



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ FERNANDO DO NASCIMENTO JÚNIOR

REUSO DO LODO RESULTANTE DO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO
SANITÁRIO COM *MORINGA OLEIFERA LAM*

RECIFE

2017

JOSÉ FERNANDO DO NASCIMENTO JÚNIOR

REUSO DO LODO RESULTANTE DO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO
SANITÁRIO COM *MORINGA OLEIFERA LAM*

Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Área de concentração: Geotecnia

Linha de pesquisa: Geotecnia Ambiental

Orientador (a): Prof. Dr. Silvo Romero de Melo Ferreira

RECIFE

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

N244r Nascimento Júnior, José Fernando do
Reuso do lodo resultante do tratamento de lixiviado de aterro sanitário com *Moringa Oleifera Lam* / José Fernando do Nascimento Júnior. – Recife, 2017.
102 folhas, il., gráfs e tabs.

Orientador: Prof. Dr. Silvo Romero de Melo Ferreira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Moringa. 3. Manta de Poliéster. 4. Lixiviado. 5. Tratamento de lixiviado. I. Ferreira, Silvo Romero de Melo (Orientador). II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**REUSO DO LODO RESULTANTE DO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO
SANITÁRIO COM *MORINGA OLEIFERA LAM***

defendida por

José Fernando do Nascimento Júnior

Considera o candidato APROVADO

Recife, 31 de agosto de 2017

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Silvo Romero de Melo Ferreira – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. Marília Regina Costa Castro Lyra – IFPE
(examinadora externa)

Prof. Dr. Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha – UFPE
(examinadora externa)

Dedico a Deus, *guia da minha trajetória,*
fonte de sabedoria e amor.
À Minha Mãe e Minha Esposa, por sempre
acreditarem no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

À **Deus** que permitiu superar todos os desafios impostos.

A minha esposa, Renata, pelo amor, incentivo e compreensão que me ajudou a atingir mais uma meta em minha vida.

Aos meus pais, Célia e Fernando, que sempre primaram por minha educação, e meu irmão, Jefferson, pela motivação para que eu completasse mais essa etapa.

Ao orientador professor Silvio Romero de Melo Ferreira pela amizade, paciência e serenidade, apoio e contribuições durante o desenvolvimento e término deste trabalho.

A minha amiga Zorayde Lourenço de Oliveira, em especial, por sua amizade, discussões técnicas e apoio ao desenvolvimento dos experimentos, sempre proativa para conclusão deste trabalho.

Ao professor Gabriel Francisco da Silva da Universidade Federal de Sergipe pela doação das sementes e óleo de *Moringa oleifera*.

Agradeço a Professora Valdinete Lins da Silva da UFPE/LEAQ pelo apoio ao desenvolvimento dos experimentos e análises laboratoriais.

Agradeço a todos que fazem parte do LEAQ, Chesque Cavassano, Léa Zaidan, e Marcia e Yuji pela atenção, apoio e pelas discussões técnicas e que facilitaram esta caminhada.

À Ana Maria Bastos, do LEAQ pela sua contribuição valiosa e prestativa para conclusão deste trabalho, pelo apoio e por compartilhar informações para realização dos dados e gráficos.

À Andrea Negromonte, Claudiana Araujo e Jecicleide Marques, secretárias na pós-graduação, pela amizade, atenção e ajuda.

A todos da Administração do aterro CTR candeias pela parceria na pesquisa pelo atendimento e informações fornecidas durante o período de desenvolvimento da pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento dos experimentos e análise laboratorial, em especial ao Diretor operacional do CTR Fabio Lopes, a Gerente operacional Anna Claudia Arruda e a técnica química Chistianne Barros.

A Maria da Conceição Gomes da Silva Andrade do Laboratório de Microbiologia da UFPE por toda atenção e pelas discussões técnicas.

Ao Sebastião Camilo técnico do LEAAL - Laboratório de Experimentação e Análise de Alimentos pelo profissionalismo e atenção.

Ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste trabalho.

Muito Obrigado!

"A Adversidade desperta em nós capacidades que, em circunstâncias favoráveis, teriam ficado adormecidas." (Horácio)

"Nenhum mal te atingirá, nenhum flagelo chegará à tua tenda, porque aos seus anjos ele mandou que te guardem em todos os teus caminhos. Eles te sustentarão em suas mãos, para que não tropeces em alguma pedra." (Sl, 90 10-12)

RESUMO

Um grande desafio no gerenciamento dos resíduos urbanos diz respeito ao tratamento de lixiviado, que possui um potencial contaminador do solo e mananciais, produzindo impactos ambientais negativos. Os métodos desenvolvidos para o tratamento de lixiviado consistem de físicos, químicos e biológicos. A biorremediação é uma técnica complementar aos métodos convencionais de tratamento por apresentar potencial para tratamento in situ e fácil operacionalidade. O trabalho avaliou a eficiência do uso de diferentes extratos de sementes de *Moringa oleifera* Lam com etapas de filtragem utilizando mantas de poliéster para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário, em laboratório e em escala de campo. A *Moringa oleifera* Lam foi escolhida devido a suas propriedades coagulantes e a sua capacidade de remoção de metais e bactérias. Foram comparados os extratos preparados com o óleo (LBOM) da semente e aquoso com casca (LBEMC) e sem casca (LBEMS), por meio dos ensaios de campo e em laboratório por Cone de Inhoff com filtragem e bioensaios com semente de Alface. Avaliou-se a remoção dos seguintes parâmetros: cor aparente, turbidez, condutividade, coliformes fecais e totais, pH, DQO, DBO₅ do lixiviado. Além da verificação do potencial tóxico do composto residual gerado. Os resultados demonstram que a concentração de LBEMC 37,5g/L com manta de poliéster 150g/m² obteve a maior eficiência para o pré-tratamento do lixiviado em laboratório com remoção de : (71%) Cor ; (56%) Condutividade; 37% (DBO) e o pH antes alcalino passou a ser levemente ácido. Já nos ensaio de campo a concentração de LBEMS 11g/L com manta de poliéster de 150g/m² obteve a maior eficiência para o pré-tratamento do lixiviado com remoções de: 56% (Cor); 54% (Turbidez); 51% (DQO); 72% (DBO₅) e 95% para Coliformes Totais (CT) e de 82% para Coliformes Fecais (CF). Também, constatou-se que A espécie florestal *Moringa oleifera* Lam e a Alface (*Lactuca sativa* L.) tiveram uma taxa de crescimento satisfatória, quando submetidas ao composto oriundo da compostagem do lixiviado bruto tratado com extratos de semente de *Moringa*. As variáveis caracterizam esse composto como de possível uso na adubação por apresentar bons valores nutricionais e ser não tóxico a outras espécies florestais.

Palavras-chave: *Moringa*. Manta de poliéster. Lixiviado. Tratamento de lixiviado.

ABSTRACT

The great challenge in the management of urban waste concerns the treatment of leachate, which has a potential contaminant of the soil and springs, producing negative environmental impacts. The methods developed for the treatment of leachate consist of physical, chemical and biological. Bioremediation is a technique complementary to conventional treatment methods because it has potential for in situ treatment and easy operation. The work evaluated the efficiency of the use of different *Moringa Oleifera Lam* seed extracts with filtration steps using polyester blankets for the treatment of landfill leachate in laboratory and field scale. *Moringa Oleifera Lam* was chosen because of its coagulant properties and its ability to remove metals and bacteria. The extracts prepared with the oil (LBOM) of the seed and the bark (LBEMC) and shelled (LBEMS) were compared by field and laboratory tests by Inhoff Cone with filtering and bioassays with lettuce seed. It was evaluated the removal of the following parameters: apparent color, turbidity, conductivity, fecal and total coliforms, pH, COD, BOD5 of the leachate. In addition to the verification of the toxic potential of the residual compound generated. The results showed that the dosage of LBEMC 37.5 g / L with polyester blanket 150 g / m² obtained the highest efficiency for the pretreatment of leachate in the laboratory with removal of: (71%) Color; (56%) Conductivity; 37% (BOD) and the former alkaline pH became slightly acidic. In the field trial, the dosage of LBEMS 2,200 kg / L with a polyester blanket of 150 g / m² obtained the highest efficiency for the pretreatment of the leachate with removals of: 56% (Color); 54% (Turbidity); 51% (COD); 72% (BOD5) and 95% for Total Coliforms (CT) and 82% for Fecal Coliforms (CF). Also, it was verified that *Moringa Oleifera Lam* and Lettuce (*Lactuca sativa L.*) had a satisfactory growth rate when submitted to compost from the crude leachate compost treated with *Moringa* seed extracts. The variables characterize this compound as possible use in fertilization because it presents good nutritional values and is nontoxic to other forest species.

Keywords: Moringa. Polyester Blanket. Leachate. Leachate Treatment.

LISTA DE SIGLAS

AOAC	Associação de Official Analytical Chemist 2000
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
CETESB	Companhia de tecnologia de saneamento ambiental
CEMPRE	Compromisso Empresarial para reciclagem
CE	Condutividade Elétrica
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente
DBO5	Demanda bioquímica de oxigênio
DBO5/DQO	Razão de biodegradabilidade
DQO	Demanda química de oxigênio.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental protection agency
ETE	Estação de tratamento de esgoto
Fe	Ferro
IPT	Manual de Gerenciamento Integrado
LEAQ	Laboratório de engenharia ambiental e da qualidade
LB	Lixiviado bruto- Referencia
LBEMC	Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa com casca
LBEMS	Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa sem casca
LBOM	Lixiviado bruto+ Óleo da semente de Moringa
N	Nitrogênio
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de pesquisas em saneamento básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SCO	Substrato comercial orgânico,
STML	Substrato da torta de Moringa com lixiviado
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
UASB	Reator para tratamento de esgoto doméstico.
K	Potássio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Objetivos.....	15
1.4	Estrutura da dissertação	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Definições e tratamentos convencionais.....	17
2.2	Caracterização do objeto de estudo.....	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	Coleta das amostras de lixiviados bruto (LB)	42
3.2	Caracterização físico-química das amostras de lixiviados	44
3.3	Aquisição e preparo do extrato da semente de <i>moringa oleifera lam</i>	45
3.4	Caracterização físico-química da semente de <i>moringa oleifera lam</i>	46
3.5	Descrição do experimento	47
3.6	Ensaio de laboratório - ensaios utilizando cone de imhoff	48
3.7	Bioensaios de toxicidade dos extratos de semente de moringa Oleífera e do lixiviado bruto antes e após os ensaios com os extratos da Moringa.	49
3.8	Ensaio de filtragem em escala de bancada: lixiviado bruto, <i>moringa oleifera lam</i>	50
3.9	Ensaio em escala de campo.....	52
3.10	Etapa de compostagem da torta de moringa.....	53
3.11	Experimento germinativo e de desenvolvimento da semente da <i>moringa Oleifera lam</i> e da Alface (<i>lactuca sativa</i>) em substrato resultante de compostagem.....	55
3.12	Ensaio de caracterização física e química dos substratos e biológica da Alface (<i>Lactuca sativa</i>)	56

3.13	Experimentos de biotoxidade por germinação de sementes de Moringa Oleifeira e Alface (<i>Lactuca sativa</i>) em ambiente protegido.....	56
3.14	Efeito do composto da Moringa e do composto comercial na germinação e desenvolvimento da Alface.....	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
4.1	Caracterização físico-química do lixiviado bruto.....	60
4.2	Resultados do experimento de laboratório – ensaios no cone de imhoff e filtros com manta de poliéster	61
4.3	Resultado do processo de compostagem da torta de moringa.....	70
4.4	Resultado do processo de germinação e crescimento da alface em substato comercial e no composto oriundo de compostagem da torta de lixiviado tratado com moringa	73
4.5	Resultado do processo de germinação e crescimento da semente de <i>Moringa oleifera lam</i> em composto comercial e composto oriundo de compostagem da torta de lixiviado tratado com moringa.....	76
5	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICE A – CERTIFICADO DE TRABALHO APRESENTADO NO VI ENAM 2016.....	100
	APÊNDICE B – CERTIFICADO DE PREMIAÇÃO DE MELHOR TRABALHO NO VI ENAM 2016.....	101
	APÊNDICE C – REFERENCIA DE PUBLICAÇÃO NO THE ELECTRONIC JOURNAL GEOTECHNICAL ENGINEERING	102

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA (2015), em seu componente "Resíduos Sólidos", 29,5% dos municípios cadastrados possuem lixão; 17,59% aterros sanitários; 16,94% aterros controlados. Esses mesmos dados apontam que 21,9% possuem unidades de triagem de resíduos recicláveis; 1,68% têm unidades de compostagem e 0,46% têm unidade de tratamento por incineração e 11,93% outras formas de unidades de processamento de resíduos. Tais dados demonstram que a forma inadequada de tratamento ainda é utilizada trazendo prejuízos ao meio ambiente com a poluição do solo, águas superficiais e subterrâneas além de não privilegiar o uso sustentável de materiais.

Com a regulamentação da lei nº 12.305 a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, desde agosto de 2010, baseada na responsabilidade compartilhada, a sociedade em geral - poder público, sociedade civil e o setor privado – comprometeram-se com a busca de soluções para os problemas na gestão de resíduos sólidos no Brasil.

O setor privado tornou-se responsável pelo gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos englobando a sua reincorporação na cadeia produtiva e inovações que tragam benefícios socioambientais e o poder público por sua vez em todos os seus níveis são responsáveis pela implementação dos planos de gestão de resíduos.

Também, constata-se que a pesquisa por métodos que busquem soluções para a mitigação de problemas causados pelo inadequado manejo dos resíduos revela a preocupação da sociedade com os altíssimos custos socioeconômicos e ambientais.

Admite-se, portanto, que o manejo adequado dos resíduos produz valor comercial tanto para novas matérias-primas como novos insumos. Pois, além de contribuir para a diminuição do consumo de recursos naturais, possibilitam a abertura de novos mercados, gerando, emprego e renda. Com isso leva à inclusão social e minimiza os impactos ambientais provocados pela disposição inadequada daqueles.

1.2 Justificativa

“A estimativa mundial para os gastos anuais com a despoluição ambiental gira em torno de 25-30 bilhões” (Dinardi, 2003). Tal afirmativa baseia-se nos tratamentos convencionais de recuperação de áreas degradadas, entretanto a inserção de novos métodos, pautadas na utilização racional dos recursos naturais e voltada no menor custo operacional vêm sendo cada vez mais adotados. Nesse contexto, destaca-se a fitorremediação (fundamenta-se no uso de plantas e seus derivados capazes de tolerar, absorver, transportar e estabilizar contaminantes que estejam em níveis tóxicos para descontaminação de solo e água) como uma das alternativas biotecnologias de maior potencial.

Nos casos de aterros sanitários de pequeno porte, no qual a obtenção de licenciamento ambiental ocorre segundo a resolução nº 404/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), há sistemas de drenagem pluvial e de fundo para coleta e posterior tratamento de lixiviado (líquido de coloração cinza escuro com odor forte e pútrido, derivado da ação de micro-organismos na decomposição da matéria orgânica, por intermédio, de reações físico-químicas dos materiais). Além disso, os gases oriundos do processo de bioestabilização da matéria orgânica são conduzidos e queimados (BIDONE, 1999).

A produção e o tratamento de lixiviado nos aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (RSU) são o grande desafio a serem superados. Tal obstáculo torna-se ainda mais grave quando o aterro sanitário é instalado em regiões de alta pluviosidade, devido ao aumento do volume de lixiviado, portanto o risco de contaminação ambiental e perdas socioeconômicas é relativamente alto. Em geral, o lixiviado dos aterros sanitários possui elevadas concentrações de compostos orgânicos, nitrogênio amoniacal e altas concentrações de metais pesados e sais inorgânicos (GARCÍA *et al.*, 1997).

Para o tratamento de lixiviado é possível utilizar os métodos de coagulação/floculação e precipitação com o intuito de remover os metais pesados e a matéria orgânica não biodegradável. Os coagulantes químicos são os mais empregados para o tratamento do lixiviado (NUNES *et al.*, 2004). Entretanto, pesquisas sobre coagulantes naturais estão sendo produzidas, com resultados

satisfatórios, visto que os coagulantes/floculantes naturais têm demonstrado uma baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais, além de uma boa relação de biodegradabilidade.

