020] A presente invenção apresenta como segundo objeto o uso do lodo residual obtido pelo processo de tratamento de lixiviado, definido no primeiro objeto, para obtenção de um biossólido.

[0021] A presente invenção apresenta como terceiro objeto o processo de obtenção de um biossólido compreendendo as etapas de:

- (i) Compostagem com o lodo residual conforme definido na reivindicação 3;

- (ii) Secagem e peneiramento; e,
- (iii) Armazenamento do bio sólido em sacos plásticos.

[0022] A presente invenção apresenta como quarto objeto o bio sólido obtido pelo processo de obtenção de um bio sólido definido no terceiro objeto.

[0023] A presente invenção apresenta como quinto objeto o uso do bio sólido para produção de mudas e paisagismo de aterro sanitário.

[0024] A presente invenção apresenta como um sexto objeto o uso do bio sólido para a produção de frutíferas e hortaliças, ou seja, para fins alimentícios (Agrônômicos).

[0025] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e serão descritos detalhadamente a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0026] São apresentadas as seguintes figuras:

[0027] A Figura 1 mostra o fluxograma das etapas realizadas para obtenção de extratos coagulante de *Moringa oleífera* e realização, caracterização e análises dos experimentos.

[0028] A Figura 2 mostra o fluxograma de preparo do extrato da semente de *Moringa oleífera* Lam.

[0029] A Figura 3 mostra a visão geral do ensaio no Cone de Imhoff.

[0030] A Figura 4 mostra a visão geral da montagem do sistema simplificado de filtros.

[0031] A Figura 5 mostra o resultado visual do ensaio no Cone de Imhoff de coagulação/floculação: à direita o efluente bruto (A) como foi coletado e à esquerda o efluente após ser submetido ao tratamento com o extrato da semente de *Moringa oleífera* (B1), (B2) sem agitação (a), decantação após tratamento com o extrato da semente de *Moringa oleífera* com casca (b e c).

[0032] A Figura 6 mostra a sequência de operações para realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com diferentes extratos de sementes de *Moringa oleífera* nos filtros com manta de polietileno MacTex® N, após o

ensaio nos Cone de Imhoff. Nesta figura, A representa a manta de 130g, B representa a manta de 150 g, C representa a manta de 200 g, D representa a manta de 300 g e E representa a manta de 400 g.

[0033] A Figura 7 mostra a coleta dos tratamentos após 4 dias após realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com diferentes dosagens de extratos de sementes de *Moringa oleífera* e manta de polietileno MacTex® N, na sequencia dos filtros. (A, B, C, D e E). Nesta figura, LB representa o lixiviado bruto, A representa a manta de 130g, B representa a manta de 150 g, C representa a manta de 200 g, D representa a manta de 300 g e E representa a manta de 400 g.

[0034] A Figura 8 mostra o modelo do experimento em escala real em que A representa a caixa d'água testemunha (lixiviado bruto), B representa a caixa d'água de lixiviado com extrato de semente de Moringa e C representa a caixa d'a água com lixiviado tratado.

[0035] A Figura 9 mostra a sequência de operações para realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com extratos de sementes de *Moringa oleífera* em escala real utilizando caixas d'água.

[0036] A Figura 10 mostra a sequência do preparo do extrato da semente de Moringa oleífera Lam: pesagem das sementes (A), sementes com casca e sem casca (B), pó das sementes trituradas ou torta de semente de moringa (C), extrato (D).

[0037] A Figura 11 mostra um desenho esquemático da montagem de como preparar o composto orgânico.

[0038] A Figura 12 mostra a sequência de operações para formação do composto utilizando o lodo residual do coagulante de moringa após o tratamento do lixiviado. Nesta figura LB representa Lixiviado bruto (A) LB após ser submetido ao tratamento com o extrato da *Moringa* (B) e (C), Lixiviado com tratamento com o extrato da *Moringa* com e sem casca (D e E), Lodo residual após tratamento e decantação (F) Lodo residual com resto de poda (folhas) para formação do composto.

[0039] A Figura 13 mostra o composto oriundo da compostagem do lodo residual (biossólido).

[0040] A Figura 14 mostra a semeadura da alface. A representa a sementeira da alface em ambos os tratamentos, B representa a germinação de sementes de alface com 5 dias, C representa a germinação da alface com 15 dias do controle e D a germinação da alface com 15 dias do biossólido de lodo residual. E representa a germinação do controle com 25 dias e F a germinação do biossólido de lodo residual com 25 dias de tratamento. G e H representam o alface no 30º dia sendo A o controle e B o biossólido de lodo residual.

[0041] A Figura 15 mostra o desenvolvimento das mudas de alface (A – controle) e (B – biossólido de lodo residual) aos 35, 45 e 50 dias.

[0042] A Figura 16 mostra o desenvolvimento da raiz da alface (A-controle) e (B- biossólido de lodo residual) aos 50 dias.

[0043] A Figura 17 mostra o resultado visual das análises microbiológicas da alface do composto do lodo residual (ACLR) composto comercial (ACC) e alface composto feria orgânica (ACF).

[0044] A Figura 18 mostra a germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato, germinação da moringa no SCLR= substrato do composto do lodo residual e SCC = substrato composto comercial com 4 dias (A) e (B), respectivamente, com 12 dias (E e F), respectivamente, com 25 dias (I e J), respectivamente, e com 30 dias (L e M), respectivamente.

[0045] A Figura 19 mostra o desenvolvimento em altura de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato: SCC (A) e SCLR com 40 dias.

[0046] A Figura 20 mostra o desenvolvimento em biomassa de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato: SCC (A) e SCLR (B) com 40 dias.

[0047] A Figura 21 mostra o desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato transplante da moringa, na coluna i) com 15

dias SCC (A) (esquerda) e SCLR (B) (direita) na coluna ii) com 25 dias SCC (A) (esquerda) e SCLR (B) (direita), e na coluna iii) com 35 dias e indicação da altura com 35 dias, SCC (A) (esquerda) e SCLR (B) (direita). Todos em vasos de 3 Litros.

[0048] A Figura 22 mostra o desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato: SCC - substrato Composto comercial (A) e SCLR –substrato composto lodo residual. Na coluna i) a esquerda: Mudanças de moringa com 45 dias: SCC (A) e SCLR (B); na coluna i) a direita: Mudanças da moringa 50 dias : SCLR (B); na coluna ii) a esquerda: Mudanças de moringa com 55 dias: SCC (A) produção de biomassa, SCC – substrato composto comercial (A); na coluna ii) a direita, Mudanças da moringa com 55 dias: SCLR (B) produção de biomassa SCLR substrato composto de lodo residual (B).

[0049] A Figura 23 mostra o desenvolvimento em altura e produção de biomassa de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato: SCC (A) e SCLR, composto lodo residual (B). Na coluna i) a esquerda: Mudanças de moringa com 50 dias : SCC (A) e SCLR (B); na coluna i) a direita: Mudanças de moringa com 60 dias: SCLR (B) e SCC (A); na coluna ii) a esquerda: Mudanças de moringa com 60 dias: SCC –substrato Composto comercial (A) produção de biomassa; na coluna ii) a direita: Mudanças de moringa com 60 dias: SCLR substrato composto lodo residual (B) produção de biomassa.

Descrição Detalhada da Invenção

[0050] O desenvolvimento de processos eficientes e com custo-benefício adequado para o tratamento do lixiviado é fundamental para diminuição da contaminação do solo. Desse modo, a presente invenção traz uma alternativa tecnológica que proporciona melhoria das condições de tratabilidade do lixiviado ao se empregar o extrato da semente da *Moringa oleífera* Lam como coagulante natural no processo de tratamento de lixiviado e uso do lodo residual da tratabilidade do lixiviado para produção de um biossólido, contribuindo para o uso em áreas de produção de mudas e no paisagismo do

próprio aterro sanitário.

[0051] Sendo assim, tem-se o desenvolvimento do processo do extrato da semente de *Moringa oleífera* Lam como coagulante natural no tratamento de lixiviado de aterro sanitário, bem como o biossólido produzido com o lodo residual deste processo quando aplicado na produção de mudas florestais, por apresentar teores de macro e micronutrientes compatíveis com insumos ou adubos, diminuindo o custo de produção.

[0052] Os resultados dos testes realizados mostraram que a técnica de formação do biossólido foi eficiente visto que o composto de lodo residual não apresentou toxicidade após o tratamento, indicando o uso deste na adubação do viveiro do aterro para produção de mudas e reflorestamento da área do aterro sanitário. O composto do lodo residual se equivale ao uso do substrato comercial, na produção das mudas, indicando o uso deste como alternativa de biossólido na produção de mudas.

[0053] O composto de lodo residual não apresentou toxicidade para as mudas de alface que apresentaram 100% de germinação, indicando que o processo de compostagem foi eficiente e que a mortalidade de coliformes totais e fecais ocorreu em 96% e 82% dos casos. Os resultados confirmam a possibilidade do uso do biossólido de lodo residual como uma alternativa de compostagem para a produção de mudas e paisagismo.

[0054] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta o processo de tratamento de lixiviado compreendendo as etapas:

- (a) Coleta de lixiviado bruto;
- (b) Obtenção do extrato de *Moringa oleífera* Lam. por trituração; e,
- (c) Tratamento do lixiviado bruto com extrato obtido em (b).

[0055] Em uma concretização do processo de tratamento, a etapa (c) compreende duas subetapas:

- (c1) Coagulação/floculação/sedimentação; e,
- (c2) Filtração.

[0056] Em uma concretização do processo de tratamento, na etapa (c) é obtido

um lodo residual.

[0057] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta o uso do lodo residual obtido pelo processo de tratamento de lixiviado, definido no primeiro objeto, para obtenção de um biossólido.

[0058] Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta o processo de obtenção de um biossólido compreendendo as etapas de:

(i) Compostagem com o lodo residual conforme definido na reivindicação 3;

(ii) Secagem e peneiramento; e,

(iii) Armazenamento do biossólido em sacos plásticos.

[0059] Em uma concretização do processo de obtenção de um biossólido, a etapa (i) compreende oxidação intensa a temperaturas de 45 a 70°C e maturação por humidificação.

[0060] Em uma concretização do processo de obtenção de um biossólido, a etapa (i) compreende a montagem da pilha de compostagem com lodo residual do tratamento de lixiviado, folhas de poda e casca de semente de *Moringa oleífera*.

[0061] Em uma concretização do processo de obtenção de um biossólido, a etapa (i) a dita pilha de compostagem é revolvida uma vez por semana durante 3 semanas e após esse período ocorre dois revolvimentos por mês

[0062] Em uma concretização do processo de obtenção de um biossólido, a dita secagem na etapa (ii) ser uma secagem natural e o dito peneiramento ocorrer em peneira de 15 mm.

[0063] Em um quarto objeto, a presente invenção apresenta o biossólido obtido pelo processo de obtenção de um biossólido definido no terceiro objeto.

[0064] Em uma concretização o biossólido compreende lodo residual do tratamento de lixiviado, folhas de poda, casca da semente de moringa e extrato de semente de *Moringa oleífera* Lam.

[0065] Em um quinto objeto, a presente invenção apresenta o uso do biossólido para produção de mudas e paisagismo de aterro sanitário.

[0066] Em um sexto objeto, a presente invenção apresenta o uso do biossólido para a produção de frutíferas e hortaliças, ou seja, para fins alimentícios (Agronômicos).

Definições

[0067] Folhas de poda: como aqui utilizado, o termo “folhas de poda” se refere a folhas de árvores que foram podadas, restos de poda de árvores e são destinadas ao aterro sanitário para transformar em composto foram utilizadas na produção do composto para alimentar os microrganismos durante o processo de compostagem e fornecer carbono durante a fase de compostagem, as folhas de poda foram utilizadas para enriquecer o composto.

[0068] Biossólido: como aqui utilizado, o termo “biossólido” se refere a um composto oriundo de lodo residual após tratamento de lixiviado de aterro sanitário com extrato obtido da semente da espécie florestal Moringa oleífera. Tem a finalidade de manejo ambientalmente correto dos resíduos e efluente (lixiviado) gerados durante o tratamento de sólidos urbanos. O tratamento do lixiviado, utilizando em seu processo, extrato de Moringa oleífera, resulta em lodo com características para reuso após tratabilidade. O processo de compostagem foi utilizado para formação de biossólido com características para uso florestal (produção de mudas para o próprio Aterro Sanitário). O uso do biossólido como adubo é uma das alternativas mais promissoras para disposição final deste resíduo, em virtude da viabilidade de uso do material para esse fim e da sustentabilidade de tal destinação (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

[0069] O termo "biossólido foi criado pelo Dr. Bruce Logan da Universidade do Arizona, nos Estados Unidos, e reconhecida formalmente em 1991, pelo comitê executivo da Water Environment Federation dos Estados Unidos (WEF/U.S.) e, logo, adotada pela *United States Environmental Protection Agency* USEPA).