Diante disso, o objetivo dessa pesquisa é testar a eficiência do coagulante natural da espécie florestal *Moringa oleifera* Lam para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário e verificar os possíveis reusos do seu produto final.

1.3 Objetivos

OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o uso da semente da espécie florestal *Moringa oleifera* Lam, como coagulante natural, no tratamento de lixiviado de aterro sanitário em conjunto com as técnicas de tratabilidade convencionais. Além disso, o reuso do lodo resultante do tratamento proposto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o desempenho do coagulante presente na semente da espécie florestal *Moringa oleifera* Lam na retenção de elementos orgânicos e inorgânicos presentes no lixiviado;
- Realizar análise química, microbiológica e de metais dos contaminantes presentes no lixiviado pré e pós tratamento.
- Avaliar a capacidade e a viabilidade do uso da semente da *Moringa Oleifera* Lam no tratamento ou na remoção dos parâmetros DBO₅, DQO Cor, turbidez , Coliformes do lixiviado e metais pesados.
- Verificar a eficiência da *Moringa oleifera* Lam para o tratamento do lixiviado;
- Avaliar o potencial de toxidade do lodo oriundo do tratamento de lixiviado;
- Verificar a aplicabilidade do resíduo tratado no próprio aterro sanitário.

O Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil da UFPE já vem desenvolvendo estudos sobre aplicação da *Moringa Oleifera Lam* no tratamento de Lixiviado de aterro sanitário em destaque a dissertação de título: Avaliação do uso da *Moringa Oleifera Lam* para fitorremediação e tratamento de lixiviados de aterros sanitários; E a tese de doutorado, Lixiviado de aterro sanitário tratados com extratos de moringa oleífera Lam isolados e combinados com *abelmoschus esculentus* L.Moench e biossurfactante, da Dr. Zorayde Lourenço de Oliveira, os quais geraram 13 publicações em congresso e revistas.

O presente trabalho faz parte do projeto de pesquisa: Avaliação do desempenho da *Moringa Oleifera Lam* para utilização na fitorremediação de aterros sanitários, que conta com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da chamada Universal 2014 – MCTI/CNPq coordenado pelo professor Silvio Romero de Melo Ferreira. Nesse projeto encontra-se também em desenvolvimento a pesquisa de pós-doutorado de título: Lixiviado de aterro sanitário tratado com extratos de *Moringa Oleifera Lam* e alternativa de compostagem do resíduo do extrato coagulante de autoria da Dr. Zorayde Lourenço de Oliveira no programa de Pós-graduação em Engenharia civil na linha de pesquisa Geotecnia Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco –UFPE.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação é constituída de cinco capítulos que são estruturados da seguinte maneira. No Capítulo 1, a introdução mostra a relevância da pesquisa, objetivos e estrutura da mesma. No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica relatando o conceito e mecanismos envolvendo o uso da fitorremediação, por intermédio da espécie florestal *Moringa oleífera* Lam, para descontaminação de lixiviado. No Capítulo 3, está descrita a caracterização da área de estudo e os materiais e métodos experimentais utilizados nesta pesquisa. No Capítulo 4, os resultados obtidos a partir dos ensaios são discutidos. No Capítulo 5, estão apresentadas as principais conclusões e as recomendações para futuras pesquisas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo refere-se à revisão da literatura relacionada ao presente trabalho, para tal fim foram realizadas pesquisas sobre os tópicos atuais e pertinentes. Foi dividida em duas partes. A primeira parte trata de definições e tratamentos convencionais. Na segunda parte a apresentação das características da *Moringa Oleifera Lamarck*.

2.1 Definições e tratamentos convencionais

2.1.1 Resíduos sólidos

De acordo com a norma da NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos são aqueles que:

“resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Admite-se que os resíduos sólidos possuem imensa diversidade, assim sendo suas características físico-químicas e biológicas dependem da fonte ou atividade geradora, sendo classificado de acordo com: Riscos Potenciais de Contaminação do Meio Ambiente (Classe I ou Perigosos; Classe II ou Não-Inertes; Classe III ou Inertes); Natureza ou Origem (Lixo Doméstico ou residencial, Lixo Comercial, Lixo Público, Lixo Domiciliar especial (Entulho de obras, Pilhas e baterias, Lâmpadas fluorescentes, Pneus); Lixo de Fontes especiais (Lixo industrial, Lixo radioativo, Lixo de portos, aeroportos e terminais rodoviários, Lixo agrícola, Resíduos de serviços de saúde).

Com isso observa-se que o modelo de gestão deve adaptar-se as características de cada tipo de resíduo e não objetiva apenas a coleta, mas ao tratamento mais eficiente, a fim de evitar problemas econômicos e socioambientais.

A gestão ambiental tem se voltado para mitigar e reaproveitar os resíduos fazendo com que o recurso empregado no tratamento e na disposição final seja o

mais adequado, tudo isso devido a crescente conscientização pública e pressão dos mercados (ALONSO, 1992 e CPRH, 2000 e SANTOS, 2003 *apud* OLIVEIRA, 2015).

2.1.2 Lixiviado

De acordo com a NBR 8849/1985 (ABNT, 1985) define-se chorume que hoje é usualmente chamado de lixiviado como:

“Líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, de cor escura, mau cheiro e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)”.

Maciel (2005) defende que a alta concentração de matéria orgânica, a reduzida biodegradabilidade, presença de metais pesados e de substâncias recalcitrantes faz com que o lixiviado possua uma carga poluidora elevada trazendo efeitos danosos que contribuem para a degradação ambiental.

2.1.3 Sistemas de tratamento de Lixiviado

“Devido à complexa composição, alta concentração de poluentes, variação climática, alteração das características ao longo do tempo, o tratamento do lixiviado se torna de alto custo, difícil e particular” (BOHDZIEWICZ *et al.*, 2001; ALKHAFIJI *et al.*, 2014). O estágio do aterro é quem normalmente define o procedimento a ser utilizado no tratamento do lixiviado (TANG ; SINGH, 2013). Para aterros mais recentes nos quais existem grande quantidade de MO (matéria orgânica) biodegradável de baixa massa molar é possível utilizar processos secundários como lodo ativados. Já os lixiviados de aterros mais antigos possuem uma MO basicamente constituída de ácidos húmicos e fúlvicos que são refratários. Essas substâncias refratárias diminuem a eficiência de tratamentos biológicos, sendo mais eficazes os tratamentos físico-químicos que reduzem esses constituintes refratários da MO (SINGH *et al.*, 2012b).

Observa-se que na degradação de poluentes persistentes e recalcitrantes os métodos convencionais de tratamento de efluentes são pouco efetivos por não serem capazes de remover seletivamente, quantidades pequenas de contaminantes, com baixíssimos tempos reacionais e alta eficiência de remoção (ECKENFELDER, 2000 *apud* SANTOS, 2017). A exemplo, de acordo com a resolução CONAMA 430

(2011), o valor limite permitido para descarte numa amostra que contenha benzeno é de $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$, necessitando, assim, de um tratamento capaz de remover a toxicidade deste contaminante em um efluente que venha a ser lançado em algum corpo hídrico (MMA, 2011 *apud* SANTOS, 2017).

“Diante disto, os Processos Oxidativos Avançados (POA) têm se tornado cada vez mais promissor e eficiente na promoção da degradação das substâncias recalcitrantes e xenobióticas” (ECKENFELDER, 2000; PARSONS, 2004 *apud* SANTOS, 2017). Para uma melhor eficácia no tratamento do lixiviado recomenda-se a utilização de técnicas e processos alternativos nos quais destacam-se os tratamento biológico, recirculação do lixiviado através do aterro sanitário e tratamento físico químico (CEMPRE/ IPT 2000 *apud* OLIVEIRA, 2015).

Oliveira (2015) apresenta alguns tipos de tratamento de lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos no Brasil, como: tratamento físico-químico os processos biológicos aeróbios e anaeróbios, remoção de amônia por arraste de ar (air stripping), processos oxidativos avançados (POA), processos de separação por membrana e wetlands. “Além desses tratamentos, no sentido de diminuir a vazão do lixiviado, ainda se utiliza a técnica de recirculação, entretanto em épocas chuvosas, essa técnica é limitada pela capacidade” (JUCÁ, 2002 *apud* LEITE, 2016).

Os processos biológicos (lagoas aeróbias, anaeróbias e facultativas) são os mais utilizados em estações de tratamento de lixiviados. No entanto, apesar de tratados por esses processos, o lixiviado ainda possui concentrações de poluentes, com carga orgânica e nitrogênio amoniacal, assim sendo um risco o descarte desse efluente no meio ambiente (CECCONELLO, 2005). No Brasil os tratamentos aplicados são de baixa eficiência ou nenhuma, mesmo tendo o objetivo de reduzir a concentração de nitrogênio amoniacal e compostos orgânicos (BIDONE, 2007).

Na Tabela 2.1 é possível observar alguns dos tratamentos aplicados ao lixiviados de aterros sanitários e controlados no Brasil, no qual, confirma-se que a maioria dos aterros utiliza o tratamento biológico.

Tabela 2.1: Tipos de Tratamentos de Lixiviados realizados nos maiores Aterros de Resíduos Sólidos no Brasil (JUCÁ *et al*, 2002).

Cidade	Tipo de destinação final	Quant. (Ton/dia)	Tratamento do lixiviado
Recife-PE	Aterro Controlado da Muribeca	2.800	Recirculação de lixiviado, lagoa anaeróbia, lagoas facultativas, sistema bioquímico.
Caruaru-PE	Aterro Sanitário de Caruaru	200	Digestor anaeróbio, seguido por um charco artificial.
Manaus-AM	Aterro Sanitário de Manaus	1.125	Recirculação de lixiviado e biorremediação
Belém-PA	Aterro Controlado de Belém	1.024	Recirculação de lixiviado e biorremediação
Rio de Janeiro-RJ	Aterro Controlado de Gramacho	7.026	Tanques de polimento e sistemas de nano-filtração.
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Caucaia	3.500	Lagoas anaeróbias e facultativas.
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Aquiraz	21	Lagoas anaeróbias e facultativas.
Extrema-MG	Aterro Sanitário de Extrema	8	Lagoas anaeróbias em série, seguidas por uma facultativa e uma de maturação.
Paracatu-MG	Aterro Sanitário de Paracatu	26	Uma lagoa anaeróbia seguida por uma facultativa.
Contagem-MG	Aterro Sanitário do Perobas	214	Tanque Imhoff seguido de filtro biológico.
Ipatinga-MG	Aterro Sanitário de Ipatinga	150	Reator anaeróbio, lagoa de estabilização, aerador de cascata e lagoa de maturação.
Contagem-MG	Aterro Sanitário do Perobas	214	Tanque Imhoff seguido de filtro biológico.
Ipatinga-MG	Aterro Sanitário de Ipatinga	150	Reator anaeróbio, lagoa de estabilização, aerador de cascata e lagoa de maturação.
Uberlândia-MG	Aterro Sanitário de Uberlândia	120	Tratamento primário (grades, retentor de óleo e desarenador), seguido por RAFA (reator anaeróbio de fluxo ascendente) e filtro biológico.
Três Corações-MG	Aterro Sanitário Três Corações	30	Uma lagoa anaeróbia seguida por um filtro anaeróbio e uma lagoa facultativa.

Tabela 2.1: Tipos de Tratamentos de Lixiviados realizados nos maiores Aterros de Resíduos Sólidos no Brasil (JUCÁ *et al*, 2002). (continuação)

Cidade	Tipo de destinação final	Quant. (Ton/dia)	Tratamento do lixiviado
Belo Horizonte-MG	Aterro Sanitário de BH	4.139	Recirculação de lixiviado excedente tratado na ETE do município. Poço Coletor anaeróbio com circulação forçada, depois um reator UASB que inicia o tratamento físico-químico e posteriormente para um decantador e depois para um sistema de lagoas composta por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação e por fim adição de hipoclorito de sódio para desinfetar o líquido tratado.
Biguaçu-SC	Aterro Sanitário da Formaco	1500 a 14.500	Poço Coletor anaeróbio com circulação forçada, depois um reator UASB que inicia o tratamento físico-químico e posteriormente para um decantador e depois para um sistema de lagoas composta por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação e por fim adição de hipoclorito de sódio para desinfetar o líquido tratado.
Biguaçu-SC	Aterro Sanitário da Formaco	1500 a 14.500	Poço Coletor anaeróbio com circulação forçada, depois um reator UASB que inicia o tratamento físico-químico e posteriormente para um decantador e depois para um sistema de lagoas composta por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação e por fim adição de hipoclorito de sódio para desinfetar o líquido tratado.
Porto Alegre-RS	Aterro Sanitário da Extrema	200	Filtro anaeróbio em leito de brita construído sob o aterro; lagoa de aeração forçada; transporte com caminhão tanque para cotratamento final em ETE juntamente com esgoto doméstico.
Itaquaquecetuba-SP	Aterro Sanitário Itaquaquecetuba	650	Não tem tratamento, o lixiviado é levado para estação de tratamento de esgoto do município. Estava previsto tratamento químico.
Mauá-SP	Aterro Sanitário Mauá	1500 a 2000	3 reatores e 2 lagoas com agitador (aerador)
São Paulo-SP	Aterro Sanitário São João		Tratamento na SABESP (esgotos)
Santo André-SP	Aterro Sanitário	700 a 750	Uma lagoa anaeróbia e uma facultativa com aerador

Tabela 2.1: Tipos de Tratamentos de Lixiviados realizados nos maiores Aterros de Resíduos Sólidos no Brasil (JUCÁ *et al*, 2002). (continuação)

Cidade	Tipo de destinação final	Quant. (Ton/dia)	Tratamento do lixiviado
Salvador-BA	Aterro Sanitário Metropolitano	-	Tratamento no CETREL (resíduos industriais)
Palmas-TO	Aterro Sanitário	120	Sistema de lagoas de estabilização em série com 01 lagoa anaeróbia, uma facultativa e uma de maturação
Araguaiana-TO	Aterro Sanitário	160	Fossas sépticas e valas de infiltração
Guaraí-TO	Aterro Sanitário	40	2 lagoas anaeróbias
João Pessoa-PB	Aterro Controlado	870	Digestor anaeróbio seguido de fitorremediação

O subdimensionamento do projeto é outro fator que torna o tratamento do lixiviado ineficiente, pois a verificação do balanço hídrico é produzida prevendo eventos de menor volume do que o real. E somando-se a esse fato, a impermeabilização inadequada das lagoas nas estações de tratamento (HAMADA, 2000).

2.1.4 Tratamento Físico-Químico

Os processos mais empregados no tratamento físico-químico de lixiviados são coagulação, floculação e sedimentação são processos que visam remover material coloidal e partículas muito finas que sedimentam lentamente.

O processo constitui-se por uma etapa de agitação rápida que visa a coagulação e de outra de agitação lenta que visa a floculação. “Para testar melhores condições de coagulação - floculação é utilizado o ensaio de “Jar Test” ” (NUNES *et al*, 2004 *apud* OLIVEIRA, 2015).

2.1.5 Coagulação

A coagulação tem como objetivo a remoção de partículas coloidais nos sistemas de tratamento de efluentes (SANTOS, 2006). A situação é que devido ao

reduzidíssimo tamanho das partículas se faz necessário a adição de coagulantes, pois levariam um longo tempo para sedimentar (PAVANELLI, 2001).

A coagulação consiste na ação física e reações químicas sobre as partículas coloidais e em suspensão do efluente desestabilizando-as em um tempo curto de duração. Diante disso, a qualidade microbiológica do efluente, a duração e o tipo de processo de filtragem como também o custo do metro cúbico tratado são influenciados pela eficiência da coagulação (LIBÂNIO, 2010).