[0070] Hoje, este termo é usado em todo o mundo para designar o lodo estabilizado gerado nas estações de tratamento, que possa ser reciclado, recebendo assim, um destino final mais útil, por exemplo, a aplicação no solo

para fins agrícolas (WEF, 1997 apud MACHADO, 2001).

[0071] A WEF, *Water Environment Federation*, recomenda a utilização do termo, biossólido, que designa o lodo tratado ou beneficiado das estações de tratamento que posteriormente possa ser reciclado podendo receber um destino mais nobre, como, por exemplo, a sua aplicação no solo para fins agrícolas. Desta forma, o termo "lodo" deve ser reservado para o lodo bruto, primitivo ou secundário, que ainda não fora submetido a nenhum processo de estabilização biológica.

[0072] O biossólido é o composto obtido a partir do lodo residual após tratamento do lixiviado com extratos de semente de *Moringa oleífera* Lam, isto é, o lodo originado em estação de tratamento de Aterro sanitário que passou por tratamento biológico (*Lixiviado + extrato de semente de Moringa oleífera*) para redução de organismos patogênicos, que pode ser utilizado diretamente em solos agrícolas, como matéria prima da compostagem.

[0073] O lodo residual foi transformado em composto (Biossólido) após tratamento do lixiviado com extratos de sementes de moringa. No processo de compostagem do lodo residual (*Lixiviado + extrato de semente de Moringa oleífera*), adicionaram-se restos de poda de árvores e cascas de semente de moringa obtida durante o preparo do extrato coagulante de semente de moringa, para enriquecer o composto.

[0074] O biossólido (lodo submetido a processo de higienização e tratamento, como compostagem ou estabilização alcalina, e com finalidade útil) é inclusive, normatizado no Brasil, pela Resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que “define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados” (BRASIL, 2006, p. 01).

[0075] O seu aproveitamento agrícola contempla alguns benefícios por tratar-se de um resíduo com elevado teor orgânico, atuando, por sua vez, como componente relevante à capacidade produtiva do solo (PIRES e ANDRADE, 2014). Ademais, é possível caracterizar o biossólido, enquanto, fertilizante

nitrogenado, pois além do nitrogênio, o lodo de esgoto contém fósforo e micronutrientes essenciais, como ferro, cobre, manganês, zinco (LOBO et al., 2013).

[0076] O composto do lodo residual de extrato de semente de moringa e o extrato comercial proporcionaram respostas iguais de crescimento, de nutrição e de índice de qualidade nas plantas de moringa. A compostagem é uma alternativa relativamente simples e barata para o tratamento de resíduos que, além de diminuir o volume de resíduos, produz adubo rico em nutrientes, sem odor, livre de agentes patogênicos e com pH e temperaturas adequadas para o uso nas áreas de reflorestamento do aterro sanitário.

[0077] A técnica tem, ainda, importância econômica, pois diminui o uso de fertilizantes químicos nas áreas de plantio. Neste sentido, a compostagem do lodo residual do lixiviado após a tratabilidade realizada de maneira contínua, atende à regulamentação específica da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Além disso, é uma técnica de baixo custo, se comparada a outros tipos de adubos químicos.

[0078] O biossólido do lodo residual se equivale ao uso do substrato comercial na produção das mudas, podendo ser substituído para a adubação do viveiro do aterro para produção de mudas e reflorestamento da área de aterro sanitário e promovendo a redução do risco de contaminação do solo, lençóis freáticos e leitos de rios, podendo gerar um forte impacto ambiental quando o lixiviado é descartado do meio ambiente.

[0079] Ainda, a presente invenção permite o desenvolvimento de novos métodos de pesquisa no ramo da geotecnia e do meio-ambiente e o processo proposto apresenta-se eficiente, podendo ser indicado para aplicação em escala real, visando sua adoção pelos aterros sanitários. Isso, por sua vez, torna possível a minimização do impacto causado pela disposição final inadequada do lixiviado reduzindo, também, a contaminação por coliformes fecais.

Exemplos

[0080] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

Exemplo 1. Processo de obtenção de biossólido

[0081] Pelo fluxograma apresentado na Figura 1 observa-se a sequência das etapas para obtenção dos extratos coagulante de *Moringa oleífera* Lam para a obtenção do biossólido da presente invenção e etapas de realização, caracterização e análise dos experimentos.

Coleta das amostras dos lixiviados

[0082] O lixiviado utilizado nos experimentos foi proveniente do Aterro Sanitário da Muribeca CTR- Candeias situado no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, próximo ao eixo da integração Prazeres – Jaboatão, distando 16 km do centro de Recife, situado nas coordenadas Latitude – 8.164258; Longitude:- 34.985286.

[0083] As amostras do lixiviado bruto após coletadas da caixa de vazão foram estocadas em bobonas de polietileno para a realização dos ensaios.

[0084] Estas amostras foram acondicionadas a 4°C, de acordo com a metodologia de conservação do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), com o objetivo de minimizar o potencial de volatilização ou biodegradação. O lixiviado coletado foi utilizado para os ensaios referentes ao tratamento do lixiviado utilizando o extrato de pó da semente de *Moringa oleífera* Lam com e sem casca.

Caracterização físico-química e microbiológica do lixiviado

[0085] A caracterização físico-química foi realizada no Laboratório de Qualidade do Departamento de Química da Universidade Federal de Pernambuco (LEAQ), e as análises microbiológicas realizadas no Laboratório de Microbiologia Industrial, no Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco.

[0086] Os parâmetros de controle ambiental analisados na caracterização do

lixiviado do aterro e nos ensaios de tratabilidade foram: condutividade, pH, DBO₅, DQO, cor, turbidez, metais pesados, coliformes totais e fecais (realizados em triplicata) determinados segundo o STANDARD METHODS (2005), exceto para coliformes para os quais se utilizou a técnica descrita pela Colilert® (reagentes Idexx, EUA). A Tabela 1 apresenta os parâmetros a serem determinados e os métodos empregados nas análises de lixiviado antes e após experimentos.

Tabela 1. Parâmetros determinados e métodos empregados nas análises do lixiviado.

Parâmetros	Métodos de análise
Turbidez	Turbidímetro
Condutividade	Potenciométrico
Coliformes fecais	Tubos múltiplos
Coliformes totais	Tubos Múltiplos
Cor	Fotocolorimétrico SMEWW 2120 C
DBO₅	Eletrométrico com membrana
DQO	Eletrométrico com membrana
pH	Potenciométrico
Metais (Fe)	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Nitrogênio Amoniacal	Eletrométrico (Eletrodo de íon seletivo - Orion Model 720)

[0087] Com os dados obtidos, foi realizada uma análise de variância para um experimento com um único fator, com delineamento experimental inteiramente aleatorizado. A condição de aleatoriedade a ser adotada durante a fase experimental teve como objetivo a minimização dos efeitos de qualquer variável perturbadora, que possa influenciar os resultados. Os dados foram obtidos com o auxílio do programa de computador Statistica 2010 for Windows ao nível de significância de 5%. Em um primeiro momento, procurou-se verificar a influência das dosagens do extrato de semente de Moringa oleifera Lam no tratamento de lixiviado.

[0088] O resultado das características físicas e químicas das amostras do

lixiviado de aterro sanitário utilizadas nos ensaios de tratabilidade com extrato da semente de *Moringa oleífera* Lam é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Características físicas e químicas das amostras do lixiviado bruto utilizadas nos ensaios dos Experimentos e filtro simplificado.

Parâmetros		Lixiviado bruto	Padrões CONAMA357/05
Cor	mgL ⁻¹	4380	75
pH	-	8,2	5-9
Turbidez	NTU	600	100
Condutividade	µScm ⁻¹	9,43	
DQO	mgdeO ₂ /L	4195	
DBO ₅	mgdeO ₂ /L	3049	60mg/L ⁻¹

[0089] Pelos dados obtidos constata-se que a cor do lixiviado apresenta valores característicos de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos, os valores de pH estão condizente a aterros com idade mais avançada. A condutividade elétrica de lixiviado de aterros utilizando a recirculação apresenta valores superiores em comparação ao de aterros convencionais, os quais variam no decorrer do tempo de 2,5 a 35 mS/cm, sendo que o valor de condutividade do lixiviado bruto encontrado na literatura é de 6,26 µS/cm (IPT/CEMPRE, 2000) dessa forma os resultados obtidos nas amostras não apresentaram condutividade elevada. Os valores para DQO e DBO₅ são próximos a resultados já relatados no Estado da técnica para o mesmo aterro.

Preparo do extrato da semente de *Moringa oleífera* Lam

[0090] As sementes de *Moringa oleífera* Lam foram provenientes do sítio São Bento localizado em São Bento do Una/PE, em maio de 2016 totalizando 20 kg de material. Após secas, as sementes serão descascadas manualmente e armazenadas para posterior preparo do extrato (Figura 2). Foram preparados dois tipos de extrato, sendo um com o pó da semente de *Moringa* sem casca e o outro com o pó da semente de *Moringa* com casca.

Processo de tratamento de lixiviado bruto

[0091] O lixiviado bruto foi tratado com extrato de semente de *Moringa oleífera* Lam com e sem casca. A Tabela 3 apresenta os tratamentos que foram realizados.

Tabela 3. Descrição dos tratamentos de lixiviado bruto utilizados nos ensaios de Cone de Imhoff e filtro simplificado.

Tratamentos
LB - Lixiviado bruto- Referencia
LBEMC- Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa com casca
LBEMS- Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa sem casca

[0092] As dosagens foram escolhidas mediante os resultados já descritos na literatura. A semente de *Moringa oleífera* foi utilizada com a dosagem 37,5 g/L do coagulante da semente, a presente invenção definiu como a melhor diluição a ser utilizada nos experimentos em escala real de laboratório a dosagem 37,5 g/L do extrato de semente de *Moringa oleífera* Lam (comparando-se a redução nos parâmetros de tratamento selecionados e a dosagem mínima que atenda eficiência/economia). Tomando por base os experimentos em escala real de laboratório foi selecionada a dosagem de 11g/L do coagulante da semente de Moringa utilizada nos experimentos em escala real em virtude do aumento da DBO5, tal fato se deve ao adicionar mais matéria orgânica proveniente da semente de Moringa os parâmetros de DQO e DBO5 não apresentavam resultados promissores, já que o tratamento do coagulante da semente de Moringa e utilizado como pré-tratamento necessitando de um polimento final pela insolação e tempo de detenção em escala de campo (Reduzida) justificando a diminuição da dosagem de 37,5 g/L do extrato de semente de Moringa oleífera Lam para 11 g/L do extrato de semente de Moringa para pode atender a resolução do CONAMA, que segundo a RESOLUÇÃO No 430, DE 13 DE MAIO DE 2011 a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias) deve obter remoção mínima de 60% de DBO. Na Tabela 4 são apresentadas as

etapas e dosagens de coagulante da *Moringa oleífera* por Tratamento nos experimentos: Cone de Imhoff, filtro e em escala real.

Tabela 4. Etapas e Dosagens de Coagulante utilizadas nos ensaios de tratabilidade do lixiviado do aterro de resíduos sólidos: o extrato (polpa) da semente de *Moringa oleífera* Lam com e sem casca.

Dosagem de Coagulante por Ensaio					
g/L					
Experimento	Tratamento	Tratamento	Tratamento	Tratamento	Tratamento
	LB	LBEMC	LBEMC	LBEMS	LBEMS
Experimento	LB	37g	40g	37g	40g
Cone de Imhoff e					
Filtro					
Experimento	LB	LBEMC	LBEMS	LBEMC	LBEMS
Escala		Hg	Hg	Hg	Hg
Real					

LB – lixiviado bruto; LBEMC – lixiviado bruto com Moringa com casca; LBEMS- Lixiviado bruto com Moringa sem casca.

Tratamento em escala laboratorial – Ensaio no cone de Imhoff

[0093] O ensaio no Cone de Imhoff (Figura 3) foi realizado sem agitação para o processo de coagulação e floculação. Em cada cone, foram colocados 2 litros de lixiviado sendo adicionado o extrato de *Moringa oleífera* e na sequencia adicionados ao filtro (Figura 4). As dosagens foram pré-determinadas na diluição do extrato das sementes de Moringa para tratamento do lixiviado conforme a Tabela 4. Para análise foi coletado 100 mL dos Cones de Imhoff.

Tratamento em escala de bancada – Modelo em filtro

[0094] O experimento utilizando modelo de filtro em escala de bancada foi realizado no Laboratório de Química do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Pernambuco, para avaliar a eficiência da

espécie *Moringa* como coagulante natural do lixiviado de aterro sanitário. A Figura 4 mostra a sequência da montagem do sistema simplificado de filtros com manta MacTex® N como meio filtrante, utilizando sementes da *Moringa* como coagulante/floculante natural. E após três dias foram coletados para análises físico-químicas e microbiológicas.

Resultados dos experimentos em escala laboratorial

[0095] A Figura 5 apresenta de forma visual os resultados dos ensaios de tratabilidade do lixiviado no Cone de Imhoff e Filtros com manta de polietileno no efluente bruto e após ser submetido ao tratamento com extratos da semente de *Moringa oleífera*. A Figura 6 apresenta visualmente a variação de cor após tratamento e a Figura 7 mostra a coleta dos tratamentos após quatro dias para análises dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com diferentes dosagens de extratos de sementes de *Moringa oleífera* utilizando manta de polietileno.