Observa-se que, o processo químico consiste da formação de espécies hidrolisadas e ionizadas oriundas da reação do coagulante com a água. Por outro prisma, o processo físico baseia-se na interação das espécies hidrolisadas com bactérias, impurezas do meio e etc. Os principais fatores que influenciam a coagulação são a espécie e a quantidade de coagulante, o tempo de mistura e o pH do efluente. Nesse sentido, a coagulação preferencialmente deve ocorrer dentro de uma zona ótima de ação que seria uma zona na qual a relação pH/tempo/quantidade de coagulante seriam ideais para ocorrer uma boa floculação (FRANCO, 2009).

Ressalta-se que os principais mecanismos da coagulação são adsorção com neutralização da carga, adsorção com formação de pontes e compressão da camada difusa.

O mecanismo de adsorção com neutralização da carga consiste na retenção das partículas desestabilizadas em um meio filtrante, logo após a dispersão do coagulante, onde ocorrem interações entre o coagulante/solvente, coagulante/coloide e coloide/solvente que geram a desestabilização coloidal, segundo Di Bernardo e Dantas (2005).

Já o mecanismo de adsorção com formação de pontes baseia-se na adição de polímeros orgânicos, reduzindo as dosagens de coagulantes. O processo de coagulação neste caso ocorre por intermédio da formação de pontes químicas no momento da adsorção das partículas coloidais na superfície da cadeia polimérica (LIBÂNIO, 2010).

Com o mecanismo da compressão da camada difusa a desestabilização das partículas se dá pela adição de íons de carga contrária. (THEODORO, 2012). Ao adicionar íons de carga contrária às partículas, há um excesso de carga positiva fazendo com que se reduza o volume da esfera para manter-se eletricamente neutra (PAVANELLI, 2001).

Com isso, admite-se que para melhorar a coagulação é importante determinar o pH ótimo de ação do coagulante, evitando-se o desperdício do agente de coagulação (HELLER, 2006). Logo após a adição de coagulante há formação de flocos que são oriundos das colisões entre as impurezas e destinados às unidades de floculação, faz-se necessário uma agitação relativamente lenta, para acelerar a quantidade de colisões de partículas coloidais (BERNARDO, 2005).

2.1.6 Floculação

A floculação é constituída por uma mescla de eventos físicos, no qual objetiva-se reduzir a quantidade de partículas em suspensão e coloidais da massa líquida desestabilizada na coagulação que acabaram por formar flocos que serão removidos (LIBÂNIO, 2010).

A floculação pode ocorrer de duas maneiras: a mecânica ou a hidráulica. Na mecânica são utilizados agitadores eletromecânicos e na hidráulica, a energia de agitação é obtida com o uso de chicanas, onde há um direcionamento do líquido seguindo a um fluxo que pode ser horizontal ou vertical (NUNES, 2012).

A formação dos flocos se dá a partir de três fenômenos: floculação pericinética, floculação ortocinética e pela sedimentação diferencial (LIBÂNIO, 2010). A floculação pericinética atua nas partículas menores conferindo movimento próprio a partir de sua energia. Já a floculação ortocinética deriva da velocidade do meio advindos das colisões particulares, sendo assim mais efetiva. Por fim, a sedimentação diferenciada decorre das diferentes velocidades de decantação dos flocos que se formam, ocasiona aumento da decantabilidade devido ao aumento do tamanho dos flocos (FRANCO, 2009).

2.1.7 Sedimentação

A sedimentação consiste em utilizar a gravidade para separar sólidos sedimentáveis que estão presentes em um meio aquoso. Vê-se, que, os sólidos depositam-se (sedimentam) no fundo do decantador, de onde são retirados como lodo, enquanto o efluente decanta pelo vertedouro (NUNES, 2012). As dimensões, as formas das partículas e sua massa específica determinam a velocidade de sedimentação (DI BERNARDO, 2005).

Os decantadores podem ser mecanizados que removem o lodo mecanicamente por intermédio de raspadores de fundo, e os não mecanizados que removem o lodo por meio de cargas hidrostáticas (NUNES, 2012). Espera-se que a eficiência de remoção de turbidez gire em torno de 80 a 90% e de 80% para coliformes (PIANTÁ, 2008). O mau funcionamento das unidades de coagulação e floculação pode diminuir a eficiência na unidade de decantação, tanto por problemas operacionais quanto por baixa concentração de partículas. Com isso, compreende-se que a coagulação é dificultada devido a menor quantidade de colisões entre as partículas e os produtos da hidrólise do coagulante (HELLER, 2006).

2.1.8 Coagulantes

Com a necessidade de remover partículas e materiais dos efluentes o homem passou a introduzir os coagulantes, tanto químicos à base de sais de ferro ou alumínio, como os naturais que são uma alternativa para países em desenvolvimento (ARANTES, 2012). O uso de um coagulante no tratamento de efluentes está ligado à capacidade de produzir precipitados e espécies hidrolisadas em dissociação no meio aquoso como também a capacidade de desestabilizar ou envolver as partículas em suspensão e coloidais presentes no meio (LIBÂNIO, 2010). Outro fator seria que o uso de coagulante auxilia no aumento da força de resistência dos flocos, facilitando a aglomeração (BORBA, 2001).

2.1.9 Coagulantes químicos

Os coagulantes químicos mais usuais são sulfato de alumínio, sulfato de ferro, cloreto férrico e clorosulfato de ferro. Os lixiviados novos apresentam baixo percentual de remoção de DQO e COT (10-25%), já os lixiviados de baixa razão de DBO5/DQO apresenta moderada remoção (50-65%). Por outro lado auxiliares de coagulação a exemplo dos polieletrólitos nãoiônicos, catiônicos ou aniônicos podem ser utilizados a fim de aumentar a taxa de decantação dos flocos, sem provocar uma real melhora na eficiência de remoção de turbidez (AMOKRANE *et al.*, 1997 *apud* OLIVEIRA, 2015). As vantagens dos processos físico-químicos se apresentam na rapidez, praticidade e fácil manipulação, em geral, em boa parte dos casos, simplicidade dos materiais e da unidade de tratamento. Entretanto, como

desvantagem a real possibilidade da produção excessiva de lodo e o aumento das concentrações de alumínio ou ferro no efluente final (HAMADA MATSUNAGA, 2000 *apud* OLIVEIRA, 2015).

2.1.10 Coagulantes Naturais

A base dos coagulantes naturais são os polissacarídeos, proteínas e amidos, e se classificam segundo sua cadeia carbônica podendo ser catiônicos (cargas positivas) ou aniônicos (cargas negativas) (BORBA, 2001). O controle sobre os resíduos metálicos deixados pelos sais inorgânicos na água após o tratamento é uma desvantagem frente aos coagulantes naturais que não demandam tal preocupação (BONGIOVANI, 2010). Desse modo os coagulantes naturais se mostram mais vantajosos que os químicos em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004 *apud* CARDOSO, 2008).

2.1.11 Processos biológicos aeróbios e anaeróbios

O Tratamento biológico é normalmente utilizado para remoção de altas concentrações de DBO no lixiviado. O processo de biodegradação é realizado por microrganismos, que degradam compostos orgânicos a dióxido de carbono e lodo, nas condições aeróbias e em biogás em condições anaeróbicas (um composto que basicamente é CO_2 e CH_4). Tais processos demonstraram alta eficácia na remoção de MO e matéria nitrogenada de lixiviados de aterros novos quando a relação DBO / DQO possui um elevado valor ($> 0,5$). Com o decorrer do tempo, há uma presença maior de compostos refratários (principalmente ácidos húmicos e fúlvicos) que tende a ser um limitante da eficiência (RENOU *et al*, 2008).

Segundo Tchobanoglous (2004) os principais processos biológicos são: processo de crescimento suspenso; processo de crescimento ligado; Processo combinado e processo de lagoas. No processo de crescimento suspenso o microrganismo responsável pela conversão de matéria orgânica ou outro constituinte do lixiviado para gases e o tecido das células são mantidos em suspensão no interior do líquido. Já no processo de crescimento ligado o microrganismo responsável pela conversão da matéria orgânica ou outro constituinte do lixiviado

para gases e o tecido da célula são ligados a um substrato inerte, como rochas, escoria ou especial em materiais de cerâmicos ou plásticos. No entanto, nos processos combinados ocorre a combinação dos processos de crescimento suspenso e ligado. Por fim, os processos de lagoas consistem no tratamento em lagoas naturais ou artificiais com várias proporções e profundidades.

O tratamento aeróbio tem com objetivo atingir a nitrificação do nitrogênio amoniacal e também reduzir parcialmente os poluentes orgânicos biodegradáveis (RENOU *et al* 2008).

A Tabela 2.2 apresenta os principais processos aeróbios utilizados e suas funções (TCHOBANOGLIOUS *et al*, 2004).

Tabela 2.2: Principais processos aeróbios e suas funções (TCHOBANOGLIOUS *et al*, 2004).

Processo aeróbio	Nome usual	Função
Crescimento suspenso	Lodo ativado	Remoção de DBO e nitrificação
	Lagoa aerada	Remoção de DBO e nitrificação
	Digestão aeróbia	Estabilização e remoção de DBO
Crescimento ligado	Filtros biológicos	Remoção de DBO e nitrificação
	Contatores rotativos biológicos	Remoção de DBO e nitrificação
	Reator em leito	Remoção de DBO e nitrificação
Combinação	Filtros biológicos / lodo ativado	Remoção de DBO e nitrificação

O processo de lagoas aeradas é recomendável quando há disponibilidade de uma extensa área de terra. Tal processo atinge uma alta remoção de DBO, podendo chegar a mais de 90%. Por ser eficiente, possui vantagens como, baixo custo de instalação, manutenção, fácil operação. Contudo, dependendo da potência de aeração, com o tempo, haverá deposição de sólidos no fundo da lagoa, reduzindo a eficiência e necessitando de drenagem ou instalação de um decantador secundário para evitar o alto teor de sólidos no efluente final (PROSAB, 2006 *apud* OLIVEIRA, 2015).

No filtro biológico à superfície do meio poroso ficam aderidos os micro-organismos e substratos que ficam em contato com o ar atmosférico. “Os filtros de casca de árvore podem suprir o consumo de O₂ na ordem de 200 a 3.000 mg/L de DQO e 50 a 1.000 mg/L de carbono orgânico total dependendo do fluxo e do tempo” (HAARSTAD e MAEHLUM, 1999 *apud* OLIVEIRA, 2015).

Já o tratamento anaeróbio de lixiviados pode ser realizado a elevados tempos de detenção de sólidos e baixos tempos de detenção hidráulica, além de apresentar tecnologias de baixo custo e simples. Diferente do processo aeróbio, a introdução de um oxidante não se faz necessária e a produção de lodo é menor, além disso, o processo produz o gás metano que pode ser utilizado como combustível (DACANAL, 2006).

A Tabela 2.3 apresenta os principais processos anaeróbios e suas funções (TCHOBANOGLIOUS *et al*, 2004).

Tabela 2.3: Principais processos anaeróbios e suas funções (TCHOBANOGLIOUS *et al*, 2004).

Processo aeróbio	Nome usual	Função
Crescimento suspenso	Processo de contato anaeróbio	Remoção de DBO
	Digestão anaeróbia	Estabilização, destruição de sólidos e patogênicos
Crescimento ligado	Leito fluidizado e empacotado anaeróbio	Remoção de DBO, estabilização e desnitrificação
Lodo	Fluxo ascendente e lodo anaeróbio	Remoção de DBO
Combinação	Fluxo ascendente e logo / crescimento ligado	Remoção de DBO

Nas lagoas anaeróbias, a degradação da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio. As lagoas tem profundidade entre de 2,0 a 4,0 m, e podem ocupar uma área menor em relação às lagoas aeróbias ou facultativas. Operam sem muitos cuidados operacionais e, em geral, a remoção de DBO na lagoa anaeróbia fica em torno de 50%. Os processos anaeróbios têm se mostrado eficientes na remoção de metais pesados na forma de sulfetos, além de reduções significativas de DQO (BORCAZZONI *et al.*, 1999; IGLESIAS *et al.*, 2000 *apud* OLIVEIRA, 2015).

2.1.12 Recirculação do Lixiviado

A recirculação de lixiviados é o procedimento mais utilizados para melhorar a estabilização do aterro, aumentando o teor de umidade, melhorando a qualidade do lixiviado gerado, aumentando a produção de metano, melhorando o assentamento

dos resíduos e baixando a concentração de metais pesados (Huang *et al*, 2016). Também é utilizada em áreas já aterrada sendo considerado um método de tratamento uma vez que atenua os constituintes pela atividade biológica e pelas reações físico-químicas que ocorrem no interior da célula do aterro. Por exemplo, os ácidos orgânicos presentes no lixiviado irão ser convertidos em CH_4 e CO_2 . “É importante ressaltar que um aterro sanitário é um grande reator anaeróbio e a recirculação do lixiviado aumenta o seu tempo dentro do reator” (TCHOBANOGLIOUS *et al*, 1993; McBEAN *et al*, 1995, *apud* OLIVEIRA, 2010). “Para melhorar a qualidade do lixiviado e acelerar a estabilização do aterro, estudos sobre a recirculação de lixiviado tem utilizados altas taxas de recirculação (> 10% de volume total de resíduos/dia), porém o grande volume de lixiviado recirculado pode impor dificuldades, tais como o aumento do risco de vazamentos e altos custos de operação” (Huang *et al*, 2016) e em épocas chuvosas, essa técnica é limitada pela capacidade do aterro (JUCÁ, 2002 *apud* LEITE, 2016).

2.1.13 Remoção de amônia por arraste de ar (Air stripping)

Método utilizado para eliminação de uma alta concentração de N-NH_3 está envolvido em tecnologias de tratamento de águas residuais por remoção por ar. Os altos níveis de nitrogênio amoniacal são normalmente encontrados nos lixiviados dos aterros e a remoção de amônia por aeração mecânica pode trazer bons resultados na eliminação deste poluente, que pode aumentar a toxicidade de águas residuais. Para este método ser eficiente, altos valores de pH devem ser utilizados e a fase gás deve ser tratada com H_2SO_4 ou HCl . O desempenho deste processo pode ser avaliado em termos da eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal. Porém, a maior preocupação sobre este processo é a liberação de N-NH_3 na atmosfera, de modo a causar grave poluição do ar se a amônia não for adequadamente absorvida com o H_2SO_4 ou HCl (RENOU *et al*, 2008). Outra desvantagem é a escala de carbonato de cálcio na torre de extração quando cal é utilizada para ajuste do pH. Uma vez que o lixiviado de aterro mais antigo contém elevada alcalinidade, assim como um forte sistema de tamponamento de pH, antes e depois da extração, o processo irá consumir uma grande quantidade de álcali e ácido, uma enorme quantidade de carbonato precipitado é geralmente formado no processo e pode causar problemas de operação e manutenção graves. Além disso, uma grande torre

de extração será necessária devido à formação de espuma quando N-NH₃ é retirado do lixiviado bruto (II *et al*, 1999).

2.1.14 Processos Oxidativos Avançados (POA)

São processos que se caracterizam por transformar a maioria dos contaminantes orgânicos em CO² e H₂O, ácidos orgânicos e ânions inorgânicos por meio de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente o radical hidroxila (HO⁻), o radical OH⁻ é uma espécie altamente reativa e pouco seletiva, que possui alto potencial de oxidação. As vantagens do POA em relação a outros processos são: forte poder oxidante; mineralizam os poluentes recalcitrantes e/ou os tornam biodegradáveis; cinética de reação elevada; em geral não necessitam de um pós-tratamento ou disposição final; não formam subprodutos; normalmente consomem menos energia, acarretando um menor custo (SILVA, 2013).

2.1.15 Processos de Separação por Membranas

“Estes processos podem ser classificados por: tipo de material que a membrana é fabricada, natureza da força externa aplicada, mecanismo de separação, tamanho dos poros da membrana e tamanho nominal das partículas que são separadas” (METCALF ; EDDY, 2007 *apud* OLIVEIRA, 2015). Consiste em utilizar membranas específicas (de acordo com grau de depuração, natureza e tipo de soluto e presença ou não de partículas em suspensão), também são utilizadas membranas de tamanhos e distribuição de poros diferentes, caracterizando os processos conhecidos como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa. No qual na microfiltração há eliminação dos coloides e o material em suspensão, esse método deve ser utilizado como pré-tratamento para outro processo de membrana com ultrafiltração, nanofiltração ou osmose reversa ou até mesmo em parceria com tratamentos químicos (RENOU *et al*, 2008).

Já a ultrafiltração que é fortemente dependente do tipo de material da membrana é eficaz para eliminar as macromoléculas e as partículas, com isso pode ser usado como uma ferramenta de fracionamento da matéria orgânica de maneira verificar a massa molecular dos poluentes orgânicos presente no lixiviado. “Além

disso, os testes com membranas permeáveis podem dar informações sobre a recalcitrância e toxicidade das frações permeadas” (RENOU *et al*, 2008).

A nanofiltração por oferecer uma abordagem versátil atende a múltiplos parâmetros da qualidade da água, tais como o controle de orgânicos, inorgânicos e contaminantes microbianos. Contudo, o sucesso do uso dessa tecnologia depende de um controle eficiente de incrustação da membrana, como o lixiviado é composto de diversos componentes como substâncias orgânicas dissolvidas e inorgânicas, partículas coloidais e suspensas, podem favorecer a incrustação (RENOU *et al*, 2008).

Por fim a osmose reversa, segundo RENOU *et al* (2008), aparenta ser um dos métodos mais promissores e eficientes entre esses processos de tratamento de lixiviados dos aterros sanitários. Por meio da osmose reversa é possível remover sólidos suspensos, substâncias coloidais, substâncias orgânicas, substâncias orgânicas refratárias, compostos orgânicos voláteis, amônia, nitrato, fósforo, sólidos dissolvidos totais e bactérias (TCHOBANOGLIOUS *et al*, 2004). No entanto, dois problemas devem ser levados em consideração, o primeiro seria as incrustações na membrana, que requer pré-tratamento intensivo ou limpeza química das membranas, o que resulta na curta vida útil das membranas e a crescente diminuição da eficácia do processo, e o segundo problema seria a geração de um grande volume de concentrado, que não é utilizável e tem que ser descarregado ou ainda tratado (RENOU *et al*, 2008).

2.1.16 Legislação Ambiental

Na legislação brasileira, a resolução que determina os padrões de qualidade dos efluentes para que se possa haver o despejo nos corpos hídricos é a resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento dos efluentes, complementando e alterando a resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005) a qual, além disso, também dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

De acordo com o Artigo 1º da Resolução número 430 (CONAMA, 2011), de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes

para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Os efluentes de qualquer fonte poluidora deverão ser lançados no corpo receptor desde que obedecem as condições da resolução. Desse modo, para cumprir as legislações vigentes os efluentes devem se enquadrar nos padrões, através dos tratamentos necessários, sendo que muitas indústrias e fontes poluidoras geram efluentes com um nível de contaminação muito alto. A Tabela 2.4 e 2.5 apresenta os padrões de lançamento de efluentes de acordo com a legislação em questão.

Tabela 2.4. Padrões de lançamento de efluentes para parâmetros inorgânicos (CONAMA 430, 2011).

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (não se aplica a lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr ⁺⁶
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr ⁺³
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N

Tabela 2.4. Padrões de lançamento de efluentes para parâmetros inorgânicos (CONAMA 430, 2011).

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn

Tabela 2.5. Padrões de lançamento de efluentes para parâmetros orgânicos (CONAMA 430, 2011).

Parâmetros orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano (somatório 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L
C6H5OH Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1.0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

A Resolução CONAMA 430 também estabelece as condições de lançamento de efluentes, mostradas na Tabela 2.6.

Tabela 2.6. Condições de lançamento de efluentes (CONAMA 430, 2011).

Parâmetros	Valores máximos
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1mL/L
Vazão	Até 1,5 vez a vazão média
Óleos minerais	20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg/L
Materiais flutuantes	Ausência
DBO	Remoção mínima de 60%

2.2. Caracterização do objeto de estudo

2.2.1 Fitorremediação

Muitas espécies de vegetais possuem uma relação simbiótica com outros organismos adaptando-se assim a ambientes diversos. Devido a isso a adaptação a ambientes salinos, ácidos, com excesso ou escassez de nutrientes ou contaminados com metais pesados torna-se possível (CHIOCHETTA, 2013).

A fitorremediação é o uso de plantas para recuperar ambientes contaminados vem se destacando, em países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha devido a sua viabilidade técnica e econômica por melhorar as características físico-químicas e biológicas de uma determinada área. “No Brasil, apesar de apresentar condições climáticas e ambientais favoráveis, seu uso ainda é pequeno na área ambiental” (TAVARES, 2009). A versatilidade da fitorremediação advém da capacidade de mitigar a contaminação do solo e da água contidos neles.

Em geral, o crescimento rápido, alta competitividade, rápida produção de biomassa, tolerância à poluição, alta capacidade de absorção de nutrientes, alta taxa de translocação e elevado acúmulo de substâncias reserva, são as propriedades almejadas na fitorremediação. Porém as características morfofisiológicas dos vegetais utilizados na fitorremediação diferem dependendo da espécie (SINGH; JAIN, 2003). Além disso, Vasconcellos (2012) defende que fatores externos como fácil monitoramento da planta, baixo custo, aplicabilidade em diferentes tipos de contaminantes, possibilidade de se combinar com outros métodos de descontaminação e o fácil manejo são outros fatores a serem levados em consideração. Percebe-se que um meio eficiente de identificar espécies com predisposição para ser fitorremediadora é a observação de plantas que surgem em áreas contaminadas (SESSITSCH, 2013).

Na fitorremediação as espécies vegetais podem atuar de duas formas a direta ou indireta para mitigação dos contaminantes. Na forma direta, por intermédio da mineralização, os compostos são absorvidos e acumulados ou metabolizados nos tecidos. Por outro lado na indireta ocorre à redução dos contaminantes pela extração das águas subterrâneas ou pela ação das plantas que favorecem um aumento da atividade microbiana que com isso degrada os contaminantes, dependendo do tipo de contaminante, a planta pode utilizar diferentes mecanismos para sua remoção (MAGALHÃES, 2011).

2.2.2 Mecanismo da fitorremediação

“Na tecnologia ambiental o coagulante extraído das sementes de Moringa tem sido empregado no tratamento de águas brutas” (SUTHERLAND, FOLKARD e GRANT, 1990; FORMENTINI-SCHMITT *et al.* 2014) “e de efluentes” (DA SILVA *et al.*, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2015).

2.2.3 Potencialidades da Fitorremediação

Apesar, do tempo para obtenção de resultados satisfatórios serem longos, a fitorremediação oferece diversas vantagens; grandes áreas podem ser tratadas de varias maneiras, a um baixo custo, com possibilidade real de remediar o solo e subsolo contaminados e ao mesmo tempo embelezar o ambiente (DINARDI, 2003).

2.2.4 Característica da espécie *Moringa oleifera* Lamarck

2.2.4.1 Origem da espécie *Moringa oleifera* Lam.

A *Moringa Oleifera* Lam. é uma planta natural do noroeste da Índia e amplamente distribuída no Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Paquistão, Singapura, Jamaica e Nigéria (RAMACHANDRAN *et al.*, 1980; PIO CORRÊA, 1984).

2.2.4.2 *Moringa Oleifera* Lam. no Brasil

No Brasil sua introdução se deu na década de 1950, na forma de planta ornamental, por intermédio do pesquisador Warnick Estevam Kerr (SILVA e KERR, 1999). Porém o uso como coagulante natural só ocorreu no ano de 1996 com a chegada da Dr. Samia Al Azharia Jahna que já vinha trabalhando com a mesma para abastecimento de água em casas na zona rural em países, como Sudão e Egito (GERDES, 1996 *apud* OLIVEIRA, 2015). A *Moringa Oleifera* Lam. é conhecida por diversos nomes como acácia-branca, lírio-branco, árvore-rabanete-de-cavalo, quiabo-de-quina, entre outros (LORENZI e MATOS, 2002).

2.2.4.3 Características botânicas

“*Moringa Oleifera Lam.* é considerada uma hortaliça perene e arbórea que apresenta elevada capacidade de adaptação a condições climáticas e a solos áridos” (LORENZI e MATOS, 2002, OLSON e FAHEY, 2011). Ela pode ser cultivada até a altitude de 1.400 metros, na maioria dos solos, exceto o que possuam predisposição para ficarem encharcados (JESUS *et al.*, 2013). “O gênero *Moringa*, único representante da família *Moringaceae*, é constituído por quatorze espécies, dentre as quais a *Moringa Oleifera Lam* é a mais conhecida” (ANWAR *et al.*, 2007). Como é uma planta que contém óleo foi empregado o epíteto oleifera do nome genérico de *Moringa* (FARIA, 1991).

É uma cultivar muito útil ao homem, pois praticamente todas as partes da planta podem ser utilizadas. Entre seus usos estão de forragem para alimentação animal; de suas sementes são extraídos óleos, usado em pintura artística e outros fins, além da produção de papel e de fibras têxteis e as raízes são consideradas abortivas. (ANJORIN *et al.*, 2010). Outro uso para suas sementes é que quando maceradas são utilizadas na purificação da água de maneira eficiente e barata, funcionam como coagulante natural (OLIVEIRA, 2015).

Além disso, é uma planta alógama, ou seja, de fecundação cruzada, que cresce rapidamente de sementes e mudas, igualmente em solos marginais, não sendo necessário muito cuidado e possui uma resistência a estiagem prolongada (SUTHERLAND *et al.*, 1994). Trata-se de uma árvore de rápido crescimento que pode alcançar até 12 metros de altura, com tronco estreito de no máximo 10 a 30 centímetros diâmetro e casca de cortiça esbranquiçada (SCHWARTZ, 2000). A faixa de pH de solo para crescimento da moringa é extensa (5 a 9) (MORTON, 1991; BEZERRA *et al.*, 2004).

Sua copa é aberta em forma de sombrinha apresentando troca anual de folhas. (SCHWARTZ, 2000). Também possui folhas bipenadas com sete folíolos pequenos em cada pina, ou seja, na 1ª divisão tem a lâmina foliar dividida em mais de três folíolos e os folíolos divididos em foliólulos (2ª divisão) dispostos ao longo da raque e raquíola, respectivamente (SOUZA e LORENZI, 2008); e suas flores são

agrupadas em inflorescências terminais do tipo cimosa, de coloração amarelo-pálidas, perfumadas, muito procuradas por abelhas e pássaros (KIILL *et al.*, 2012).

Já seu fruto que é seco, tipo cápsula loculicida com três valvas de coloração castanho-médio, apresentam um comprimento entorno de 28,50 cm e $\pm 2,21$ cm de largura, com aproximadamente 12 sementes por fruto baixo. Suas sementes são globóides e aladas, de cor castanho-médio, com alas castanho-claro, bitegmentadas e exabuminosas, contendo em seu interior uma massa branca e oleosa com aproximadamente 1,04 cm de comprimento e 1,0 cm de espessura e massa de 197g/1000 sementes (médio a leve) (RAMOS *et al.*, 2010). “Quando adulta alcança uma produção anual de 3 a 5 toneladas de sementes por hectare” (MORTON, 1991; BEZERRA *et al.*, 2004).

A produção das sementes apresenta grandes variações devido ao manejo da planta, a disponibilidade de água e ao clima podendo chegar a produzir entre 20 a 24 mil sementes por planta com os cuidados adequados. A semente desta árvore produz um óleo de alta qualidade, chegando a produzir entre 35 a 40 % de óleo (RURAL BIOENERGIA, 2012). Na Figura 2.1 são apresentadas imagens da árvore de Moringa e alguns órgãos vegetais.

Figura 2.1 Imagens da árvore de Moringa e alguns órgãos vegetais. A -árvore de Moringa Oleifera Lam, B-Vagens, C-Flores, D-Sementes



Fonte: Oliveira, 2010

Propriedades químicas e farmacológicas

A proteína das sementes de *Moringa Oleifera Lam.* é o composto de maior importância no processo de clarificação da água. É relatado que a presença de uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular, desestabiliza as partículas contidas na água e através de um processo de neutralização e adsorção, flocculam os colóides e sedimentam (NDABIGENGESERE *et al*, 1995; PRITCHARD,2010; OLIVEIRA, 2015).

Os óleos extraídos são hidrofóbicos formados principalmente de ésteres de triacilgliceróis e representam os principais produtos extraídos de plantas na atualidade e cerca de dois terços são usados como produtos alimentícios fazendo parte da dieta humana (REDA e CARNEIRO, 2009) direta ou indiretamente. A semente ainda possui altos teores de proteínas ($\pm 33\%$) e de lipídeos ($\pm 37\%$) (BEZERRA *et al*, 2004), sendo 78% destes é composto de ácido oleico (ácido graxo insaturado) (OLIVEIRA FILHO *et al*, 2012) que apresenta potencial bioenergético.

As análises nos óleos essenciais das folhas, flores e frutos de *Moringa Oleifera Lam.*, por intermédio da cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa, relataram o isolamento da substância 4-hidroxifenil-acetonitrila, de poderosa capacidade antioxidante e também identificaram os constituintes químicos constantes na Tabela 2.7 (BARRETO *et al*, 2009).

Tabela 2.7. Componentes químicos das folhas, flores e frutos da *Moringa Oleifera Lam* (BARRETO *et al*, 2009)

Parte da planta	Constituinte químico	Percentual extraído
Folhas	Fitol	21,6%
	Timol	9,6%
Flores	Octadeno	27,4%
	Ácido hexadecanóico	18,4%
Frutos	Docosano	32,7%
	Tetracosano	24,0%

A composição química pode variar dependendo da parte da planta e do uso “in natura” ou fresco (PASSOS *et al*, 2012). Ainda, segundo RUIZ *et al* (2012) a

Moringa Oleifera Lam. destaca-se nas propriedades medicinais, entre as quais: estimulante cardíaco e circulatório, antitumoral, antipirética, antiepilética, antiespasmódica, diurética, hepatoprotetora etc.

2.2.4.4 Potencialidade de uso

A *Moringa Oleifera Lam* vem sendo utilizadas em diversos programas sociais como floculante/coagulante natural de resíduos em água utilização doméstica, principalmente, em regiões que apresentam baixo desenvolvimento e com problemas relacionados ao tratamento de água e limitação de implantação de culturas agrícolas (BORBA, 2001; SARGENTINI e SARGENTINI JUNIOR, 2011; PEREIRA *et al.*, 2011).

O uso de coagulantes, como os de sais metálicos e alguns polieletrólitos, têm aumentado, nos últimos anos, no pós-tratamento físico-químico de esgotos sanitários, com boa perspectiva para associação com efluentes provenientes de reatores anaeróbios. Os sais de alumínio e os de ferro são os coagulantes mais utilizados no tratamento de água e esgoto. Contudo, pesquisas têm apontado algumas desvantagens, tais como problemas de saúde causados pelo alumínio residual em águas tratadas, produção de grande volume de lodo, consumo da alcalinidade do meio, acarretando custos adicionais com produtos químicos utilizados na correção do pH, principalmente no tratamento de água (OLIVEIRA, 2015).

Como se sabe o tratamento de água envolve várias etapas: a captação, a floculação, a decantação, a filtração, a desinfecção, a alcalinação, a fluoretação e por último a distribuição para a população. O sulfato de alumínio constitui o floculante/coagulante mais utilizado e difundido mundialmente nas Estações de Tratamento de Água para a remoção de partículas suspensas e, conseqüentemente, remoção da turbidez da água para o consumo humano. Contudo, estudos demonstram que seu uso pode estar associado com o desenvolvimento de neuropatologias e contaminação ao meio ambiente, além de proporcionar um custo relativamente elevado no processo de tratamento da água (ARANTES, 2012). No entanto, quando comparado o uso das sementes trituradas no tratamento de água,

em substituição ao sulfato de alumínio, as sementes apresentam as vantagens de não alterarem o pH da água significativamente além de não causarem problemas de corrosão em recipientes após o tratamento (GALLÃO *et al*, 2006).

Estudos realizados por Pritchard *et al* (2010) mostraram o desempenho de *Moringa oleifera* em comparação com o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$), indicando que a *Moringa* possui capacidade de remoção de turbidez e *Escherichia coli* suficiente para incentivar a sua utilização para o tratamento de águas turvas, em países em desenvolvimento.