[0096] No ensaio no Cone de Imhoff após a adição dos coagulantes, nas dosagens indicadas para cada tratamento e durante a sequência de operações realizadas nos ensaios de tratabilidade do lixiviado como mostram as Figuras 5 e 6 observa-se a mudança de cor, visualmente das amostras após tratabilidade do lixiviado com extrato de semente de *Moringa oleífera*. Após o término das etapas dos ensaios foi coletada uma amostra de cada filtro de aproximadamente 500 mL e avaliou-se a redução de turbidez, pH, odor, cor, DBO5, DQO e Condutividade para os diferentes tratamentos.

[0097] A Tabela 5 apresenta os resultados da caracterização das amostras do lixiviado Bruto (LB) do aterro CTR- Candeias e o lixiviado tratado com extrato da semente de *Moringa oleífera* com casca (LBEMC) com diferentes dosagens do coagulante.

Tabela 5. Características físicas e químicas das amostras do lixiviado após realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com extrato de sementes de *Moringa oleífera* e manta de polietileno.

Parâmetros	Tratamentos	Padrões
------------	-------------	---------

Experimento		LB	LBEMC (M130g)	LBEMC (M150g)	LBEMC (M200g)	LBEMC (M300g)	LBEMC (M400g)	CONAMA 357/05
Filtro			37,5g/L	37,5g/L	37g/L	50g/L	75g/L	
Cor	mgL ⁻¹	4380	2190	1270	2120	4130	1570	75
pH	-	8,2	6,1	6,6	6,2	6,8	6,9	5-9
Turbidez	NTU	600	2100	840	4390	3280	1445	100
Condutividade	µScm ⁻¹	9,43	10,11	9,17	9,11	11,05	11,5	
DQO	mgdeO ₂ /L	4.195	9.428	4.828	4.995	5.695	7.528	
DBO ₅	mgdeO ₂ /L	3.049	2.953	1920	3.300	3.019	4.113	60mg/L ⁻¹

LB = lixiviado bruto; LBEMC = Lixiviado bruto+extrato de moringa com casca, M = manta.

[0098] Os resultados referentes ao parâmetro pH após tratamento com a Moringa não apresentaram alterações significativas. Inicialmente o pH do lixiviado bruto (LB) é alcalino (8,2); com os tratamentos, os valores de pH ficaram entre 6,1 e 6,9 atendendo a resolução do CONAMA 357/05.

[0099] Os resultados referentes ao parâmetro cor apresentaram uma remoção significativa em todas as dosagens estudadas, porém o melhor resultado obtido foi para dosagem de 37,5 g/L utilizando a manta MacTex® de 150g, com uma remoção em torno de 71,52 %, quando comparado com 4380 g/L de cor para o lixiviado sem adição de extrato de *Moringa oleífera*.

[0100] Os resultados referentes ao parâmetro turbidez não evidenciaram remoção nas dosagens de extrato de sementes de Moringa estudadas, se comparado com 600 g/L, valor este referente ao lixiviado sem adição do extrato de semente *Moringa oleífera*. O parâmetro turbidez não atendeu a resolução do CONAMA 357/05. Os resultados obtidos apresentam redução da condutividade utilizando o extrato da semente da Moringa se comparado com valor de inicial de 20,91 µS/cm, valor este referente ao lixiviado bruto sem adição de extrato da semente *Moringa oleífera*.

[0101] Os resultados referentes ao parâmetro DQO não evidenciaram remoção nas dosagens de extrato de sementes de Moringa testadas, se comparado com Lixiviado Bruto.

[0102] Os resultados referentes ao parâmetro DBO_5 apresentaram aumento nas dosagens de extrato de sementes de Moringa com 37,5g e manta de 200g, 50g e manta de 300g e 75g e manta de 400g, exceto para as dosagem de 37,5 g que utilizou a manta de 130 e 150 gramas, melhor resultado obtido foi para dosagem de 37,5 g/L utilizando a manta de 150g quando comparado ao valor do lixiviado bruto sem adição do extrato de semente *Moringa oleífera*. A relação DBO_5/DQO , também é influenciada pela idade do aterro. Percolados de aterros jovens contêm alta carga orgânica e valores altos de DQO, com biodegradabilidade média. O aterro CTR-Candeias começou a receber resíduos em agosto de 2007 podendo ser considerado um aterro jovem.

[0103] O aumento para DQO e DBO_5 pode estar associado ao tratamento com a semente de Moringa que adiciona mais matéria orgânica elevando os valores, bem como as condições das mantas utilizadas.

Tratamento em escala real

Procedimento

[0104] O experimento utilizando escala real foi realizado no aterro CTR-Candeias o qual se situa no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco próximo ao eixo da integração Prazeres – Jaboatão, cujo esquema está representado nas Figuras 8 e 9. Com a finalidade de avaliar o processo de tratamento da metodologia proposta, e sua adequação para aplicação em escala real foram construídos três modelos reduzido constituído por 3 caixas d'água com capacidade de 500 litros cada. A primeira caixa foi à testemunha (Figura 8A) e o primeiro tratamento foi feito na segunda caixa (Figura 8B) contendo a mistura de lixiviado bruto + extrato da semente de moringa com casca e com a manta MacTex® N que atuou como meio filtrante. Na sequência tem-se a terceira caixa (Figura 8C) que simulou a lagoa a qual ficou armazenado o lixiviado após tratamento por um período de 3 dias (Figura 8). Ressalta-se que todas as análises foram realizadas em triplicata.

[0105] O segundo tratamento foi feito na segunda caixa d'água (Figura 8B) contendo a mistura de lixiviado bruto + extrato da semente de moringa sem

casca e com manta perfazendo o mesmo procedimento do primeiro tratamento. O terceiro tratamento também foi feito em caixas d'água contendo a mistura de lixiviado bruto + Extrato de moringa com casca perfazendo o mesmo procedimento do primeiro tratamento, que tem uma terceira caixa d'água que simulou a lagoa na qual ficou armazenado o lixiviado após tratamento por um período de detenção de 4 dias.

[0106] O lixiviado bruto e os lixiviados tratados obtidos nos três tratamentos foram avaliados pela determinação dos parâmetros DBO5, DQO, cor, turbidez, metal pesado (Fe) e coliformes termotolerantes presentes no lixiviado de acordo com a resolução do CONAMA 430/ 2011. O tratamento do lixiviado com extratos de sementes de Moringa em escala real foi realizado em duas etapas. Na primeira, empregou-se a técnica de coagulação/floculação/sedimentação (Figura 8) tempo de decantação de 60 min. Na segunda etapa, utilizou-se o processo de filtração, seguido de um período de detenção de 3 dias.

[0107] A floculação/coagulação é uma das etapas do tratamento de lixiviado em que se adicionam coagulantes químicos ou orgânicos para a formação de flóculos que carregam a sujeira. A floculação e a coagulação são processos químicos e físicos em que partículas muito pequenas são agregadas, formando flóculos, para que possam decantar-se. A sedimentação é um processo físico de tratamento utilizado para fazer assentar os sólidos suspensos no lixiviado por influência da gravidade. A decantação é um processo de separação que permite separar misturas heterogêneas. (separar o lixiviado tratado das impurezas) e para finalizar utilizou-se o processo de filtração como polimento final não deixando nenhuma partícula no lixiviado tratado e ainda ficou por um período de detenção de 3 dias. O objetivo principal é a remoção de patogênicos constituindo um pós-tratamento de processos que objetivem a remoção da DBO5, Resultados do tratamento em escala real

[0108] A Figura 9 apresenta visualmente a sequência de operações para realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com extratos de sementes de *Moringa oleífera* em escala real utilizando caixas d'água. Os resultados

estão apresentados de forma a analisar o extrato da semente de *Moringa oleífera* e o material filtrante. Na Tabela 6 são apresentados os resultados das características físicas e químicas das amostras do lixiviado após realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado em escala real.

Tabela 6. Características físicas e químicas das amostras do lixiviado após realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com de extratos de sementes de *Moringa oleífera* em escala real utilizando caixas d'água.

Parâmetros	Antes		Tratamentos		Após 3		Padrões	
	0 dias				dias		CONAMA	
Experimento em escala real	LB-		LBEMC	LBEMC	LBEMS	LBEMS	357/05	
	Após 3 dias		11g/L	11g/L	11g/L	11g/L		
Cor aparente	mgL-	4.294						
1			3.480	3.946	2.160	1.898	1.886	75
pH	-	8,2	8,2	8,3	8,0	8,0	8,0	5-9
Turbidez	NTU	696	569	581.54	528,10	477,12	376,12	100
Condutividade								
µScm-1		21,00	11,10	10,09	9,08	12,00	11,00	
DQO								
MgdeO2/L		6.762	5.784	7.184	5.390	6.283	3.292	
DBO5								
MgdeO2/L		2.488	1.364	3.819	1.133	1.299	683	60 mg/L ⁻¹
CT (NMP/100ml)		5,0x10 ³	5,0x10 ³	1,8x10 ²	1,6x10 ³	2,2x10 ²	1,6x10 ³	
CF (NMP/100ml)		5,0x10 ³	5,0x10 ³	1,8x10 ³	1,4x10 ³	9x10 ²	1,5x10 ³	
Nitrogênio amoniacal		1.143	1.140	613	401	757	53	20,0 mg/L N
Sólidos suspensos totais		433			268		234,5	mg/L N
Sólidos suspensos Fixos		256			73		28,5	mg/L N
Sólidos suspensos Voláteis		177			195,5		206	mg/L N
Metais		0,04	1,81	0,00	0,93	2,09	0,20	15 mg/L Fe

[0109] Os resultados referentes ao parâmetro pH após tratamento com a Moringa não apresentaram alterações significativas. Inicialmente o pH do lixiviado bruto (LB) foi alcalino (8,2); com os tratamentos, os valores de pH ficaram entre 8,3 e 8,0 atendendo a resolução do CONAMA 357/05. A adição dos coagulantes da Moringa não alteraram significativamente os valores de pH.

[0110] Os resultados referentes ao parâmetro cor apresentaram uma remoção significativa em todas as dosagens estudadas, porém o melhor resultado obtido foi para dosagem de LBEMS 11 g/L, com uma remoção em torno de 56 %. Essa redução de cor pode ser explicada pela proteína das sementes de *Moringa oleífera* que por ser uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular desestabiliza as partículas pelo processo de neutralização e adsorção, floculando os colóides e sedimentando.

[0111] O parâmetro turbidez evidencia remoção na dosagem de 11g/L de extrato de sementes de Moringa sem casca (LBEMS), com uma remoção em torno de 54,8 %, o extrato das sementes utilizadas sem casca foram mais eficientes na redução da turbidez. O extrato de sementes de Moringa com casca não apresentou o mesmo resultado pois o tempo de sedimentação de 60 min não foi suficiente para a formação dos flocos.

[0112] O parâmetro DQO indica remoção de 51% nas dosagens de extrato de sementes de Moringa sem casca, se comparado com Lixiviado Bruto, valor este referente ao lixiviado sem adição do extrato de semente Moringa. Às sementes de Moringa adicionam mais matéria orgânica, ocorrendo acréscimo da DQO. Não atendendo a resolução do CONAMA 357/05.

[0113] O parâmetro DBO₅ apresenta redução de 72% nas dosagens de extrato de sementes de Moringa sem casca com 11g/L após três dias de tratamento atendendo a resolução do CONAMA, que segundo a RESOLUÇÃO No 430, DE 13 DE MAIO DE 2011 a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias) remoção mínima de 60% de DBO. Conforme valores apresentados nesta invenção, os resultados obtidos atendem a esta resolução. Destaca-se a relação DQO/DBO com valor 2,08 sendo um indicativo importante da

quantidade de matéria orgânica não biodegradável.

[0114] As taxas de remoção de nitrogênio amoniacal variaram entre o primeiro dia e o terceiro dia de tratamento para o extrato de sementes de *Moringa oleífera* com casca houve redução de 40% e ao terceiro dia de 60% se comparado ao valor do lixiviado bruto. Já o extrato de moringa sem casca apresentou no primeiro dia 30% e ao terceiro dia 90%. O desempenho de remoção da amônia é influenciado pelo pH, temperatura do meio, vazão de ar aplicada e condições de agitação. Entretanto, o valor do pH, certamente, é um dos fatores mais relevantes para a obtenção de elevadas eficiências de remoção.