Além da remoção de turbidez em águas, a *Moringa Oleifera Lam.* tem se mostrado adequada para remoção de metais visando a melhoria da qualidade de águas. Suas sementes possuem também propriedades chamadas adsorptivas com resultados bastante relevantes para a remoção de Cadmio (SHARMA *et al.*, 2006), de níquel (MARQUES *et al.*, 2012) e de manganês (MARQUES *et al.* 2013).

Em relação à remoção de bactérias, reduções na ordem de 90-99% têm sido relatadas na literatura (OLIVEIRA, 2015), porém o uso do tratamento com sementes, assim como o de outros coagulantes naturais e químicos, não produz água pura. A água estará limpa e bebível, mas a *Moringa* não garante que no final a água estará 100% livre de patógenos (PINTO, 2006).

Quanto a sua utilização para tratamento de esgoto doméstico, Braga (2009) avaliou o comportamento do extrato salino da *Moringa* como pré-tratamento ao reator UASB encontrando resultados semelhantes à literatura que o mesmo é benéfico ao processo de digestão anaeróbia, com uma concentração de três mg.L⁻¹ do extrato ,enquanto Kalogo *et al* (2001) usaram 50 mg.L⁻¹ do extrato aquoso. A associação de *Moringa* com cloreto férrico demonstrou, ainda, grande melhora na eficiência dos parâmetros físico-químicos analisados, sempre superiores a 80%, conseguindo avanços expressivos na remoção de SST e turbidez, demonstrando eficiência na coagulação-floculação.

Para tratamento de lixiviado de aterros sanitários, Oliveira (2010) avaliou o uso da *Moringa oleifera* para fitorremediação e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Obteve resultados interessantes com a concentração de 37,5g/L do extrato da semente de *Moringa*, que apresentou taxas de remoção de 97% para cor (97%) turbidez (82%) e coliformes. No caso da DQO e DBO5, houve um aumento em relação ao valor inicial, sendo este acréscimo mais acentuado devido à adição de matéria orgânica presente no extrato da semente de *Moringa*.

O uso de coagulantes orgânicos gera a incorporação do material orgânico adicional no lixiviado bruto havendo um aumento da carga orgânica, sendo recomendado por alguns autores que as amostras sejam filtradas após realização dos ensaios ou após preparo do extrato (BERNARDO, 2009; OLIVEIRA, 2010).

Os resultados obtidos para o pH, analisados por Oliveira (2010), não sofreram variações drásticas em relação ao tempo de reação das soluções coagulantes. Tanto a utilização da semente como do extrato aquoso como coagulantes não afeta consideravelmente o pH e a condutividade da água ou do lixiviado, e sendo a *Moringa oleifera* um produto natural, a sua aplicação, principalmente em águas residuais, é descrita como promissora, pois pode reduzir o custo dos produtos químicos utilizados no ajuste de pH (BHATTI *et al*, 2007; OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Cardoso *et al* (2008) o tempo para propiciar a mistura rápida e lenta, o tempo de decantação, assim como a concentração de *Moringa Oleifera Lam* influenciam na remoção de cor e turbidez, durante o processo de coagulação/floculação.

Bicalho *et al* (2011) avaliaram a biodegradação de filmes de poliéster reciclado dopados com óleo de *Moringa oleifera*. As análises indicaram que houve influência da presença do óleo nas cadeias poliméricas, fazendo com que fosse observada uma diminuição da resistência térmica do filme dopado, com conseqüente diminuição da temperatura de degradação. Esses resultados foram confirmados após o Experimento de biodegradabilidade. As análises de XRD indicam uma diminuição da cristalinidade do polímero dopado o que pode estar relacionado à diminuição de sua resistência térmica.

Em alguns assentamentos da região de Corumbá, MS, o pó de semente de moringa têm sido utilizada como fossa séptica biodigestora como uma forma simples, barata e eficaz de tratar o esgoto da área rural. Além de contribuir para a melhoria da saúde da população local, o uso da moringa promove o saneamento básico na zona rural, preserva o meio ambiente e ainda gera adubo orgânico de qualidade em substituição ao químico (EMBRAPA, 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para se atingir o objetivo almejado foi necessária à efetivação de etapas sistemáticas a fim de avaliar a eficiência de tratabilidade da solução proposta para o lixiviado de aterro sanitário de maneira a atender os pressupostos de um ciclo sustentável de tratamento.

As etapas foram divididas em três: inicial, intermediária e final.

A primeira etapa, inicial, compreendeu a aquisição da manta de poliéster (filtro), coleta do lixiviado bruto (LB), aquisição da semente e produção de extratos da *Moringa Oleifera Lam.*, além da caracterização do lixiviado bruto e dos extratos.

A segunda etapa, intermediária, compreende: a concentração de extratos, no lixiviado bruto; os ensaios das dosagens; produção de lixiviado tratado e resíduos sólidos (torta) e caracterização do lixiviado tratado.

A terceira etapa, final, compreendeu a compostagem do resíduo sólido (torta) produzido em ensaios de campo, experimento germinativo da semente da *Moringa Oleifera Lam* e da *Alface (Lactuca)* em substrato resultante de compostagem e caracterização do mesmo.

3.1 Coleta das amostras de Lixiviados Bruto (LB)

O local de coleta do lixiviado foi o Aterro Sanitário da Muribeca CTR – Candeias, situado no município de Jaboatão dos Guararapes, no estado de Pernambuco, próximo ao eixo da integração Prazeres – Jaboatão, a 11 km do Recife, nas coordenadas 8°09'59.7"S, 34°58'42.8"W, latitude e longitude, respectivamente.

A Figura 3.1 apresenta vista do aterro da Muribeca CTR – Candeias e da estação de tratamento do lixiviado.

Figura 3.1 - Vista do aterro da Muribeca CTR – Candeias e da estação de tratamento do lixiviado.



Fonte: Google Maps

O CTR – Candeias é um Aterro Sanitário e Industrial Classe IIA e IIB (Resíduos não perigosos) que está em operação desde agosto de 2007 e conta com unidade de tratamento de efluentes, unidade de tratamento de biogás, unidade de beneficiamento de resíduos da construção civil, unidade de tratamento de lâmpadas fluorescentes, viveiro de mudas e unidade de apoio operacional e administrativo integradas. O fechamento do aterro está planejado para 2022, com uma estimativa de aporte de 11 milhões de toneladas de resíduos sólidos ao longo do funcionamento.

As amostras do lixiviado bruto foram coletadas da caixa de vazão, próximo à chegada do lixiviado (Figura 3.2) ao lado da unidade de tratamento do Aterro e foram acondicionadas em bobonas de polietileno a 4°C, com o intuito de minimizar a volatilização ou biodegradação, seguindo recomendação metodológica de conservação do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Figura 3.2 Ponto de coleta



Fonte: CTR-Candeias

3.2 Caracterização físico-química das amostras de Lixiviados

A caracterização físico-química foi realizada no Laboratório de Qualidade do Departamento de Química da Universidade Federal de Pernambuco (LEAQ). Os parâmetros de controle ambiental analisados na caracterização do lixiviado do aterro e nos ensaios de tratabilidade foram: cor, pH, turbidez, condutividade, DQO, DBO5, coliformes fecais, coliformes totais, metais pesados todos realizados em triplicata, de acordo com o STANDARD METHODS (2005). A Tabela 3.1 apresenta os parâmetros a serem determinados e os métodos empregados nas análises de lixiviado antes e após experimentos.

Tabela 3.1. Parâmetros a serem determinados e os métodos empregados nas análises de lixiviado antes e após experimentos

Parâmetros	Métodos de análise
Cor	Fotocolorimétrico SMEWW 2120 C
pH	Potenciométrico
Turbidez	Turbidímetro
DQO	Eletrométrico com membrana
DBO5	Eletrométrico com membrana
Coliformes fecais	Tubos múltiplos
Coliformes totais	Tubos múltiplos
Metais (Fe, Zn e Pb)	Espectrofotometria de Absorção Atômica

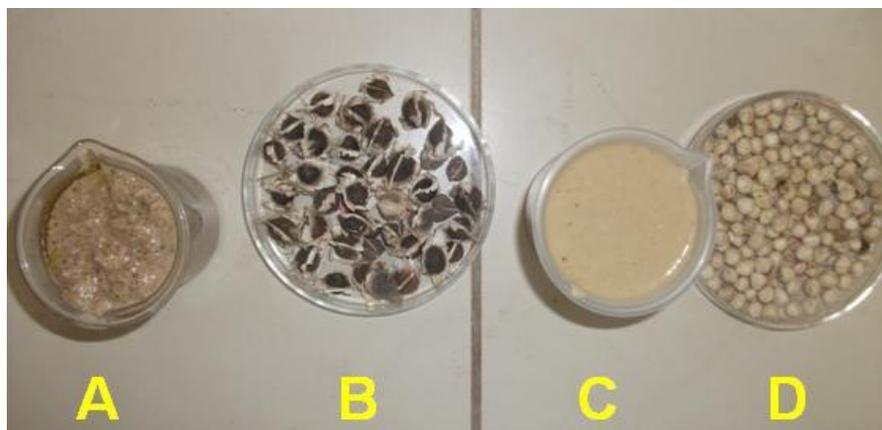
Com os dados obtidos, foi realizada uma análise de variância para um experimento com um único fator, com delineamento experimental inteiramente aleatorizado. A condição de aleatoriedade a ser adotada durante a fase experimental teve como objetivo a minimização dos efeitos de qualquer variável perturbadora, 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% , sendo assim, procurou-se verificar a influência das dosagens do extrato de semente de *Moringa Oleifera Lam* no tratamento de lixiviado.

3.3 Aquisição e preparo do extrato da semente de *Moringa Oleifera Lam*

As sementes de *Moringa Oleifera Lam* foram provenientes do Laboratório de Tecnologias Alternativas da Universidade Federal de Sergipe doados para Oliveira (2015). Foram preparados dois tipos de extrato: extrato de Moringa sem casca (EMS) e extrato de Moringa com casca (EMC). A produção do extrato de moringa sem casca consistiu em pesar as sementes e proceder à retirada da casca com isso as sementes foram levadas a um triturador até tornarem-se um pó o qual foi misturado em água destilada utilizando a porcentagem de 5% da massa de semente em pó para cada volume de água e posterior agitação manual durante 5 minutos. Já no extrato de Moringa com casca o procedimento diferiu apenas na não retirada da casca no momento da trituração. Tal método foi o empregado por Oliveira (2015). A Figura 3.4 mostra a semente e os seus extratos.

O óleo de semente de *Moringa Oleifera Lam* utilizado durante os ensaios foi cedido pela Dr. Zorayde Oliveira, o mesmo utilizado na sua tese de doutorado (OLIVEIRA, 2015).

Figura 3.4 Sementes e seus extratos: Extrato aquoso de Moringa com casca (A); Semente com casca (B); Extrato aquoso de Moringa sem casca(C); Semente sem casca (D).



Fonte: Autor

3.4 Caracterização físico-química da semente de *Moringa Oleifera Lam*

A caracterização físico-química da semente de *Moringa Oleifera Lam* foi realizada no Laboratório de Alimentos, do Departamento de Engenharia Química da UFPE, seguindo a metodologia proposta foi realizada segundo Oliveira (2015), com as seguintes análises: umidade e substâncias voláteis, cinzas, lipídeos, proteína bruta e carboidratos totais, seguindo os critérios estabelecidos pela metodologia da *Association of Official Analytical Chemist 2000 (AOAC)* além das metodologias de análise de alimentos do instituto Adolfo Lutz (2005) descritas abaixo :

- Umidade - o teor de umidade foi determinado pela secagem da amostra em estufa a 105 °C até peso constante;
- Proteína - o teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldhal, utilizando-se o fator 6,25 para a obtenção do teor de proteína total;
- Extrato etéreo - a determinação foi realizada pela técnica de Soxhlet usando éter de petróleo como material extrator;
- Cinza - foi determinada pela incineração em mufla a 550 °C;
- Fibra bruta - foi quantificada pelo método de digestão ácida. Carboidratos foram determinados pela diferença, em matéria seca, entre 100 e a soma de lipídios, cinzas, proteínas e fibra bruta; Pesou-se 0,1 g da amostra e foram adicionadas soluções para extração de carboidratos, que seguem: mistura de

MC (metanol, clorofórmio e água – 12:5: 3 v/v/v) para extração de açúcares solúveis; solução de álcool etílico 10% para extração de oligossacarídeos; solução de PCA 30% (ácido perclórico) para extração de amido. A cada solução acrescida foram feitas centrifugações e assim obtidos volumes de sobrenadante e em seguida, foram feitas determinações empregando-se as metodologias a seguir: açúcares solúveis, após uma inversão prévia dos extratos das amostras segundo o Instituto Adolfo Lutz (2005) determinação de proteínas pelo método de Kjeldahl e a quantificação de lipídeos segundo Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.5 Descrição do Experimento

Baseando-se nos ensaios realizados por Oliveira (2010) com a semente de Moringa oleifera, para escala de laboratório, a concentração 37,5 g/L do coagulante da semente de Moringa, foi a que apresentou melhor redução nos parâmetros de tratamento selecionados e a melhor relação eficiência/economia (OLIVEIRA, 2015). No entanto também foram realizadas dosagens de 50 e 75g/L para se chegar a melhor concentração deste coagulante natural para tratar o lixiviado. O experimento foi realizado em triplicata.

A Tabela 3.2 apresenta a descrição dos tratamentos utilizados nos ensaios de Cone de Imhoff e filtro simplificado de manta de poliéster com bioensaios, para tratar o lixiviado bruto.

Tabela 3.2 Tratamentos aplicados

Tratamentos
LB – Lixiviado bruto- Referencia
LBEC- Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa com casca 37,5 g
LBEC- Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa com casca 50 g
LBEC- Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa com casca 75 g

Na Tabela 3.3 são apresentadas as etapas e dosagens de coagulante da Moringa oleifera por tratamento nos ensaios 0,1, 2, 3, 4, 5 bioensaios e filtro manta de poliéster de granulometria variada.

Tabela 3.3 Etapas e dosagens de coagulante da Moringa oleifera por tratamento nos ensaios 1, 2, 3, 4,5 bioensaios e filtro de manta de poliéster de granulometria variada.

Ensaios	Tratamento	Concentração de Coagulante	Filtro
0	LB	0	Sem
1	LBEC1	37,5g	400g/m ²
2	LBEC2	37,5g	150g/m ²
3	LBEC5	37,5g	130g/m ²
4	LBEC5	50g	300g/m ²
5	LBEC5	75g	200g/m ²

LB=Lixiviado bruto; **LBEC** = Lixiviado bruto com Moringa com casca;

3.6 Ensaio de Laboratório - Ensaios utilizando Cone de Imhoff

O Cone de Imhoff foi utilizado para os ensaios de coagulação/floculação e sedimentação simulando um reator estático. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Pernambuco, no qual o lixiviado bruto foi submetido aos extratos da semente de Moringa oleifera com casca (LBEMC) e sem casca (LBEMS), óleo da semente (LBOM) de Moringa. Foram realizados dois experimentos, um a nível laboratorial e outro em escala de campo. Também foram realizadas filtrações com mantas de poliéster, doadas, da marca MACCAFERRI, conforme Tabela 3.4. O tempo de sedimentação foi de 30,60 e 120 minutos. Após o término das etapas de coagulação/floculação/sedimentação, foi coletada uma amostra em cada cone de Imhoff para análises.

3.7 Bioensaios de toxicidade dos extratos de semente de moringa oleifera e do lixiviado bruto antes e após os ensaios com os extratos da moringa.

Na preparação do material para o teste de toxicidade do lixiviado bruto e do Llixiviado tratado seguiu o procedimento de ensaio utilizado por Oliveira (2015).