[0115] O tratamento físico-químico pelo processo de coagulação-floculação, utilizando extrato de moringa apresentou resultados satisfatórios para remoção nitrogênio amoniacal presente no efluente de lixiviado de aterro sanitário. Quanto aos sólidos totais (ST) e Fixos, observou-se remoção após a filtração no sistema simplificado de filtros utilizando os extratos Moringa apresentaram remoções no terceiro dia se comparado ao lixiviado bruto, com remoções em todos os tratamentos para sólidos totais: LBEMC 50%, LBMS 51,82%, o mesmo não ocorreu com os voláteis que obtiveram um aumento de 10% para os tratamentos: LBEMC e LBMS, o aumento dos voláteis pode ter ocorrido por conta da presença da matéria orgânica da semente, indicando a presença de elevada matéria orgânica a ser degradada. Adição de coagulantes orgânicos gera produtos finais indesejáveis devido à incorporação do material orgânico adicional da semente de Moringa.

[0116] As concentrações de Fe do lixiviado bruto estão baixo do exigido pelo CONAMA, o resultado final dos tratamentos para Ferro também ficaram abaixo da faixa de lançamento nos corpos receptores, sendo seus valores abaixo dos padrões máximos de lançamento, de 5 mg/L e 15 mg/L, respectivamente. Observou-se que ao terceiro dia de detenção os níveis de metais presentes nos líquidos percolados aumentaram no Lixiviado Bruto, o mesmo ocorreu para os extratos de Moringa, mesmo com esse aumento os valores estão abaixo dos

padrões máximos de lançamento.

[0117] A utilização das sementes de *Moringa oleífera* Lam mostrou potencialidade, o que foi comprovado pelos resultados na remoção de cor, turbidez, metais e nitrogênio amoniacal, já os coliformes totais e termotolerantes não atendem aos padrões estabelecidos pela legislação vigente. A grande variabilidade das características dos lixiviados reforça a necessidade de se avaliar a viabilidade do tratamento combinado para um melhor resultado.

[0118] As análises microbiológicas apresentam resultados bastante satisfatórios (Tabela 6). Quanto à mortalidade de coliformes totais (96%) houve diferença relevante em todas as amostras, bem como para a mortalidade de Coliformes fecais (82%) com a adição dos coagulantes, quando comparada com o lixiviado bruto e ainda o lixiviado após tratamento com o extrato de semente de *Moringa* não apresentou odor fétido.

[0119] A Tabela 7 apresenta os resultados detalhados encontrados para as análises laboratoriais de efeitos microbiológicos de Coliformes totais (A) e Coliformes fecais (B) do composto antes e após tratamento. As análises microbiológicas realizadas antes e após formação do composto apresentaram resultados satisfatórios indicando na torta da moringa após tratamento do lixiviado presença de coliformes (Tabela 7) as bactérias ficam aprisionadas no coagulante ou extrato da semente de moringa. Quanto à mortalidade de coliformes totais, houve diferença relevante nas amostras do composto produzido resultante da torta de moringa quando comparada com o lixiviado bruto, o mesmo não ocorreu em Coliformes termotolerantes (fecais).

[0120] A torta de moringa foi utilizada para preparar os coagulantes naturais e o pó da semente da moringa que depois de retirada a casca da semente e triturada para preparo do extrato coagulante para tratar o lixiviado de aterro sanitário. Para a obtenção do coagulante (Figura 10) natural extraído das sementes de *Moringa oleífera* Lam foi utilizado o seguinte procedimento: as sementes foram pesadas e as casca retiradas e triturou-se no liquidificador até

se obter um pó (torta de moringa) que foi misturado em água destilada utilizando uma porcentagem de 5% do peso de pó sobre o volume de água, agitando-se por 5 minutos no agitador manual, após a agitação foi adicionado ao lixiviado como solução coagulante.

Tabela 7. Resultados das análises laboratoriais para efeitos microbiológico de Coliformes totais (A) e Coliformes fecais (B) do composto antes e após tratamento, nos ensaios de tratabilidade em escala real com extrato de sementes da *Moringa oleífera* Lam como coagulante/floculante natural.

Amostras	Coliformes totais (NMP/100ml)	Coliformes fecais (NMP/100ml)	Características da suspensão
Lodo residual da moringa após tratamento do lixiviado	$3,5 \times 10^9$	$3,5 \times 10^9$	Aspecto: Turva, marrom, com partículas em suspensão Odor: Caract. extrato vegetal pH=7,0
Composto do lodo residual	$3,8 \times 10^2$	$3,8 \times 10^3$	Aspecto: Turva, marrom, escuro, Odor: Caract. de terra. pH=6,0
Lixiviado bruto	$5,0 \times 10^3$	5×10^3	Aspecto: escuro, com partículas em suspensão Odor: putrido pH=8,0

[0121] Observa-se a redução das densidades de coliformes, o lodo residual com extrato de semente de *Moringa oleífera* após tratamento do lixiviado mostra uma redução gradual, de modo geral, no número de coliformes totais e fecais e sem Odor fétido quando comparado ao lixiviado bruto. Dessa forma, conclui-se que tratar lodo residual de lixiviado de aterro sanitário em forma de composto pode ser uma promissora alternativa, principalmente para reutilização no aterro para fins de reflorestamento.

Processo de compostagem

[0122] O processo de compostagem da presente invenção é realizado com lodo residual após o tratamento do lixiviado com *Moringa oleífera*.

[0123] O processo de compostagem ocorre em duas fases distintas. Na primeira, ocorrem reações bioquímicas de oxidação mais intensas, predominantemente termófilicas (permanecendo a temperatura do material em compostagem na faixa de 45 a 70°C). Na segunda fase (maturação), ocorre o processo de humificação. A Figura 11 ilustra a montagem de como preparar o biofóssido a base de resíduo do extrato coagulante de *Moringa oleífera* em que a pilha de compostagem é formada por lodo residual, folhas de poda e casca de semente de *Moringa oleífera*.

[0124] As cascas de semente de Moringa ser inserida na pilha de compostagem foram utilizadas na produção do composto para alimentar os microrganismos durante o processo de compostagem e fornecer carbono durante a fase de compostagem, bem como as folhas de poda foram utilizadas para enriquecer o composto e aumentar o volume gerado durante o processo de compostagem para obtenção do composto. Neste cenário, também surge a Política Nacional de Resíduos Sólidos que direciona a responsabilidade da destinação ambientalmente adequada aos geradores dos resíduos. LOGÍSTICA REVERSA preocupa-se principalmente com o retorno dos resíduos de pós - consumo e pós-venda ao ciclo produtivo, agregando-lhes valor econômico, logístico e ambiental. (RESENDE, 2004).

[0125] O lodo em condições normais de secagem poderá ser removido do leito de secagem depois de um período, que varia de 20 a 40 dias, cuja umidade atinge valores de 60% a 70%, podendo então ser destinado ou condicionado para reuso como biofóssidos (adubo). Os passos para a compostagem são descritos a seguir.

[0126] A compostagem foi realizada na caixa d'água em pátio descoberto, sobre o piso pavimentado, sendo o material inserido dentro da caixa. Quando em período de chuva as caixas eram cobertas, para o escoamento da chuva.

Dessa forma, apenas chuvas para umedecer o composto e após infiltração da água eram permitidas. Na ausência de chuvas o biossólido era descoberto para irrigação. E assim, o composto foi maturado.

[0127] O trabalho de compostagem foi desenvolvido de forma artesanal, sendo o processo de decomposição lento e natural, por não utilizar equipamentos de aeração nem produtos para aceleração da compostagem. Além disso, o extrato resultante do tratamento de lixiviado foi preparado apenas com adição de resto de poda do aterro e isto contribuiu para que os custos de produção ficassem mais atrativos ainda.

[0128] Durante o processo de compostagem, nos meses de Novembro e dezembro de 2016, as temperaturas máximas do ar variaram entre 30°C e 35°C e as mínimas entre 18 e 19°C, Com base neste comportamento térmico, foi adotada na prática a seguinte metodologia para condução da compostagem: um revolvimento por semana nas primeiras 03 semanas; após, 02 revolvimentos por mês até o final do processo (Figura 9). Os revolvimentos tiveram também por finalidade aerar a massa orgânica e misturar as camadas externas, mais secas, com as camadas internas, mais úmidas. Para não ocorrer o encharcamento, devido às chuvas, o que poderia comprometer a aeração do composto, e conseqüentemente, o bom andamento do processo com a queda da temperatura, as mesmas eram cobertas com uma tampa plástica, caso houvesse mudança no tempo.

[0129] A degradação do material orgânico ao longo do processo de compostagem, além de contribuir para o aumento na massa específica, influenciou na redução do volume da pilha de compostagem. O volume de material presente no início do processo de compostagem foi de 8,8 quilos de lodo residual. Após tratamento do lixiviado adicionou-se 3 quilos de folhas de poda (Figura 12) proveniente do aterro sanitário e dois quilos de casca de semente de moringa, totalizando 13,8 quilos, sendo verificado, ao término do processo, um volume de 9,2 quilos de composto. Assim, houve redução de aproximadamente 33% no volume inicial.

[0130] Peneiramento do composto – após o término da compostagem, o material foi espalhado e revirado diariamente para secar naturalmente. Após a secagem o composto foi passado em uma peneira de 15 mm, para retirar materiais grosseiros e obter uma melhor homogeneização do biossólido.

[0131] Armazenamento do composto – o composto peneirado foi estocado em sacos plásticos para realização das análises e para os testes de germinação com sementes de Moringa e Alface.

Exemplo 2. Bioensaios de toxicidade do biossólido do lodo residual

Metodologia

[0132] Foram realizados bioensaios de toxicidade de biossólido do lodo residual resultante do extrato de *Moringa oleífera* utilizado para o tratamento do lixiviado de aterro sanitário a fim de avaliar-se o efeito da aplicação do biossólido desenvolvido nas variáveis de crescimento inicial da alface e nas propriedades químicas do composto. Foram conduzidos dois experimentos em ambiente protegido a partir de vasos preenchidos com substrato comercial e substrato proveniente do lodo residual do tratamento de lixiviado os quais foram cultivados com sementes de alface e moringa.

[0133] Para avaliar a viabilidade da utilização do biossólido foi feito teste de toxicidade utilizando a Alface (*Lactuca sativa* L) escolhida por estar entre os organismos teste mais utilizados para avaliação da fitotoxicidade de efluentes domésticos.

[0134] O composto (lodo residual) a base de extrato de moringa com lixiviado utilizado nos experimentos foram provenientes do Aterro Sanitário CTR Candeias na Muribeca o qual se situa no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco próximo ao eixo da integração Prazeres – Jaboatão, distando 16 km do centro de Recife.

[0135] O composto do lodo residual (SCLR = composto do lodo residual, produzido no próprio aterro foi transformado em substrato após tratamento do lixiviado utilizando restos de poda de árvores) utilizado foi coletado no aterro sanitário CTR- Candeias para a produção das mudas de alface e para

testemunha o composto orgânico comercial (SCO=substrato composto comercial) foi fornecido pela Cecine - UFPE/PE. Os substratos podem ser definidos como o meio adequado para sua sustentação e retenção de água, oxigênio e nutrientes, além de oferecer pH compatível e ausência de elementos químicos em níveis tóxicos. As características químicas dos compostos utilizados em vasos foram analisados quanto ao teor de macro e micronutrientes pelo Laboratório de Análises Agrícolas Ltda – Labfert.

[0136] Inicialmente, o material foi preparado para o teste de toxicidade do biossólido (lodo residual) utilizando as sementes de *Moringa oleífera* e Alface (*Lactuca sativa* L). Ao final do período de exposição, quantificou-se o efeito na germinação e no crescimento das mudas de alface e moringa.

[0137] O experimento foi realizado no laboratório de Fitoterapia do departamento da Coordenadoria de Ensino de Ciências do Nordeste (Cecine) da UFPE. Foi utilizado composto comercial e o composto da torta residual do extrato utilizado para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário CTR-Candeias.

[0138] O termo “composto da torta residual” refere-se ao biossólido obtido no processo de compostagem.

[0139] O plantio da alface foi feito em bandejas (32 repetições) e vasos (12 repetições). O preparo do solo foi feito com adubação do composto comercial para o experimento 1 que serviu de testemunha e o composto do lodo residual foi colocado no experimento 2 para testar o composto do lodo residual resultante do extrato de semente de moringa utilizado para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário CTR-Candeias. O experimento foi regado sempre que necessário. O alface prefere solo fresco, fofo, rico em material orgânico e com pH 6,0 a 6,8 (pouco ácido), de esterco bem curtido.

[0140] Os testes de germinação foram realizados em bandejas com 2 sementes em cada tubete e após germinação foram transplantado para vasos sendo colocado uma muda em cada vaso, umedecidas com água, para a contagem da germinação foi utilizado o critério da emergência da radícula.

Para analisar a germinação em cada teste realizado, foram calculados a porcentagem de germinação (PG), o índice de velocidade de germinação (IVG) e a velocidade de germinação (VG), segundo Vieira e Carvalho (1994).