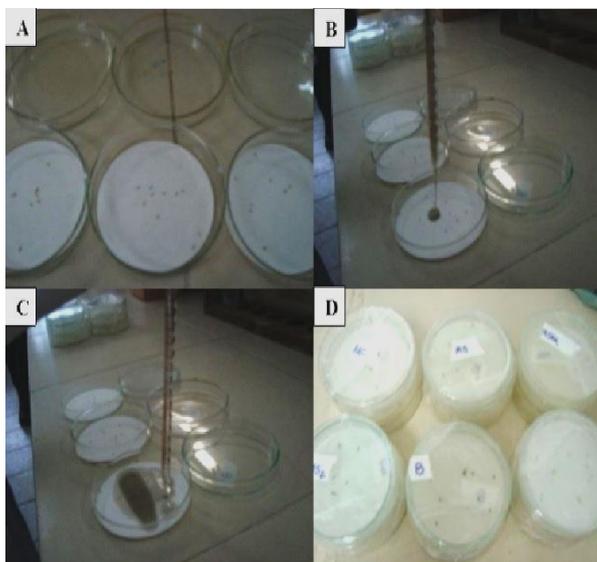
O bioindicador escolhido foi a Alface (*Lactuca sativa* L) porque está entre os organismos-experimentais mais comum na avaliação de fitotoxicidade de efluentes domésticos (ANDRADE *et al*, 2010), além de ser a espécie padrão recomendada para bioensaios pela *U.S. Environmental Protection Agency*, EPA (2014).

Para a realização dos testes de toxicidade foram utilizados lixiviado bruto antes e após tratamento com extrato de Moringa. Para cada solução submetida ao ensaio de toxicidade um disco de papel de filtro qualitativo foi colocado em uma placa de Petri com 9 cm de diâmetro (Figura 3.5 A), o qual foi embebido com 4 mL do lixiviado bruto e dos lixiviados com extrato de Moringa (Figura 3.5 B e 3.5 C), então dez sementes foram acomodadas sobre o papel de filtro, utilizando uma pinça, com espaço para o crescimento das radículas e das raízes (GARCIA, 2006; GARCIA *et al* 2009).

Posteriormente, as placas foram vedadas com filme de PVC (Figura 3.5 D) para evitar a perda de umidade e incubadas durante cinco dias dentro de uma caixa térmica (isopor) a 22 °C, sem luz (YERUSHALMI *et al* 2003).

Ao final do processo, quantificou-se o efeito na germinação e no crescimento das raízes. Para o teste-controle, sementes de Alface foram umedecidas apenas com água destilada e o ensaio foi realizado em triplicata.

Figura 3.5: Visão geral das etapas do bioensaio de toxicidade. Placa de Petri com sementes (A), adição dos lixiviados com e sem tratamento nas placas de Petri (B E C), as placas foram e vedadas com filme de PVC (D) (adaptado Oliveira, 2015).

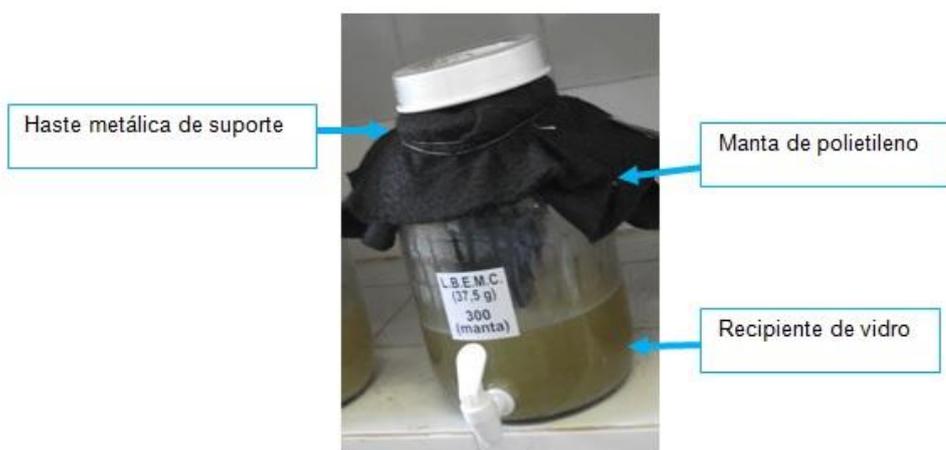


Fonte: OLIVEIRA *et al*,2016

3.8 Ensaio de filtragem em escala de bancada: Lixiviado bruto, *Moringa Oleifera Lam*

O ensaio de filtragem em escala de bancada foi realizado no Laboratório de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Pernambuco, com o intuito de avaliar a eficiência da espécie *Moringa* como coagulante natural do lixiviado de aterro sanitário. O esquema do filtro está representado na Figura 3.6.

Figura 3.6 Esquema de filtragem



Fonte: Autor

Descrição do sistema simplificado de filtração utilizando mantas de poliéster:

Material

Foram utilizados 5 (cinco) recipientes de vidro idênticos de 0,50 m de altura e 0,35 m de diâmetro e volume total de 3 Litros que funcionaram como suporte e unidade armazenadora. Como meio filtrante, utilizaram-se mantas de poliéster de diferentes gramaturas doadas pela marca Maccaferri da série MacTex® N que consiste de um geotêxtil agulhado produzido com fios de poliéster com as características descritas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Características das mantas de poliéster da Maccaferri

MacTex® N (Referência)		N 26.2	N 30.2	N 40.2	N 60.2	N 80.2
Permeabilidade normal	cm/s	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Permissividade	s ⁻¹	2,5	2,4	2,0	1,5	1,2
Fluxo de água	l/s/m	120	115	100	75	57
Abertura aparente mínima de filtração	Mm	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09
Abertura aparente máxima de filtração	Mm	0,26	0,24	0,23	0,19	0,16
Granulometria	g/m ²	130	150	200	300	400

Montagem

Os filtros foram posicionados em um mesmo nível. Foi acoplado na entrada do recipiente as mantas e fixadas com haste de metal.

Operacionalidade

O lixiviado bruto tratado com extrato de *Moringa Oleifera Lam* no processo de Cone de Imhoff foi transferido para os filtros. Após 24 h retirou-se 100 ml do

lixiviado, agora filtrado, para análises. Como resíduo do processo, formou-se na superfície das mantas um substrato (torta).

3.9. Ensaio em escala de campo

O ensaio em escala de campo consistiu em simular as etapas necessárias para o tratamento do Lixiviado Bruto em aterro sanitário, com intuito de aproximar-se o máximo possível das condições reais de operacionalidade. As dosagens utilizadas foram de 11g/L de extrato de semente de *Moringa Oleifera Lam* com casca e sem casca, tal concentração foi escolhida devido ao volume de lixiviado bruto a ser tratado e a disponibilidade de semente. A simulação foi realizada no Aterro Sanitário da Muribeca CTR – Candeias, seguindo etapas sistemáticas conforme demonstrado na Figura 3.7 .

Figura 3.7 Perfil de montagem do ensaio em campo em etapas sistemáticas de tratamento de lixiviado de aterro sanitário



Fonte: Autor

Descrição do ensaio em campo

Material

Foram utilizadas 9 (nove) caixas d'água de polietileno de 1000L da marca Fortelev, 9 (três) registros de esfera roscável com adaptador soldável com união, 2 (dois) tubos de 2 m e 9 (nove) palites, mantas de poliéster, 3 hastes de metal.

Montagem

As caixas d'água foram posicionadas sobre os palites de maneira a obter-se um nível hidráulico suficiente para as coletas, também foram perfiladas em linhas de 3 e colunas de 3, distando em linha 1 m. Foi procedido as acoplagens dos registros e tubos para a passagem do lixiviado e na linha de ponto de coleta foi acrescido uma manta de poliéster fixada com hastes de metal.

Operacional

A primeira coluna foi destinada aos lixiviados bruto (Zero) , a segunda coluna para os tratamentos e a terceira para a coleta. O Lixiviado bruto foi transferido para as colunas de tratamento que consistiram em LBEMC - Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa com casca, LBEMS - Lixiviado Bruto + Extrato de Moringa sem casca, após 3 dias foi procedida coleta no ponto de coleta para análise em laboratório. O resíduo sólido (torta) oriundo do tratamento de dosagens e filtragem foi retirado e levado pra iniciar a etapa de compostagem.

3.10 Etapa de Compostagem da torta de moringa

A compostagem procedeu-se em aérea predeterminada no Aterro Sanitário da Muribeca CTR – Candeias e desenvolveu-se levando em consideração as necessidades operacionais e práticas do aterro, sendo feita a decomposição do material de forma lenta e natural, não mecanizada e sem aditivos que acelerassem o processo. Além disto, os elementos orgânicos adicionados ao composto foram de podas realizadas na própria unidade.

A compostagem foi realizada nos meses de Novembro e Dezembro de 2016, na qual as temperaturas variaram entre 30 e 35°C e 18 e 19°C, máximas e mínimas, respectivamente, esse comportamento térmico determinou a metodologia a ser empregada.

Material

Foi utilizado 1(uma) caixa d'água de polietileno da fortlev, 1 (uma) pá, torta de moringa e restos de podas do aterro.

Montagem

Foi transferido todo o resíduo sólido (torta) resultante do tratamento proposto, para uma caixa d'água de 1000 L, onde foi acrescido restos de podas da própria unidade.

Operacional

Os resíduos de podas e a torta foram revolvidos conforme Tabela 3.5 até o final do processo (Figura 3.8) e tiveram por finalidade aerar a massa orgânica e misturar as camadas externas, mais secas, com as camadas internas, mais úmidas, evitando assim excesso de umidade, devido às chuvas, o que poderia comprometer a aeração do composto, e conseqüentemente, diminuir a eficiência do processo pela diminuição da temperatura. O composto já protegido da chuva pela tampa da caixa d'água. Após o término da compostagem (Figura 3.8), o material foi espalhado e revirado diariamente para secar naturalmente, procedida a secagem o composto foi passado em uma peneira de 15 mm, para retirar materiais grosseiros e obter uma melhor homogeneização do composto. O composto peneirado foi armazenado em sacos plásticos para realização das análises, no Laboratório de Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Pernambuco, e para os testes de germinação com sementes de moringa e alface que foram realizados no Laboratório fitoterápico do Cecine – UFPE.

Tabela 3.5 Demonstrativo do revolvimento do composto

Mês/Ano	Novembro – 2016				Dezembro - 2016			
Semanas	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Quantidades de Revolvimento	1	1	1	2	2	2	2	2

Figura 3.8 Processo final de compostagem



Fonte: autor

3.11. Experimento germinativo e de desenvolvimento da semente da *Moringa Oleifera Lam* e da Alface (*Lactuca Sativa*) em substrato resultante de compostagem

As sementes de *Moringa Oleifera Lam* 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 Cecine – UFPE.

Coleta do Composto orgânico

O composto orgânico foi produzido no próprio aterro pelo processo de compostagem da torta residual do tratamento proposto, o qual denominou-se

substrato da torta de moringa com lixiviado (STML) apresentado na Figura 3.9 (A) e para testemunha o composto orgânico utilizado foi fornecido pelo Laboratório fitoterápico da CECINE/UFPE/PE o qual denominou-se substrato comercial orgânico (SCO) apresentado na Figura 3.9 (B). O substrato 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 do composto utilizado nos vasos foram analisadas quanto ao teor de macro e micronutrientes pelo Laboratório de Análises Agrícolas – LABFERT.

Figura 3.9 - Substrato da torta de moringa com lixiviado (STML) (A) e Substrato comercial (SCO) (B)



Fonte: Autor

3.12 Ensaio de Caracterização Física e Química dos substratos e biológica da Alface (*Lactuca Sativa* L)

Foram retiradas subamostra de cada material para caracterização química seguindo metodologia recomendada pela EMBRAPA (2009). As caracterizações foram realizadas pelo Laboratório de Análises Agrícolas Ltda – Labfert, no qual se determinou macro e micronutrientes no solo. E os parâmetros analisados foram: pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio, alumínio trocável, ferro, cobre, zinco e teor de matéria orgânica.

3.13 Experimentos de biotoxicidade por germinação de sementes de Moringa Oleifera e Alface (*Lactuca Sativa* L) em ambiente protegido

Dispositivo experimental para germinação da semente da *Moringa Oleifera* Lam

O experimento foi realizado no espaço do laboratório fitoterápico da UFPE. Foram produzidas mudas de moringa em vasos com capacidade de 2 kg de solo (mistura solo e substratos) confeccionados de papel jornal e plástico. A temperatura média diurna foi de 32°C e a noturna de 26°C, sendo conduzidas por um período de 60 dias em local aberto.

Operacional

Seguiu o procedimento adotado por Oliveira (2010) no qual consistiu na introdução de 02 sementes por vaso, no dia 16 de Janeiro de 2017. Estas sementes germinaram 3 dias depois como apresentado na Figura 3.10. Não foi feito desbaste após a germinação, permitindo a presença das duas plantas mais vigorosas.

Figura 3.10 Germinação da semente de Moringa com 3 (três) dias



Os tratamentos constituíram-se de dois tipos de substrato: o primeiro um substrato comercial contendo vermiculita que foi acrescido de solo argiloso tendo a proporção (em v/v) de 1:1, e o segundo substrato contendo torta da semente de moringa após tratamento de lixiviado de aterro sanitário com solo argiloso a proporção de (em v/v) de 1:1.

Os substratos foram dispostos em doze vasos, de papel jornal, semeando-se duas sementes por vaso dispostos em um delineamento inteiramente casualizado com seis repetições, a semeadura foi realizada dia 16 de janeiro de 2017. Em seguida, os vasos foram colocados em uma área aberta para levar sol e chuva,

permanecendo nesse ambiente por 60 dias. As variáveis analisadas foram: germinação e crescimento das mudas por 60 dias. Índice de velocidade de germinação realizaram-se contagens diárias das sementes germinadas durante 15 dias, adotando-se a metodologia recomendada por Benicasa (2003).

Durante a condução do experimento foram feitas avaliações na planta relacionadas aos parâmetros agrônômicos descritos a seguir: número de plantas (leitura a cada 15 dias), altura de plantas (leitura a cada 15 dias), diâmetro do colmo, número de folhas (leitura a cada 15 dias) e irrigação (realizada duas vezes por dia).

As avaliações do crescimento das plantas foram realizadas conforme metodologia descrita por Benicasa (2003), da etapa de plantio até o desmonte do experimento.

Dispositivo experimental para a germinação da semente de *Lactuca sativa* (Alface)

O experimento foi realizado no espaço do laboratório fitoterápico da UFPE. Onde se utilizou composto comercial e o composto orgânico oriundo da compostagem da torta residual do tratamento de lixiviado por *Moringa Oleifera Lam.* e avaliou-se a biotoxidade para a germinação da semente de Alface.

Operacionalidade

O plantio da alface foi feito em bandejas (32 repetições) e vasos (12 repetições), o preparo do solo foi realizado com adubação do composto comercial para o experimento 1, que serviria de testemunha, e o composto da torta de Moringa foi colocado no experimento 2 para testar o composto da torta resultante do extrato 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 a 6,8 (pouco ácido), de esterco bem curtido. A plantação deve ser irrigada com abundância e regularmente. Os testes de germinação foram realizados em bandejas e vasos sendo colocado 2 a 3 sementes em cada tubete e vaso, umedecidas com água. Para a contagem da germinação foi utilizado o critério da emergência da radícula (Oliveira *et al*, 2016).

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) (Oliveira *et al*, 2016).

Ao final do experimento, foram realizadas nas mudas de alface análises de coliformes totais e fecais determinados segundo o *STANDARD METHODS* (2005), exceto para coliformes para os quais se utilizou a técnica descrita por Colilert® (reagentes Idexx, EUA). As análises foram realizadas em triplicata.

3.14 Efeito do composto da moringa e do composto comercial na germinação e desenvolvimento da alface

Consistiu em avaliar o efeito da aplicação do composto desenvolvido a partir da torta resultante do extrato de moringa após tratamento de lixiviado nas variáveis de crescimento inicial da alface e nas propriedades químicas do composto. O período de avaliação compreendeu a germinação até o início da fase reprodutiva (45 dias após o plantio - DAP), onde as plantas apresentaram emissão dos capítulos. Os tratamentos consistiram da aplicação de 250 gramas de composto e 250 gramas de terra estabelecidas com base na dissertação de Oliveira (2010) (Oliveira *et al*, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão apresentados de forma a discutir a eficiência do extrato da semente da espécie florestal *Moringa* como coagulante, no tratamento de lixiviado de Aterro Sanitário em condições de laboratório. Em seguida, a avaliação do melhor tratamento para o lixiviado de aterro sanitário em nível de escala real (campo).