[0141] No bioensaio de toxicidade padronizaram-se os tratamentos pelo número de vasos conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Descrição dos tratamento de Bioensaio de toxicidade

Vasos (V)	Tratamentos
Experimento 1 V1 a V 12	SCC - Substrato composto comercial
Experimento 2 V1 a V 12	SCLR - Substrato do composto do lodo residual

Ensaio de caracterização física e química antes e após os experimentos

[0142] Nos substratos em forma de composto, provenientes do aterro da Muribeca e da UFPE, foram realizados os seguintes ensaios, para a caracterização química dos solos antes e após os experimentos foram realizadas as seguintes determinações: foram retiradas subamostras de cada material para caracterização química seguindo metodologia recomendada pela EMBRAPA (2009). Para a caracterização química dos compostos antes e após os experimentos foram realizadas as seguintes determinações: macronutrientes e metal pesado realizados no LAMSA - Laboratório de Engenharia de Química da UFPE, Fe, de acordo com a metodologia descrita no STANDARD METHODS, 2005, macronutrientes analisados no LABFERT segundo a metodologia da EMBRAPA (1997) e no Laboratório de Microbiologia as análises de coliformes fecais e totais de acordo com a metodologia descrita no STANDARD METHODS, 2005. As análises foram realizadas em triplicata.

Dispositivo experimental da casa de vegetação

[0143] O experimento foi realizado no espaço do laboratório fitoterápico da Cecine da UFPE, foram produzidas mudas de moringa em vasos confeccionados com papel jornal, (2,5 kg de solo e 250 gramas de húmus com base na dissertação de Oliveira (2010)). O período de avaliação compreendeu a germinação até o início da fase reprodutiva (45 dias após o plantio - DAP), foi

utilizado composto comercial e o composto da torta resultante do extrato utilizado para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário CTR-Candeias. A temperatura média diurna foi de 32°C e a noturna de 26°C, sendo conduzidas por um período de 60 dias.

Preparação

[0144] As sementes utilizadas no ensaio foram colhidas, em 02/1/2017, da planta matriz existente no Jardim do departamento de química da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), após a colheita as sementes foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório fitoterápico do departamento de Ensino de Ciências do Nordeste (Cecine) da UFPE.

[0145] Os tratamentos constituíram-se de dois experimentos com dois tipos de substrato o primeiro substrato comercial (SCC) e o segundo substrato contendo lodo residual (SCLR) do extrato da semente de moringa após tratamento de lixiviado de aterro sanitário. A análise química dos substratos apresentou micronutrientes.

[0146] Os substratos foram dispostos em doze vasos confeccionados com papel jornal, semeando-se duas sementes por vaso dispostos em um delineamento inteiramente casual com doze repetições para cada vaso. A Moringa foi cultivada através de sementes, com a introdução de 02 sementes por vaso de papel, no dia 16 de Janeiro de 2017, estas sementes germinaram 3 dias após a semeadura, foi feito desbaste após 15 dias germinação, permitindo a presença uma muda nos vasos de papel e nos vasos de plástico reciclado.

[0147] Em seguida, os vasos foram colocados em uma área aberta para levar sol e chuva, permanecendo nesse ambiente por 15 dias e após esse período foram transplantadas para vasos de plástico de 3 litros. As variáveis analisadas foram: germinação e crescimento das mudas por 30 dias. Índice de velocidade de germinação realizaram-se contagens diárias das sementes germinadas durante 15 dias, adotando-se a metodologia recomendada por Benicasa

(2003).

[0148] Para avaliar a viabilidade da utilização do composto do lodo residual resultante do extrato de semente de moringa utilizado para o tratamento do lixiviado, foi feito um teste de toxicidade utilizando a Alface (*Lactuca sativa* L), a qual foi escolhida porque está entre os organismos teste mais utilizados para avaliar a fitotoxicidade de efluentes domésticos (ANDRADE et al, 2010). A *Lactuca sativa* L. é espécie padrão recomendada para bioensaios pela *U.S. Environmental Protection Agency*, EPA (2014).

[0149] A proposta foi avaliar o uso de extratos de sementes da espécie florestal *Moringa oleifera* na eficiência de tratamento de lixiviado de aterro sanitário em escala real, além de propor alternativa de compostagem do lodo residual, visando permitir o tratamento do lixiviado, através de uma técnica viável, de baixo custo, se comparada a outros tipos de tratamento convencionais, permitindo a realização de tratamento *in situ*, menos agressivo ao meio ambiente.

[0150] A alternativa tecnológica poderá proporcionar melhoria das condições de tratabilidade do lixiviado, ao se empregar o uso da semente da *Moringa oleifera* como coagulante natural no processo de tratamento de lixiviado e do lodo resultante da tratabilidade do lixiviado para produção de composto (Biossólido), contribuindo para uso em áreas de produção de mudas e no paisagismo do próprio Aterro Sanitário.

Etapas para garantir maior controle de qualidade desde o cultivo das hortaliças até a fim de se alcançar um nível possível de consumo

[0151] Para que o Biossólido possa ter como característica o uso agrícola, é preciso que ele seja tratado, a fim de que se reduzam os chamados agentes patogênicos, como fungos e bactérias.

[0152] Com o objetivo de diminuição de patógenos do Biossólido o tratamento pode ser feito na própria ETE (estação de tratamento), por meio de processos de calagem (processo de desinfecção que consiste na mistura de cal virgem ao Biossólido), ou secagem térmica (redução da umidade do Biossólido), entre

outros.

[0153] A higienização busca garantir um nível de patogenicidade do Biossólido que, ao ser disposto no solo, não cause riscos à população e ao meio ambiente. Somente após este processo o Biossólido estará pronto para ser utilizado para fins alimentícios (Agronômicos).

[0154] O tempo para conclusão da higienização depende do tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento e de sua eficiência, variando de zero, na secagem térmica, a 30/60 dias na caleação.

Etapas de Tratamento do Biossólido para fins alimentícios (Agronômicos)

1. Estabilização química

[0155] É uma alternativa à estabilização biológica para o tratamento de Biossólido.

[0156] O objetivo deste tipo de estabilização é reduzir os patógenos.

[0157] Processos de estabilização química são particularmente eficientes na eliminação dos ovos de helmintos mais resistentes ao processo de compostagem (CASSINI, 2003). A temperatura e o tempo de digestão do biossólido são variáveis que devem ser observadas durante o processo de higienização de biossólidos.

[0158] Os processos de tratamento térmico são usados para estabilizar e condicionar o biossólido. Os processos envolvem o aquecimento do biossólido sob pressão, por um curto período de tempo, tornado o biossólido esterilizado. Nesse processo o biossólido é aquecido a uma temperatura igual ou superior a 180°C, durante, pelo menos 30 minutos (SIMONETI, 2006). Esse processo reduz, efetivamente, vírus patogênicos, bactérias e ovos de helmintos a níveis abaixo dos detectáveis.

2. Estabilização com cal

[0159] O principal produto aplicado é a cal. É adicionado ao Biossólido na dose apropriada para manter o pH em 12 por um tempo suficiente (mínimo de 2 h) para eliminar ou reduzir os microrganismos patogênicos. Este sistema é geralmente usado:

[0160] Pequenas estações de tratamento

[0161] Geralmente é incorporado antes da secagem do Biossólido, embora também possa ser usado posteriormente, usando pequenas quantidades de cal. A dosagem de cal depende de:

- Tipo de Biossólido;
- Composição química do Biossólido (incluindo matéria orgânica);
- Concentração de Biossólido.

[0162] Durante o processo de tratamento de biossólido usando cal é necessário manter o pH acima de 12, por um tempo mínimo de 2 horas, para garantir a destruição dos patógenos e fornecer a alcalinidade residual suficiente para que o pH não caia abaixo 11.

3. Solarização do Biossólido

[0163] Têm como principal vantagem a economia de energia. Entretanto, tem como desvantagens o tempo relativamente longo para sua execução.

[0164] Alguns autores consideram que o tratamento térmico a 82°C por 30 min esteriliza, pois os principais organismos fitopatogênicos são inativados pelo calor à temperatura próximo de 70°C, por aproximadamente 30 minutos (JARVIS, 1993). É um método seguro, é relativamente barato e fácil de usar.

[0165] A energia solar eleva a temperatura do solo, após a cobertura com o filme plástico transparente, em repetidos ciclos diários. Esse tempo é geralmente de quatro a seis semanas no campo, mas em estufas o tratamento pode ser por um período menor devido à presença do plástico de cobertura da estufa.

4. Aplicação de vapor de água

[0166] Para desinfestação de solos e substratos é uma opção ambientalmente correta e tem sido utilizada em vários países. Os equipamentos mais conhecidos que utilizam vapor de água são as autoclaves e as painéis de pressão. Para tratamento térmico de substratos e Biossólidos, utilizando-se vapor de água aplicado à baixa pressão.

[0167] Após o tratamento, o Biossólido poderá ser utilizado de diversas

maneiras, como na agricultura e silvicultura. Para tal, é imprescindível utilizar um dos quatro tratamento ou etapas descritas anteriormente de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), evitando impactos ao homem e ao meio ambiente.

[0168] No experimento da casa de vegetação para a produção de mudas de moringa padronizaram-se os tratamentos pelo número de vasos conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Descrição dos tratamentos para a produção de mudas de moringa.

Vasos (V)	Tratamentos
Vaso de papel V1 a V 12	SCC - Substrato composto comercial (Referência)
Vaso de plástico V1 a V 12	SCLR - Substrato do composto do lodo residual

[0169] Durante a condução do experimento foram feitas avaliações na planta relacionadas aos Parâmetros agrônômicos descritos a seguir:

- **Número de plantas** - a contagem do número de plantas realizada quinzenalmente foi efetuada para subsidiar a análise da toxicidade do composto (SCLR – Substrato do composto do lodo residual de semente de moringa com lixiviado).
- **Altura de plantas** – Realizada quinzenalmente durante todo experimento, realizou-se o monitoramento das alturas das mudas a altura das plantas foi verificada com o auxílio de uma trena medindo-se desde a base até o ápice.
- **Número de folhas** (folíolos) - contagem dos folíolos realizada quinzenalmente.
- **Irrigação** - irrigação realizada duas vezes por dia durante a condução do experimento. Os parâmetros relativos às avaliações do desenvolvimento da cultura foram determinados com a média das medições 12 plantas por vaso (3 litros) e 12 plantas por vasos de papel jornal. Nos vasos de papel e de plástico o volume irrigado foi de 100 ml aos 15 dias, 150 ml aos 30 dias, 200 ml aos 60 dias, 250 ml aos 90 dias e 300 ml aos, 120 dias.

[0170] As avaliações do crescimento das plantas foram realizadas conforme metodologia descrita por Benicasa (2003).

Resultados

[0171] São apresentados os resultados obtidos nos ensaios de germinação com sementes de Alface realizados para avaliar a toxicidade do composto do lodo residual. Os resultados estão apresentados de forma a discutir em primeiro lugar a caracterização dos compostos empregados nos ensaios, bem como os resultados das investigações dos experimentos em casa de vegetação, relativos à remoção do metal pesado do composto da Moringa e sobre a qualidade do composto como substrato.

[0172] Na Tabela 10 são apresentados os valores das análises de ferro do composto utilizado nos experimentos (composto comercial e composto do lodo residual) antes e após o período de incubação em casa de vegetação com a adição de água com a finalidade de se avaliar a influência do composto a base de extrato de Moringa e sua reutilização após tratabilidade de lixiviado como substrato (adubo).

Tabela 10. Metais das amostras do lodo residual antes (LR) e após (CLR) produção do composto lodo residual

Parâmetro analisado	LR.Mg.kg ⁻¹	(%)	CLR.Mg.kg ⁻¹	(%)
Ferro (Fe)	207,68	0,02	1.382,71	0,14
Fe ₂ O ₂	296,69	0,03	1.975,34	0,2

(LR) Lodo residual antes e (CLR) composto lodo residual

[0173] O lodo residual analisado apresenta partículas grossas e angulares, elevado teor de ferro e predominância de composto com estrutura amorfa. Já os resultados da análise do Ferro em amostras do lodo residual após a formação do biossólido constatou-se que para o ferro valores altos não

apresentando influência negativa, por ser um micronutriente essencial para espécies agrícolas e florestais. Na Tabela 11 são apresentados os resultados das análises dos Macronutrientes do Substrato comercial da UFPE (SCO) e Substrato do Composto do lodo residual (SCLR).

Tabela 11. Macronutrientes do Substrato comercial da UFPE (SCO) e Substrato do Composto do lodo residual (SCLR)

Resultados das amostras			
Elementos	Unidade	Substrato comercial	Substrato Composto
		da UFPE (SCO)	do lodo residual
N		1,480	0,460
P		0,610	0,330
K		2,130	1,530
Na		0,127	0,111
Ca		1,450	1,041
Mg		0,509	0,162
Zn	%	29,00	23,00
Cu		16,00	14,00
Fe		1320,00	1357,00
Mn		72,00	69,00
MO		18,16	28,02
Umidade		24,55	46.50
pH		4.90	9.85
Condutividade		496	681

(SCO) Substrato comercial da UFPE e (SCLR) Substrato do Composto do lodo residual

[0174] Após o processo de compostagem do lodo residual é evidenciado presença de maiores teores de compostos orgânicos facilmente degradáveis, bem como de carbono nitrogênio e fósforo, alta porcentagem de umidade e alto teor de matéria orgânica. Em ambos os compostos há expressiva participação do conteúdo proteico na matéria orgânica, evidenciando um valor maior no

composto do lodo residual. Os elementos essenciais para a nutrição das plantas são os macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), macronutrientes secundários: Enxofre (S), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), micronutrientes: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn), além de Carbono, (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio(O₂). Mesmo que em quantidade muito pequena, são fundamentais para o bem desenvolvimento da planta.

[0175] Segundo a Instrução Normativa nº 23/2005 (Brasil, 2005), o nitrogênio total deve ser de no mínimo de 1%. O composto do lodo residual apresenta um teor de nitrogênio total igual a 4,6%, após o processo de compostagem. Já o composto comercial obteve para o Nitrogênio 1,480%, Para ambos os compostos o valor obtido para o nitrogênio foi acima do especificado pela IN nº 23/2005.

[0176] Os sintomas de deficiência de N surgem nas folhas mais velhas (folhas basais), produzindo um amarelecimento generalizado, que progride para toda a planta; há restrição na taxa de crescimento e pegamento de frutos, que apresentam menor desenvolvimento. Sua carência na fase de formação das mudas reflete na diminuição do crescimento e desenvolvimento, e afeta o rendimento final das culturas (ZHANG et al., 2012).

[0177] O substrato do composto do lodo residual é compatível ao tratamento controle para todos os parâmetros avaliados, caracterizando um indicativo de que a espécie *Moringa oleífera*, responde positivamente a adição da adubação com composto (biossólido).

[0178] O substrato nas condições do experimento apresentou eficiência fitotécnica para todas as características avaliadas na produção mudas de *Moringa oleífera* e alface, avaliando-se índice de velocidade de emergência e altura das plantas de moringas e alface. As mudas de *Moringa* e Alface responderam de forma significativa à aplicação de doses do composto (Biossólido). A *Moringa oleífera* Lam cultivada com composto de lodo residual (Biossólido) teve rendimentos superiores aos da testemunha em termos de

desenvolvimento vegetativo, em ambos os tratamentos não foram observados sintomas típicos de toxicidade.

[0179] Os maiores teores de Fósforo são obtidos pela testemunha (composto comercial). Em relação aos teores de potássio (K), todos os tratamentos diferiram entre si. À testemunha apresenta a maior concentração em relação ao composto do lodo residual. Em relação à testemunha, que obteve percentual de 18,16% de M.O, o composto do lodo residual apresenta média de 28,02% de matéria orgânica. O composto que apresentou maiores teores de N, P e K foi o composto comercial, no entanto, ambos os compostos apresentam nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas.

[0180] Os valores de teor de umidade atenderam às especificações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento segundo a Instrução Normativa n. 23, de 31 de agosto de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08 de dezembro de 2005. Seção 1, p.12.

[0181] O pH do composto do lodo residual foi de 9,85, estando dentro da faixa de valores tolerada pelo Ministério da Agricultura. Segundo Pereira Neto (2007), valores altos de pH em compostos podem apresentar benefícios, podendo ser utilizado para correção de solos ácidos.

Análise dos resultados de bioensaio quanto à germinação e crescimento da alface

[0182] A Figura 14 apresenta visualmente a germinação e crescimento da alface – *Lactuca sativa* L. com o substrato Controle (Comercial) e o Composto do lodo residual, a Figura 15 apresentam visualmente o desenvolvimento da alface - *Lactuca sativa* L. com o substrato Controle e o Composto do lodo residual e a Figura 16 apresenta visualmente o desenvolvimento da raiz da alface - *Lactuca sativa* L. (A- controle) e (B – lodo residual) aos 50 dias.

[0183] Pela visualização da germinação e crescimento do alface conclui-se que que o bio sólido não apresenta toxicidade, isto é, não houve efeito inibitório do bio sólido no índice de germinação.

[0184] Na germinação da alface não houve diferença significativa entre os

tratamentos com composto comercial e o composto do lodo residual resultante do extrato utilizado para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário CTR-Candeias. A germinação levou de 4 a 6 dias no experimento como esperado pela metodologia. A alface germinou no 4º dia de semeadura. Apresentou coloração verde escura para ambos os tratamentos e não ocorreu morte de nenhuma muda após germinação e desenvolvimento.

[0185] Os resultados indicam que o composto produzido no aterro com extrato de moringa não apresenta toxicidade. O desenvolvimento da raiz da alface (tamanho) apresenta valor semelhante para os dois compostos: controle e bio sólido de lodo residual.

[0186] Segundo U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA (2014) a condição estabelecida para a confiabilidade do teste de fitotoxicidade com hortaliças, e que devem germinar 65% das sementes do controle negativo. Nos ensaios realizados com alface obtiveram-se, respectivamente, os valores de 100% superiores ao estipulado pela EPA (2014).

[0187] Após 50 dias foram feitas as análises microbiológicas da Alface com o uso do bio sólido do lodo residual, composto comercial e como testemunha a alface da feira orgânica. Figura 17 apresenta visualmente as etapas das análises microbiológicas da alface com o uso do composto residual (ACLR) composto comercial (ACC) e alface feira orgânica (ACF).

[0188] Para os parâmetros coliformes totais e fecais, os resultados indicam níveis de bactérias, fungos e coliformes (Figura 17) acima do limite permitido pela ANVISA, tanto o composto produzido no aterro com extrato de Moringa, composto comercial produzido na UFPE e o alface comprado na feira orgânica comercializado no Instituto federal de Pernambuco - IFPE. Coliformes fecais são decorrentes de poluição por efluentes domésticos.

[0189] Análises de coliformes totais e fecais nas amostras da alface com o uso do bio sólido de lodo residual após tratamento do lixiviado com extrato de semente de Moringa (Tabela 12). Alface composto lodo residual (ACLR), alface composto comercial (ACC) e alface composto feira orgânica (ACF).

Tabela 12. Resultados das análises laboratoriais para efeitos microbiológico de Coliformes totais (A) e Coliformes fecais (B) da alface com o uso do composto lodo residual (ACLR) composto comercial (ACC) e alface composto feira orgânica (ACF).

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS						
Amostras	COLIFORMES TOTALS (NMP/100ml)	COLIFORMES FECAIS (NMP/100ml)	BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS (UFC/mL)	FUNGOS HETEROTRÓFICOS (UFC/mL)	Características da suspensão	
Alface adubado com composto do Lodo residual	> 1,1x10 ⁴	> 1,1x10 ⁴	INCONT.	1,84x10 ⁶	Aspecto: Turva, amarelada, com partículas em suspensão Odor: Carct. De extrato vegetal. pH=8,0	
Alface adubado com composto da UFPE	> 1,1x10 ⁴	> 1,1x10 ⁴	7,6x10 ⁶	8,4x10 ⁵	Aspecto: Turva, marrom, com partículas em suspensão Odor: Carct. De extrato vegetal. pH=6,0	
Alface da feira orgânica (IFPE)	> 1,1x10 ⁴	> 1,1x10 ⁴	6,1x10 ⁶	1,64x10 ⁴	Aspecto: Turva, amarelada, com partículas em suspensão Odor: Carct. De extrato vegetal. pH=6,0	

[0190] Na análise de Coliformes totais e fecais, apresentaram índice de $1,1 \times 10^4$, conforme apresentado na Tabela 11, tornando-as inadequadas para o consumo humano de acordo com o padrão microbiológico estabelecido pela Portaria n. 12, de 02 de janeiro de 2001 da ANVISA.

[0191] A Alface adubada com composto comercial da UFPE e a Alface da feira orgânica (IFPE) indicaram resultados para bactérias e fungos com valores acima de 10^2 NMP conforme estabelecido pela ANVISA, Já a Alface adubada com composto do lodo residual níveis de incontáveis. Deve ser feito uma

ressalva sobre as condições higiênico sanitárias em ambas as amostras e que a contaminação destas pode ter ocorrido durante a colheita e comercialização.

[0192] As análises microbiológicas realizadas para amostras de alface, não apresentaram resultados satisfatórios (Tabela 12), quanto à mortalidade de coliformes totais, em todas as amostras, bem como para a mortalidade de Coliformes fecais que mostrou presença de bactérias e fungos em todas as amostras testadas, os coliformes se assemelharam para as alfaces de ambas as procedências.

[0193] Diante dos resultados obtidos para as alfaces de ambas as procedências, conclui-se que há a necessidade de maior controle de qualidade desde o cultivo das hortaliças até o consumo, enquadrando-os nos padrões microbiológicos sobre as condições higiênico sanitárias.

Resultados do uso do biossólido de lodo residual para produção de mudas de Moringa oleífera Lam em casa de vegetação

[0194] A Figura 18 - apresenta visualmente a Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato, a Figura 19 mostra o desenvolvimento em altura e a Figura 20 apresenta visualmente o desenvolvimento em biomassa de plântulas de *Moringa* em função do tipo de substrato.

[0195] A *Moringa oleífera* Lam não teve o seu desenvolvimento afetado, não ocorreu inibição do crescimento na parte aérea, nem apresentou aspectos de manchas foliares e morte das mudas de moringa em resposta ao tratamento empregado com composto do lodo residual.

[0196] As Figuras 21, 22 e 23 apresentam de forma visual o desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleífera* em função do tipo de substrato: SCC- substrato composto comercial e (A) e SCLR - composto lodo residual (B).

[0197] As mudas de ambos os tratamentos da *Moringa* apresentam aumento no crescimento em altura como resposta à aplicação dos compostos utilizados. A *Moringa oleífera* Lam cultivada com composto de lodo residual teve rendimentos superiores aos da testemunha em termos de desenvolvimento

vegetativo, em ambos os tratamentos não foram observados sintomas típicos de toxicidade.

[0198] A aplicação de lodo residual apresenta resposta positiva quanto ao desenvolvimento das mudas de *Moringa oleífera* e produção de biomassa. O substrato do composto de lodo residual é compatível ao tratamento controle para todos os parâmetros avaliados, caracterizando um indicativo de que a espécie *Moringa oleífera* Lam, responde positivamente a adição da adubação com extrato de moringa reutilizada após tratamento com lixiviado.

[0199] O substrato do composto do lodo residual é compatível ao tratamento controle para todos os parâmetros avaliados, caracterizando um indicativo de que a espécie *Moringa oleífera*, responde positivamente a adição da adubação com torta de moringa reutilizada após tratamento com lixiviado.

[0200] A germinação das sementes de *Moringa oleífera* é semelhante para os dois tratamentos nos substratos. Proporciona melhorias nas condições físicas e químicas, quanto aos teores de macro e micronutrientes.

[0201] O transplante é recomendado quando as plantas atingirem 60 a 90 cm de altura aproximadamente depois de 4 meses diferentemente do que aconteceu com o experimento da *Moringa oleífera* que atingiu 50 cm de altura com 40 dias Provavelmente o uso do composto do lodo residual causou efeito positivo como composto com função de substrato para a produção de mudas florestais podendo contribuir para minimizar impactos ou problemas de contaminação ambiental.

[0202] O composto do lodo residual é similar à adubação convencional (Comercial) no incremento de biomassa, sendo um composto potencial para substituir fertilizantes minerais convencionais no crescimento de plantas de moringa e outras para reflorestar aterro sanitário.

[0203] Pode-se observar que o substrato comercial apresenta resultados semelhantes quando comparados aos substratos do composto do lodo residual. Mostrando que é capaz de indicar que a utilização do composto do lodo residual, que usa um coagulante de origem vegetal (extrato de semente de

moringa), pode propiciar uma boa taxa de germinação de sementes quando utilizado exclusivamente.

[0204] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes e alternativas, abrangidas pelo escopo das reivindicações a seguir.

Reivindicações

1. Processo de tratamento de lixiviado **caracterizado** por compreender as etapas:

- (a) Coleta de lixiviado bruto;
- (b) Obtenção do extrato de *Moringa oleífera* Lam. por trituração; e,
- (c) Tratamento do lixiviado bruto com extrato obtido em (b).

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pela etapa (c) compreender duas subetapas:

- (c1) Coagulação/floculação/sedimentação; e,
- (c2) Filtração.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** por na etapa (c) ser obtido um lodo residual.

4. Uso do lodo residual obtido pelo processo de tratamento de lixiviado, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** por ser para obtenção de um biossólido.

5. Processo de obtenção de um biossólido, **caracterizado** por compreender as etapas:

- (i) Compostagem com o lodo residual conforme definido na reivindicação 3;
- (ii) Secagem e peneiramento; e,
- (iii) Armazenamento do biossólido em sacos plásticos.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pela etapa (i) compreender oxidação intensa a temperaturas de 45 a 70°C e maturação por humidificação.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pela etapa (i) compreender a montagem da pilha de compostagem com lodo residual do tratamento de lixiviado, folhas de poda e casca de semente de *Moringa oleífera*.

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 5 a 7,

caracterizado por na etapa (i) a dita pilha de compostagem ser revolvida uma vez por semana durante 3 semanas e após esse período ocorrer dois revolvimentos por mês.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pela dita secagem na etapa (ii) ser uma secagem natural e o dito peneiramento ocorrer em peneira de 15 mm.