4.1 Caracterização físico-química do lixiviado bruto

O resultado das características físicas e químicas do lixiviado bruto utilizado nos experimentos de laboratório está descrita na Tabela 4.1 e a do lixiviado bruto utilizado em experimento em nível de campo nas Tabelas 4.3. e 4.4.

Tabela 4.1 Características físicas e químicas do lixiviado bruto para experimento em laboratório

Parâmetros		LB	Padrões CONAMA
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

LB-Lixiviado bruto

A caracterização dos parâmetros: cor, pH, Turbidez, condutividade, DQO e DBO₅, fornece informações dos principais poluentes do lixiviado de aterro sanitário. Esses resultados podem sugerir qual tratamento, seja biológico, físico-químico ou a combinação desses processos, poderá ser o mais eficiente (SILVA *et al*, 2007).

A cor do lixiviado apresenta valores característicos de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos (FAN *et al*, 2006; SANTANA-SILVA, 2008).

Os valores de pH estão condizente a aterros com idade mais avançada (SEGATTO e SILVA, 2000). O valor da condutividade do lixiviado bruto encontrado na literatura é de 6,26 μScm⁻¹, segundo o IPT/CEMPRE (2000). Os resultados

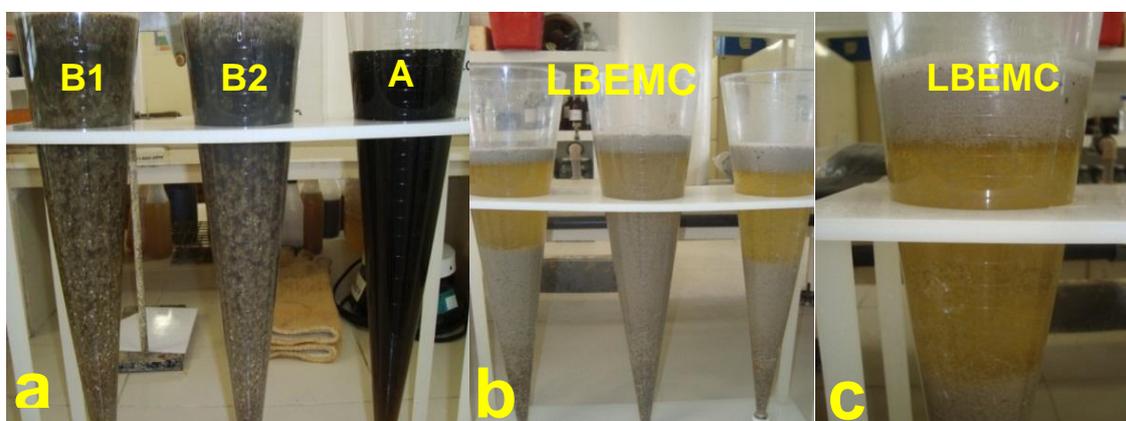
obtidos nas amostras de lixiviado para o Experimento não apresentaram condutividade elevada. Segundo CETESB (2007), a condutividade elétrica representa a concentração de poluentes, sendo crítica em níveis superiores a $100 \mu\text{Scm}^{-1}$.

Os valores para DQO e DBO_5 são muito próximos dos resultados encontrados por Oliveira (2015) para o lixiviado do aterro CTR- Candeias da Muribeca. A razão de DBO_5/DQO pode ser considerada como uma medida de biodegradabilidade da matéria orgânica e da maturidade tanto do lixiviado quanto do aterro, o qual diminui com o tempo (EL-FADEL *et al*, 2002; KARGI ; PAMUKOGLU, 2003).

4.2 Resultados do Experimento de Laboratório – Ensaio no Cone de Imhoff e Filtros com manta de poliéster

Na Figura 4.2 é apresentado o aspecto visual do ensaio no Cone de Imhoff sem filtragem em manta de poliéster e sem agitação para o tratamento de lixiviado bruto com extratos de sementes de Moringa, onde é possível observar a dinâmica de atuação dos extratos no lixiviado.

Figura 4.2 – Resultado visual do ensaio no Cone de Imhoff de coagulação/floculação: no bloco (a) é apresentado o Lixiviado Bruto (A), logo após a coleta, e o lixiviado bruto submetido ao tratamento com o extrato da *Moringa* (B1) e (B2), logo após a introdução do coagulante a base de moringa. No bloco (b) e (c) é apresentada a decantação após tratamento com o extrato da Moringa com casca. (LBEMC- Lixiviado bruto com extrato de Morinca com casca)



Fonte: Autor e Oliveira, Zoryade Lourenço.

No bloco (a), nota-se que ao administrar o coagulante natural, ocorre a ação física e reações químicas sobre as partículas coloidais em suspensão que se desestabilizam pelo mecanismo de neutralização e adsorção no qual geram interações coagulante/solvente, coagulante/coloide e coloide/solvente.

No bloco (b) e (c), observa-se que a gravidade atua para separar os sólidos sedimentáveis que estão presentes no meio aquoso, com isso os sólidos depositam-se (sedimentam) no fundo do Cone de Imhoff evidenciando a separação de fases.

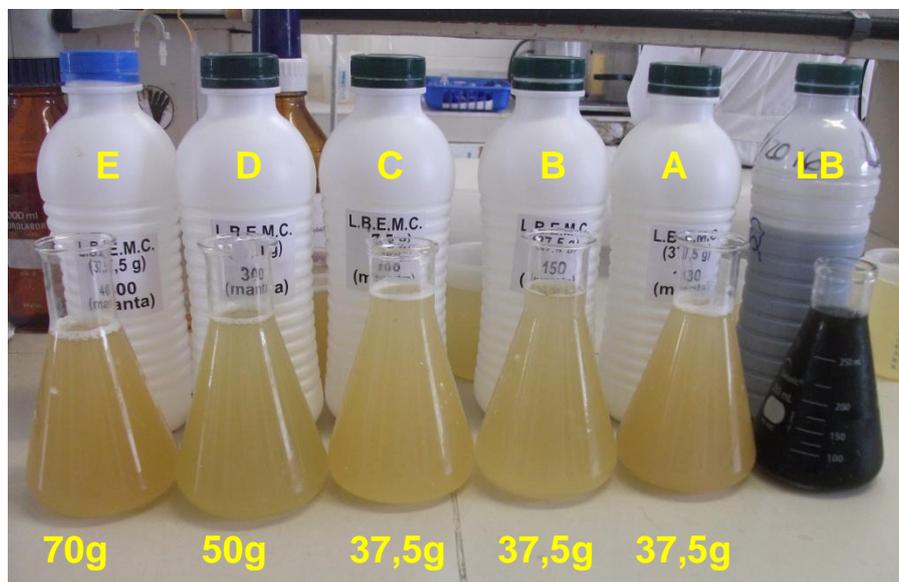
As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam o aspecto visual com ênfase na variação de cor no dia zero (coleta) e após quatro dias, para análises dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com diferentes dosagens de extratos de sementes de *Moringa oleifera* utilizando manta de poliéster.

Figura 4.3 Aspecto visual do tratamento do lixiviado bruto no dia zero (0), coleta, submetidos a diferentes dosagens de extrato de *Moringa oleifera* e mantas de poliéster. (A= manta 130g/m², B=manta 150g/m², C=manta 200 g/m², D= manta 300g/m² e E=manta 400g/m²)



Fonte: Oliveira, Zorayde Lourenço.

Figura 4.4. Aspecto visual do tratamento após quatro (4) dias submetidos a diferentes dosagens de extrato de *Moringa oleifera* e mantas de poliéster. (A= manta 130g/m², B=manta 150g/m², C=manta 200 g/m², D= manta 300g/m² e E=manta 400g/m²).



Fonte: Autor

Nas figuras 4.3 e 4.4, notam-se diferenças de coloração entre o dia inicial do tratamento (dia zero) e quatro dias após o tratamento, no qual fica evidenciada uma clarrificação maior com o decorrer dos dias.

Na Tabela 4.2 é apresentado a caracteriçõo físico-química do lixiviado bruto antes e após o tratamento com os extratos de semente de moringa com casca. No qual se observa os seguintes resultados:

a) Análise de Cor aparente

Os resultados referentes ao parâmetro Cor apresentaram remoção em todas as dosagens estudadas, porém o melhor resultado obtido foi para concentração de 37,5 g/L utilizando a manta de 150g/m², com uma remoção em torno de 71 %, quando comparado ao lixiviado bruto. Entretanto, Oliveira (2015) avaliando o coagulante natural da semente de *Moringa*, para a concentração de 37,5g/l e com filtragem simplificada, promoveu remoção de 96,65% do parâmetro cor no lixiviado. Tal diferença ocorreu devido ao material filtrante que no caso das mantas de poliéster acabaram transferindo para as amostras sua coloração, sendo a manta de 300g/m² a que teve maior interferência no resultado final.

b) Análise do Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os resultados referentes ao parâmetro pH após tratamento com a *Moringa* apresentaram alterações. Inicialmente o pH do lixiviado bruto (LB) era alcalino (8,2); com os tratamentos, os valores de pH ficaram entre 6,1 e 6,9 tornando-se levemente ácido, o que atende a resolução do CONAMA 357.

c) Turbidez

Os resultados referentes ao parâmetro Turbidez não evidenciaram remoção e sim aumento do parâmetro. Porém, a manta de 150g/m² na concentração de 37,5g foi a que apresentou o menor aumento ficando entorno de 40%, já a manta de pior resultando com um acréscimo de 631%, foi a de 200g/m² com concentração de 37,5g/l. Isso se deve ao fato de as mantas introduzirem, em meio aquoso, fios (fragmentos de sua composição) conferindo assim um aumento na turbidez.

d) Condutividade

Os resultados referentes ao parâmetro Condutividade apresentaram redução em todas as dosagens estudadas, porém os melhores resultados obtidos foram para as dosagens de 37,5g/l e mantas de 200 e 150 g/m², respectivamente, 9,11 e 9,17 μScm^{-1} .

e) DQO

Os resultados referentes ao parâmetro DQO evidenciaram aumento nas dosagens de extrato de sementes de *Moringa* estudadas, se comparado com Lixiviado Bruto.

f) DBO₅

Os resultados referentes ao parâmetro DBO₅ apresentaram redução de 37% para concentração de 37,5g/l em manta de 150g/m². Já nas demais amostras houve

aumentos e reduções não significativas. Oliveira (2015) e Bassani (2010) encontraram resultados semelhantes devido às sementes de *Moringa oleifera* serem ricas em matéria orgânica.

Tabela 4.2 Características físicas e químicas das amostras do lixiviado bruto (LB) antes e após tratamento com extrato de semente de *Moringa Oleifera Lam.* com casca (LBEMC) e filtragem por manta de poliéster.

Parâmetros		Tratamentos						Padrões
		LB	LBEMC	LBEMC	LBEMC	LBEMC	LBEMC	
Experimento			37,5g/L	37,5g/L	37,5g/L	50g/L	75g/L	CONAMA
Filtro (Manta)		sem	130g/m ²	150g/m ²	200g/m ²	300g/m ²	400g/m ²	
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	20,91	10,11	9,17	9,11	11,05	11,50	
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	1.920	3.300	3.019	4.113	60mg/L ₁

4.2 Resultados do Experimento em escala de campo

O experimento realizado em campo consistiu em simular as condições reais para execução da tratabilidade do lixiviado bruto utilizando extrato de semente de *Moringa Oleifera Lam* com casca e sem casca na concentração de 11g/L. Na figura 4.5 é apresentado a sequência de montagem, concentração e coleta do tratamento do lixiviado bruto.

Na figura 4.6 é possível observar a mudança de colocação do lixiviado logo após o acréscimo do coagulante. Foi observado que também odor do lixiviado bruto foi reduzido.

Figura 4.5 apresenta a sequência de operações para realização dos ensaios de tratabilidade do lixiviado com extratos de sementes de *Moringa oleifera* em escala real utilizando caixas d'água.



Fonte: Autor

Figura 4.6 Aspecto visual dos lixiviados. (A= Lixiviado bruto, B=Lixiviado bruto com extrato de semente de Moringa com Casca 11g/L, C=Lixiviado bruto com extrato de semente de Moringa sem caasca)



Fonte: Autor

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 são apresentadas as caracterizações físico-químicas do lixiviado bruto antes e após o tratamento com os extratos de semente de moringa com casca e sem casca em nível de campo. E observam-se os seguintes resultados:

a) Análise de Cor aparente

Os resultados referentes ao parâmetro Cor apresentaram remoção em todas as dosagens estudadas, porém o melhor resultado obtido foi para concentração de LBEMS 2,200 kg/L, com análise realizada no dia zero, com uma remoção em torno de 56 %. Para a mesma concentração agora com três dias de iniciado o tratamento houve uma redução de 46% em relação ao lixiviado bruto de mesma idade, porém se comparado ao lixiviado bruto do dia zero a remoção é de 56%. Ou seja, o efeito da remoção da cor no lixiviado bruto com a introdução do coagulante natural da Moringa sem casca na concentração de 11g/L se mantém estável até o terceiro dia e o próprio lixiviado bruto sofre reduções do parâmetro cor com o decorrer do tempo.

b) Análise do Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os resultados referentes ao parâmetro pH no dia zero e com três dias de iniciado o tratamento com Moringa não apresentaram alterações significativas. Inicialmente o pH do lixiviado bruto (LB) é de 8,2 e com os tratamentos o pH se mantém alcalino, com os valores entre 8,3 e 8,0, porém atendendo o parâmetro da resolução do CONAMA 357/05.

c) Turbidez

Os resultados referentes a Turbidez apresentaram remoção em todas as dosagens estudadas, porém o melhor resultado obtido foi para concentração de LBEMS 11g/L, com análise realizada no terceiro dia de iniciado o tratamento, com uma remoção em torno de 54 % se comparado ao lixiviado bruto no dia da coleta. Para a mesma concentração no dia zero, o tratamento efetuou uma redução de 31% do parâmetro Turbidez. Ou seja, o efeito da remoção da Turbidez no lixiviado bruto com a introdução do coagulante natural da Moringa sem casca na concentração de 11g/L sofre alterações positivas com o decorrer do tempo removendo com mais eficiência o parâmetro Turbidez.

d) DQO

Os resultados referentes a DQO apresentaram como melhor resultado a concentração de LBEMS 2,200 kg/L, com análise realizada no terceiro dia de iniciado o tratamento, com uma remoção em torno de 51 % se comparado ao lixiviado bruto no dia zero. Também, constata-se que o efeito da remoção da DQO no lixiviado bruto com a introdução do coagulante natural da Moringa sem e com casca sofrem alterações positivas melhorando sua eficiência com o decorrer do tempo.

e) DBO₅

Os resultados referentes ao parâmetro DBO₅ apresentaram como melhor resultado a concentração de LBEMS 11g/L, com análise realizada no terceiro dia de iniciado o tratamento, obtendo-se uma remoção de 72% se comparada com o lixiviado bruto do dia zero. Observa-se que o lixiviado bruto sem tratamento sofreu remoção natural de 45% da DBO₅. O resultado apresentado atende a resolução do CONAMA 430/11 no qual estabelece que a Demanda Bioquímica de Oxigênio com 5 dias tem de ter uma remoção mínima de 60% de DBO.

f) Coliformes Totais (CT)

Os resultados referentes aos Coliformes Totais (CT) apresentaram remoção em todas as dosagens, porém às análises realizadas no dia zero foram as de maior eficiência ficando em torno de 95% de remoção. Já as análises realizadas com três dias de iniciado o tratamento apresentaram remoção de 68% de CT. Observa-se que sua propriedade bactericida perde eficiência com o decorrer do tempo.

g) Coliformes Fecais (CF)

Os resultados referentes aos Coliformes Fecais (CF) apresentaram remoção em todas as dosagens, porém à análise da concentração de Lixiviado bruto com extrato de Moringa sem casca realizada no dia zero foi a de melhor eficiência obtendo 82% de remoção. Já as análises realizadas com três dias de iniciado o

tratamento apresentaram remoção entorno de 70% de CF. Nota-se que sua propriedade bactericida perde eficiência com o decorrer do tempo.