10. Biossólido **caracterizado** por ser obtido pelo processo de obtenção de um biossólido conforme definido em qualquer uma das reivindicações 5 a 9.

11. Biossólido, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** por compreender lodo residual do tratamento de lixiviado, folhas de poda, casca da semente e extrato de semente de *Moringa oleífera* Lam.

12. Uso de biossólido, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 10 a 11, **caracterizado** por ser para produção de mudas e paisagismo de aterro sanitário.

13. Uso de biossólido, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 10 a 11, **caracterizado** por ser para a produção de frutíferas e hortaliças.

FIGURAS

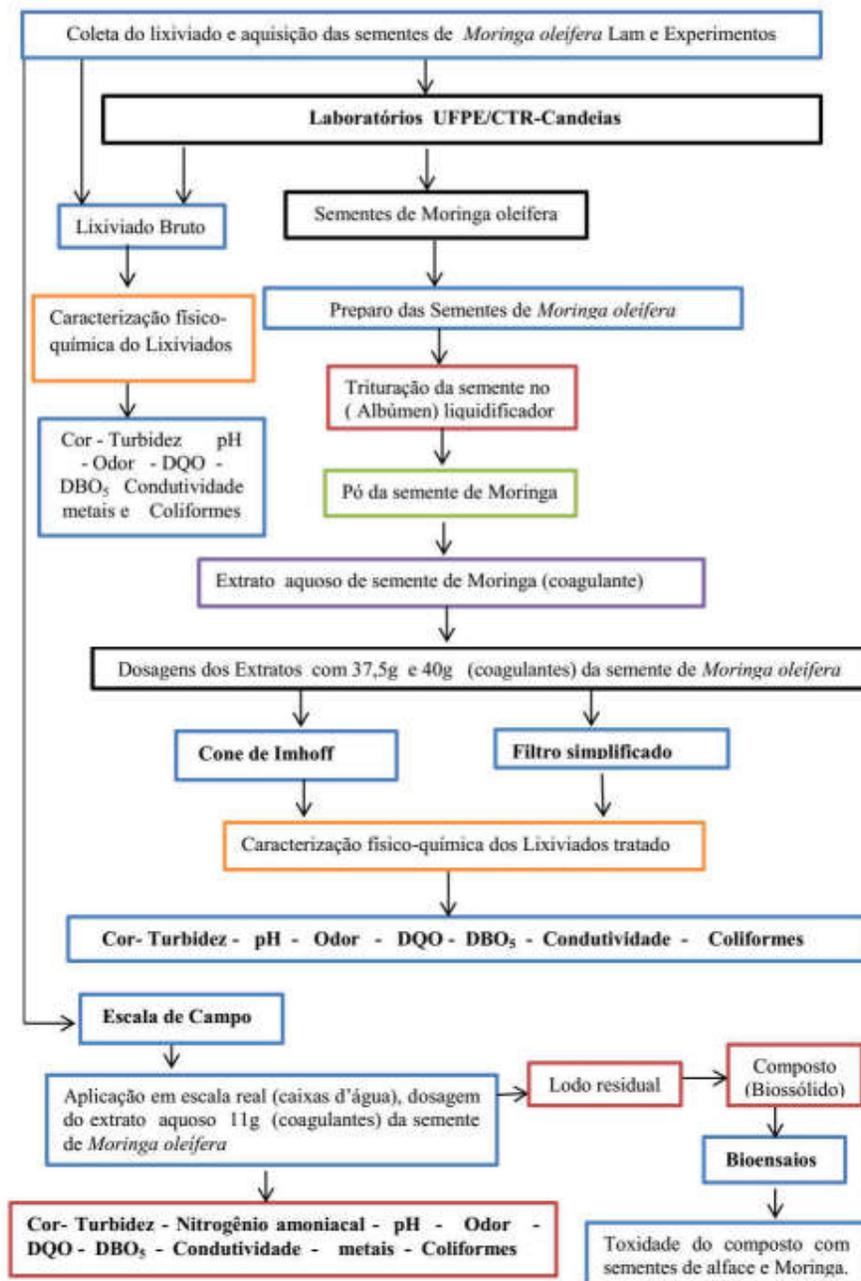


Figura 1

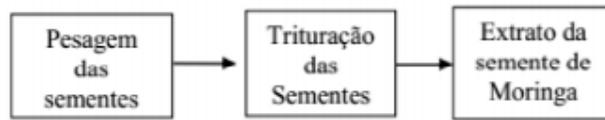


Figura 2



Figura 3



Figura 4

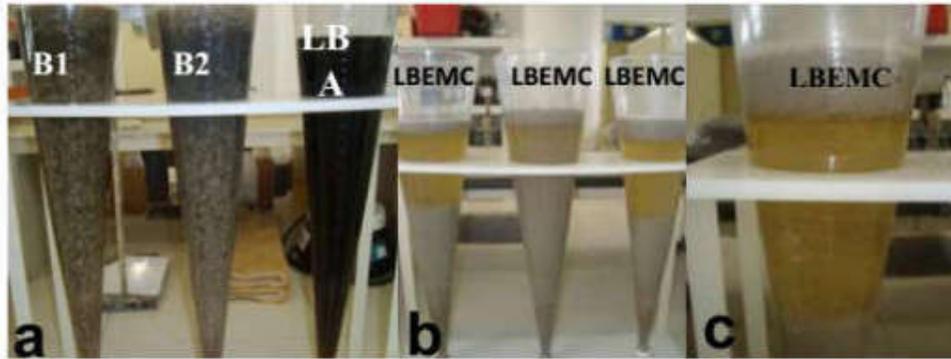


Figura 5



Figura 6

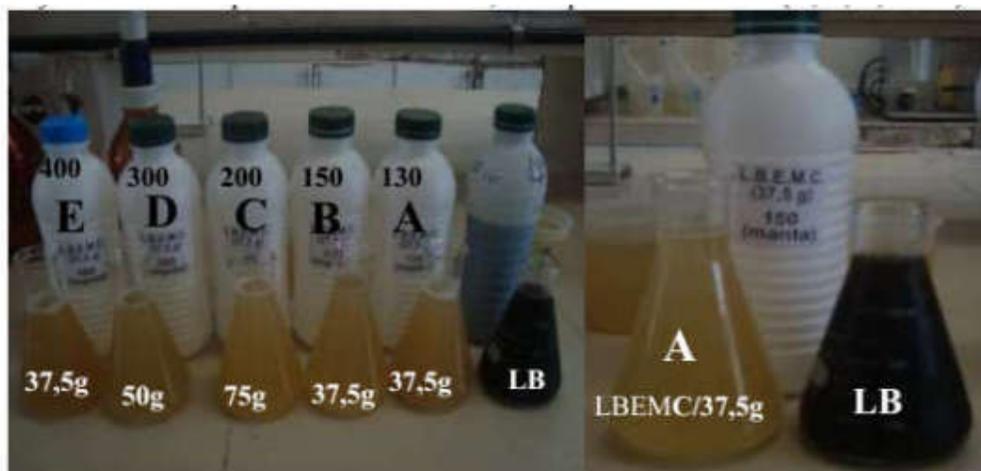


Figura 7



Figura 8



Figura 9

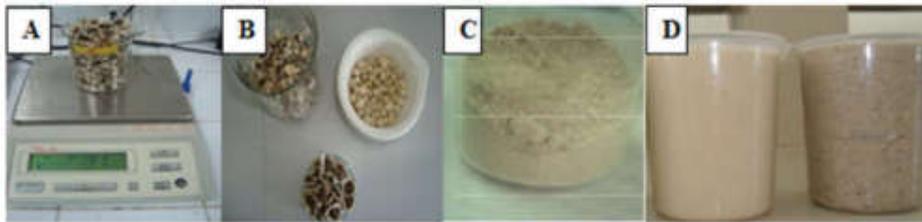


Figura 10

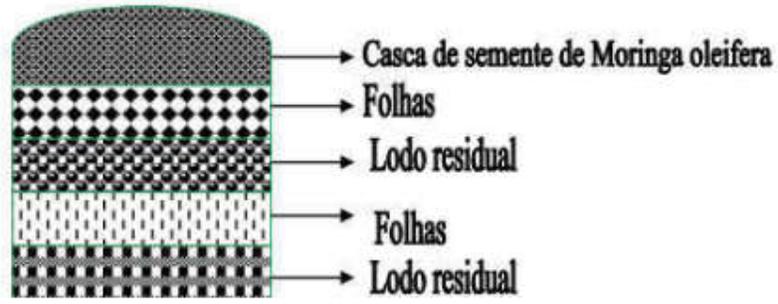


Figura 11

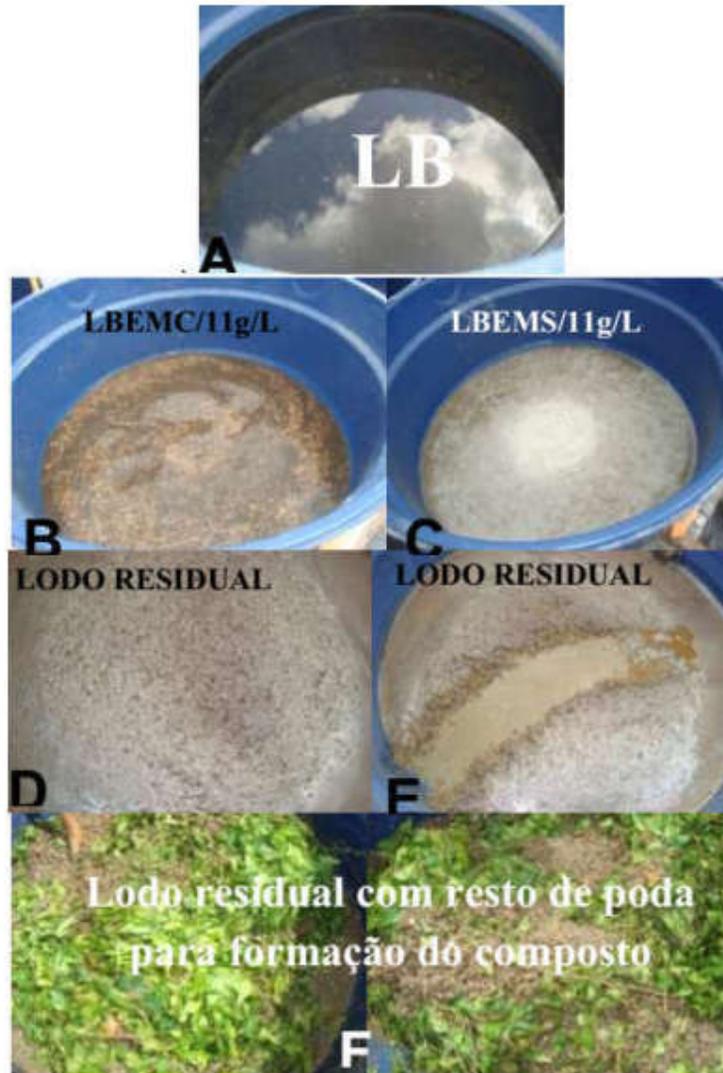


Figura 12



Figura 13



Figura 14



Figura 15

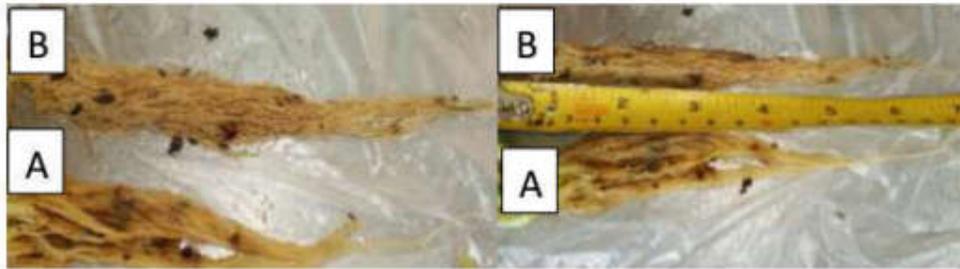


Figura 16

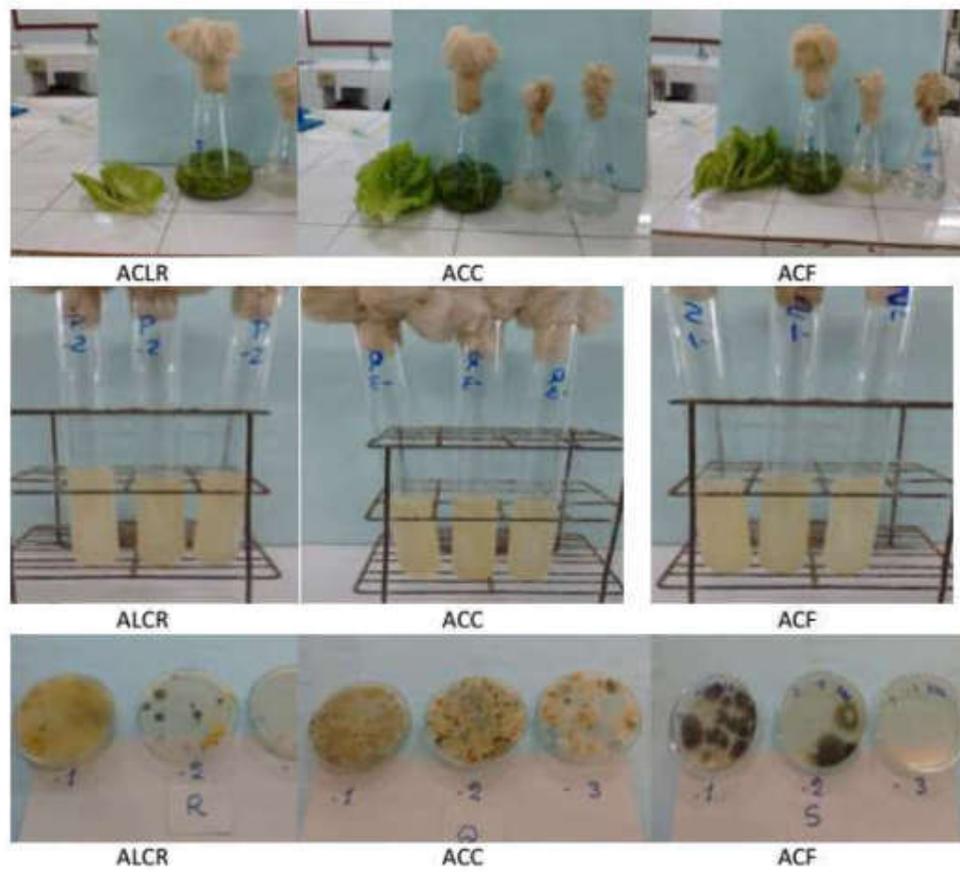


Figura 17



Figura 18

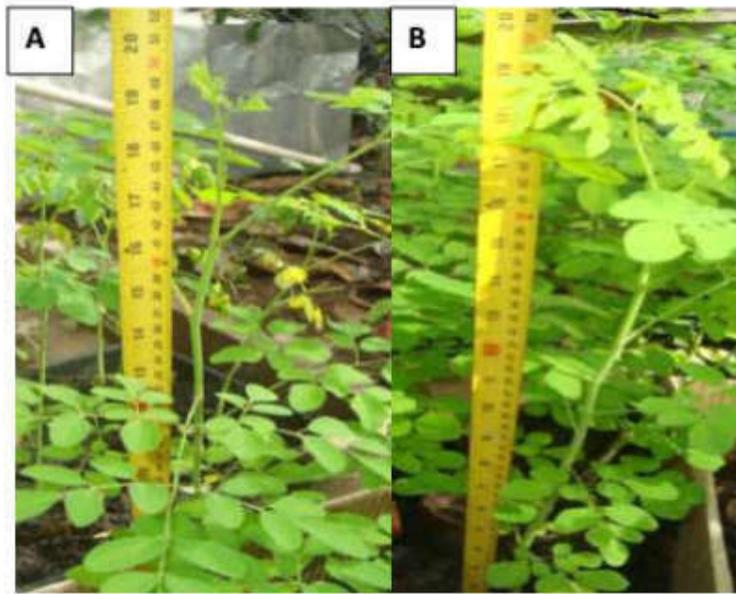


Figura 19



Figura 20

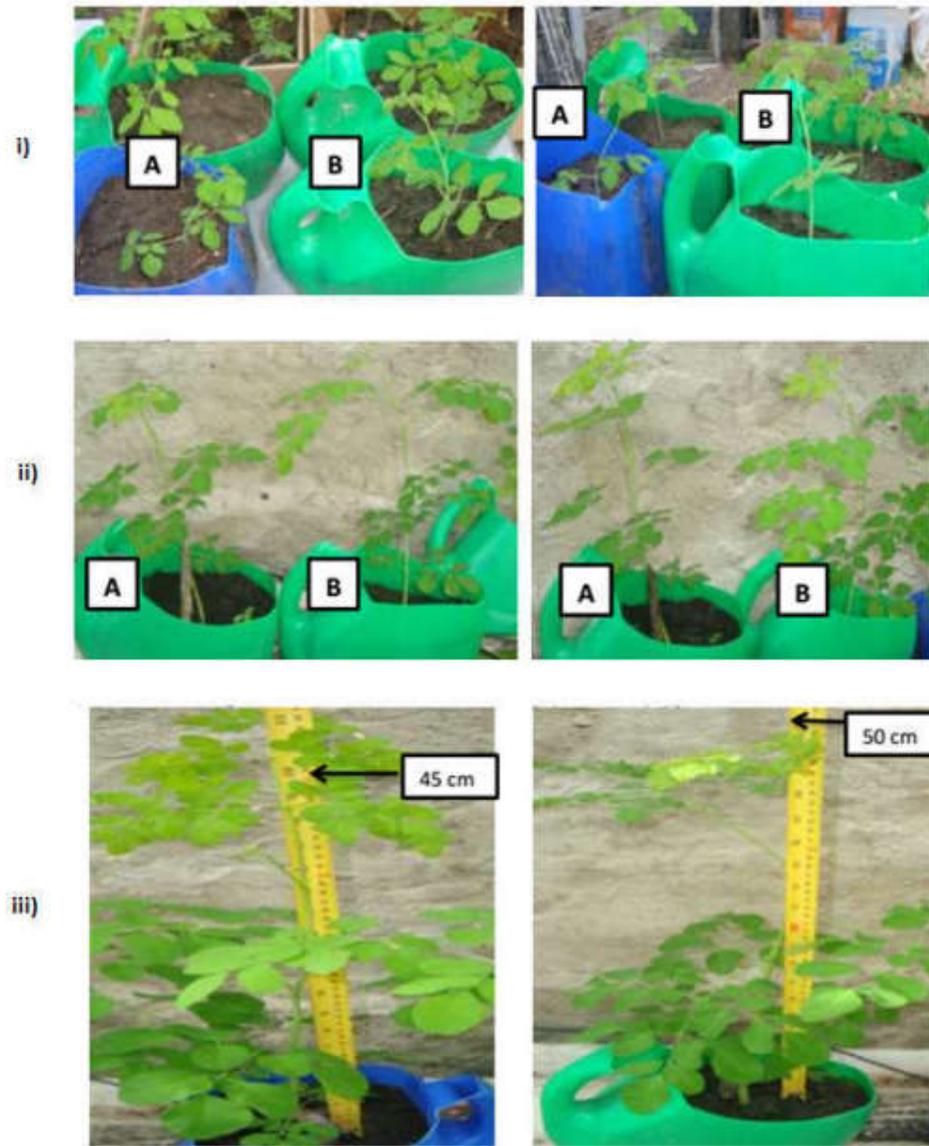


Figura 21

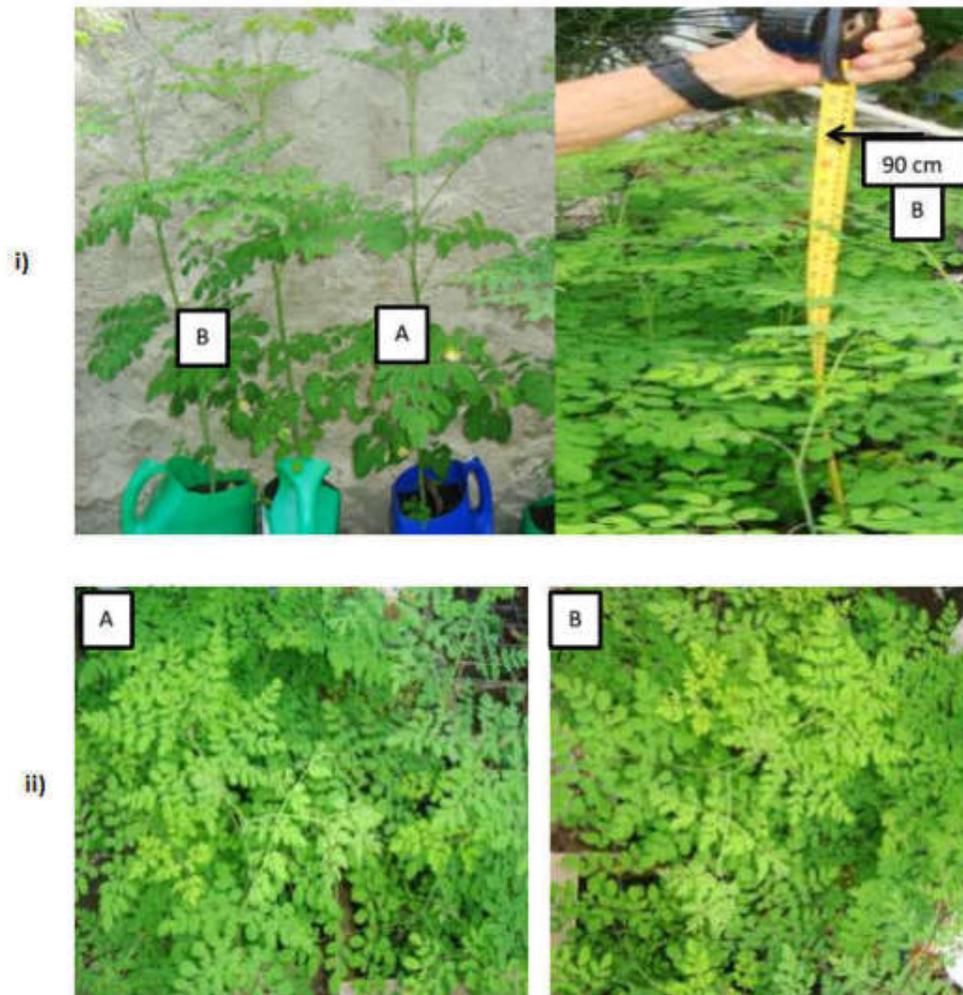


Figura 22

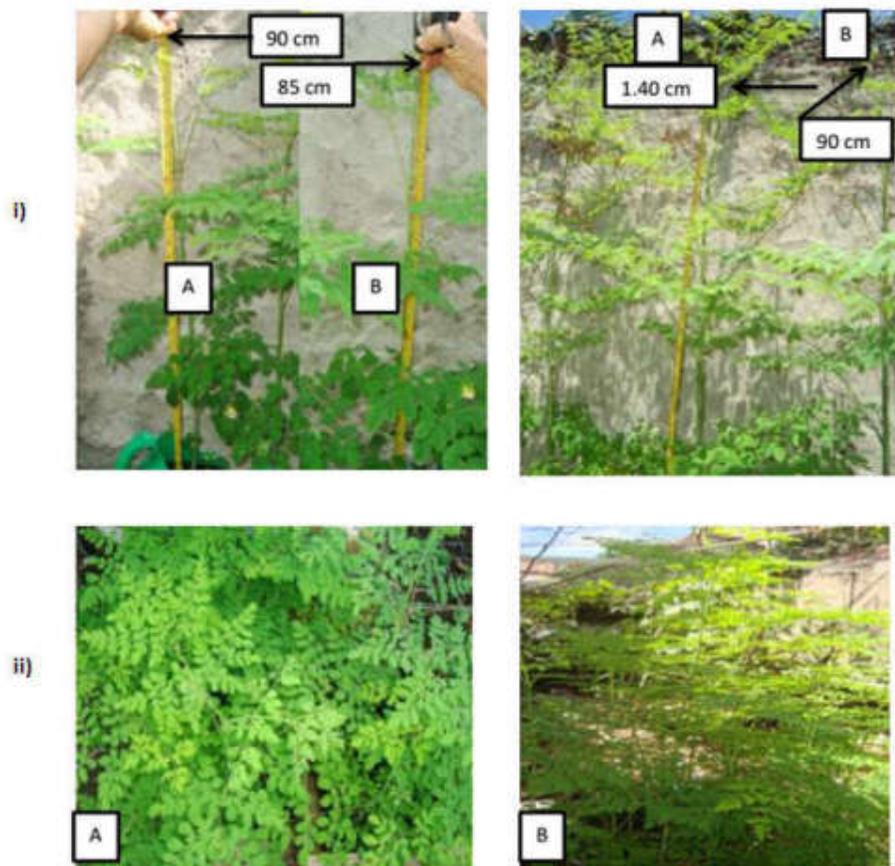


Figura 23

Resumo

PROCESSO DE TRATAMENTO DE LIXIVIADO, USO DE LODO RESIDUAL,
PROCESSO DE OBTENÇÃO DE UM BIOSSÓLIDO, BIOSSÓLIDO E USOS
DO BIOSSÓLIDO

A presente invenção descreve um processo de tratamento de lixiviado com extrato de semente de *Moringa oleifera* Lam obtendo-se um lodo residual que é útil para obtenção de um bio sólido. Especificamente, a presente invenção descreve o processo de obtenção de um bio sólido oriundo de lodo residual do tratamento de lixiviado e seu uso para produção de mudas e paisagismo em aterros sanitários. A presente invenção se situa nos campos da agronomia e engenharia ambiental.