Tabela 4.3 Características físicas e químicas das amostras de lixiviado, em escala de campo, com diferentes dosagens de extratos de semente *Moringa oleifera* no dia de zero .

Parâmetros		Dia 0			Padrões
Tratamentos		LB	LBEMC 2,200kg/L	LBEMS 2,200Kg/L	CONAMA
Cor aparente	mgL ⁻¹	4.294	3.946	1.898	75
pH	-	8,2	8,3	8,0	5-9
Turbidez	NTU	696	581.54	477,12	100
Condutividade	µScm ⁻¹	21,00	10,09	12,00	
DQO	MgdeO ₂ /L	6.762	7.184	6.283	
DBO ₅	MgdeO ₂ /L	2.488	3.819	1.299	60mg/L ⁻¹
CT (NMP/100ml)		5,0x10 ³	1,8x10 ²	2,2x10 ²	75
CF (NMP/100ml)		5,0x10 ³	1,8x10 ³	9x10 ²	

Tabela 4.4 Características físicas e químicas das amostras de lixiviado, em escala de campo, com diferentes dosagens de extratos de semente *Moringa oleifera* após 3 dias

Parâmetros		Após 3 dias			Padrões
Tratamentos		LB	LBEMC 2,200 Kg/L	LBEMS 2,200 Kg/L	CONAMA
Cor aparente	mgL ⁻¹	3.480	2.160	1,886	75
pH	-	8,2	8.0	8,0	5-9
Turbidez	NTU	569	528,10	376,14	100
Condutividade	µScm ⁻¹	11,10	9,08	11,00	

Tabela 4.4 Características físicas e químicas das amostras de lixiviado, em escala de campo, com diferentes dosagens de extratos de semente *Moringa oleifera* após 3 dias

Parâmetros		Após 3 dias			Padrões
		LB	LBEMC 2,200 Kg/L	LBEMS 2,200 Kg/L	
Tratamentos					CONAMA
DQO	MgdeO ₂ /L	5.784	5.390	3.292	
DBO ₅	MgdeO ₂ /L	1.364	1.133	683	60mg/L ⁻¹
CT (NMP/100ml)		5,0x10 ³	1,6x10 ³	1,6x10 ³	75
CF (NMP/100ml)		5,0x10 ³	1,4x10 ³	1,5x10 ³	

4. 3 Resultado do processo de compostagem da torta de moringa

A Figura 4.7 apresenta de forma visual a sequência de operação da compostagem da torta residual oriunda do tratamento de lixiviado de aterro sanitário por extratos de sementes de *Moringa oleifera* em escala real reduzida. Observa-se que no primeiro momento temos a torta residual oriunda do tratamento de lixiviado de aterro sanitário por extratos de Moringa no final do 3º dia de tratamento, com isso a ela foi acrescida resto de podas (material vegetal) do próprio aterro, fornando assim uma mistura (torta/poda) com o decorrer do tratamento de compostagem chegou-se a um composto orgânico rico em matéria orgânica com micro e macronutrientes fundamentais ao desenvolvimento vegetal.

Figura 4.7 Apresenta sequência de operacional da compostagem. (A=Torta residual, B=acréscimo de podas do próprio aterro, C=Resultado final do processo de compostagem).



Fonte: Autor e Oliveira, Zorayde Lourenço

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 material em compostagem. O volume de material presente no início do processo de compostagem foi de 8,800 quilos da torta de moringa após tratamento do lixiviado adicionou-se 3 quilos de folhas de poda proveniente do aterro sanitário e dois quilos de casca da semente de moringa, totalizando 13,800 quilos, sendo verificado, ao término do processo, um volume de 9,200 quilos de composto. Assim, houve redução de aproximadamente 40% no volume inicial.

Diversos são os fatores que influenciam na redução de volume do material em processo de compostagem. Segundo Yue *et al.* (2008), a redução de volume observado em uma massa em compostagem é dividida em dois estágios, nos primeiros dias de compostagem ocorre à redução física, proveniente da compactação do material e, posteriormente, a redução proveniente da perda de

massa em função da degradação do material orgânico e da perda de água do material.

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 4.5), 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).

O efeito do tratamento biológico da Moringa se deve a dois fatores: primeiro, uma grande parte dos micro-organismos fisicamente ligados às partículas em suspensão na água junto com o lodo retido. Os cotilédones da semente de Moringa contêm uma substância (4(LRhamnosyloxybenzylisothiocyanate (RI)) antimicrobiana que aumenta o tratamento biológico da água (JAHN, 1998; SILVA e KERR, 1996).

Tabela 4.5 Resultado microbiológico de Coliformes totais (A) e Coliformes fecais (B) do composto antes e após tratamento, nos ensaios de tratabilidade em escala real.

AMOSTRAS	PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS		CARACTERÍSTICAS DA SUSPENSÃO
	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	
TORTA DA MORINGA APÓS TRATAMENTO DO LIXIVIADO	$3,5 \times 10^9$	$3,5 \times 10^9$	Aspecto: Turva, marron, com partículas em suspensão Odor: Caract. extrato vegetal pH = 7,0
COMPOSTO DA MORINGA	$3,8 \times 10^2$	$3,8 \times 10^3$	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

Na Tabela 4.6 é apresentada a análises de macro e micro nutrientes do substrato orgânico comercial (SCO) e do composto oriundo da compostagem da torta residual do tratamento do lixiviado de aterro sanitário por extratos de semente de Moringa.

Tabela 4.6 Análise de macro e micro nutrientes do substrato comercial (SCO) e composto da torta de lixiviado tratado por Moringa.

Resultados das amostras			
Elementos	Unidade	SCO	Composto da Torta residual
N		1,480	0,460
P		0,610	0,330
K		2,130	1,503
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	PPM	1320,00	1357,00
Mn		72,00	69,00

Observa-se que o composto da torta residual apresenta bom potencial nutricional em suas componentes macro nutrientes e na componente micro nutrientes se equipara ao substrato comercial. Podendo ser utilizado como adubo na produção agrícola.

4.4 Resultado do processo de germinação e crescimento da Alface em substato comercial e no composto oriundo de compostagem da torta de lixiviado tratado com Moringa

Na Figura 4.8 e 4.9 é possível acompanhar o processo de germinação e crescimento da alface com o substrato comercial (controle) e com o composto da torta de lixiviado tratado com Moringa Lam. Nota-se que da germinação até o 30º dia não houve diferenças visuais para o desenvolvimento do bioindicador (Alface) em ambos os substratos. Na análise radicular (Figura 4.10) foi observado que não houve uma diferença significativa do desenvolvimento radicular. Tais resultados

indicam que o composto oriundo da compostagem da torta de lixiviado tratado com Moringa Oleífera não é um meio tóxico ao desenvolvimento de plantas e suas capacidades nutricionais são equiparadas ao do substrato comercial.

Figura 4.8 Germinação e crescimento da Alface com o substrato comercial (SCO) (controle) e o Composto da torta de lixiviado tratado por Moringa oleífera (STML)



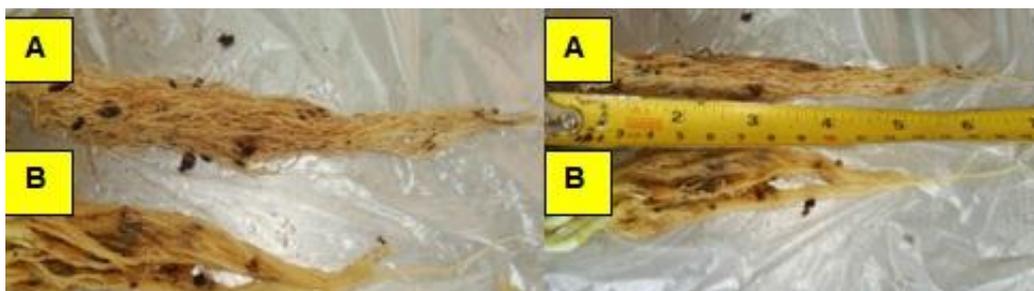
Fonte: Autor e Oliveira, Zorayde Lourenço

Figura 4.9 Crescimento da Alface com o substrato comercial (SCO) (controle) e o Composto da torta de lixiviado tratado por Moringa oleífera (STML) com 30 dias.



Fonte: Autor e Oliveira, Zorayde Lourenço

Figura 4.9. Apresenta visualmente o desenvolvimento da raiz da alface (A- controle) e (B - Torta) aos 45 dias.



Fonte: Autor e Oliveira, Zorayde Lourenço

As análises microbiológicas realizadas para amostras de alface, não apresentaram resultados satisfatórios (Tabela 4.7), quanto à mortalidade de coliformes totais, em todas as amostras, bem como para a mortalidade de coliformes fecais que ainda apresentou presença de bactérias e fungos. As análises realizadas visaram verificar a presença de coliformes totais, coliformes fecais, bactérias heterotróficas e fungos. Para alface adubado com composto tratado com moringa, alface adubada com composto comercial e alface da feira orgânica do campos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Tabela 4.7 Apresenta os resultados das análises laboratoriais para efeitos microbiológico dos Coliformes totais (A) e Coliformes fecais (B) na alface adubada com composto orgânico do extrato de moringa.

AMOSTRAS	PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS				CARACTERÍSTICAS DA SUSPENSÃO
	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliformes Fecais (NMP/100ml)	Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	Fungos (UFC/mL)	
Alface adubado com composto tratado com Moringa	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	INCONT.	$1,84 \times 10^6$	Aspecto: Turva, amarelada, com partículas em suspensão. Odor: Característico de extrato vegetal, pH = 8,0
Alface adubada com composto comercial	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	$7,6 \times 10^6$	$8,4 \times 10^5$	Aspecto: Turva, marrom, com partículas em suspensão. Odor: Característico de extrato vegetal. pH = 6,0
Alface da feira orgânica (UFPE)	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	$6,1 \times 10^6$	$1,64 \times 10^4$	Aspecto: Turva, amarelada, com partículas em suspensão. Odor: Característico de extrato vegetal, pH = 6,0

Moreira *et al.* (2003), destacam que apesar da importância da reciclagem do bio-sólido como fonte de nutrientes, os resultados de trabalhos realizados revelam a

necessidade de seleção de indicadores de sanidade rigorosos que permitam o uso seguro deste adubo.

Dentro deste contexto sugerem a inclusão de outras análises no bio-sólido, tais como, detecção de microrganismos importantes para a saúde humana, além de análises de metais pesados nos tecidos vegetais. Seria importante realizar análises microbiológicas em outras cultivares, visto que a agricultura periurbana já se utiliza de adubação e fertirrigação indiscriminadamente podendo trazer riscos a saúde humana.

4.5 Resultado do processo de germinação e crescimento da semente de *Moringa Oleifera Lam* em composto comercial e composto oriundo de compostagem da torta de lixiviado tratado com Moringa

A espécie em estudo mostrou ser quiescente, germinando rapidamente (em três dias), quando em contato com fatores essenciais. As sementes possuem características fisiológicas e morfológicas que devem ser levadas em consideração quando se estudam os bancos de sementes no solo. A semente deve ser encarada como um mecanismo de proteção ao embrião. Este, quando se encontra em locais e situações desfavoráveis é impedido de germinar. (RAVEN *et al.*, 2007).

Segundo Marques *et al* (2000), o crescimento em altura das espécies é influenciado pela contaminação do solo. Diferentemente do que ocorreu na fase experimental da Moringa ao utilizar o substrato da torta de moringa resultante do tratamento de lixiviado como adubo.

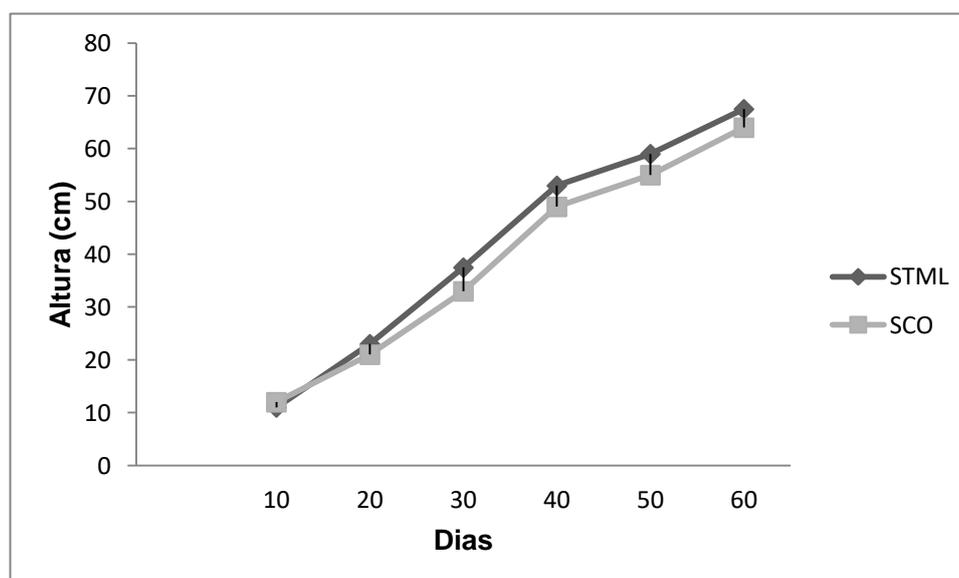
Tabela 4.8 Altura média das plantas de Moringa nos vasos durante a condução do experimento SCO- Substrato comercial orgânico (A) e STML = substrato da torta de moringa com lixiviado (B).

Tratamento	Altura das Plantas em cm	
	30 dias a 60 dias	
	Média	Desvio Padrão
Solo SCO	39,00	20,35
Solo STML	41,83	21,91

Média de seis repetições

As mudas de todos os tratamentos da moringa apresentaram aumento no crescimento em altura como resposta à aplicação de ambos os substratos. Observa-se aos 30 dias um crescimento diferenciado (Figura 4.9), quando se compara a testemunha ao tratamento com solo STML. Onde foi aplicado o tratamento com STML não ocorreram diferenças entre as médias.

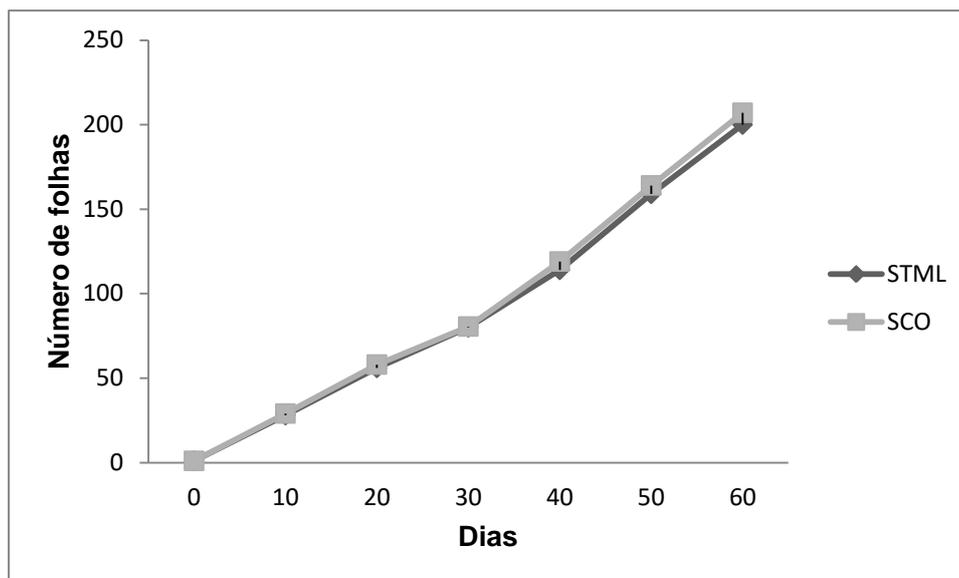
Figura 4.10 Altura da planta submetida aos tratamentos



SCO - Substrato comercial orgânico, STML - Substrato da torta de Moringa com lixiviado

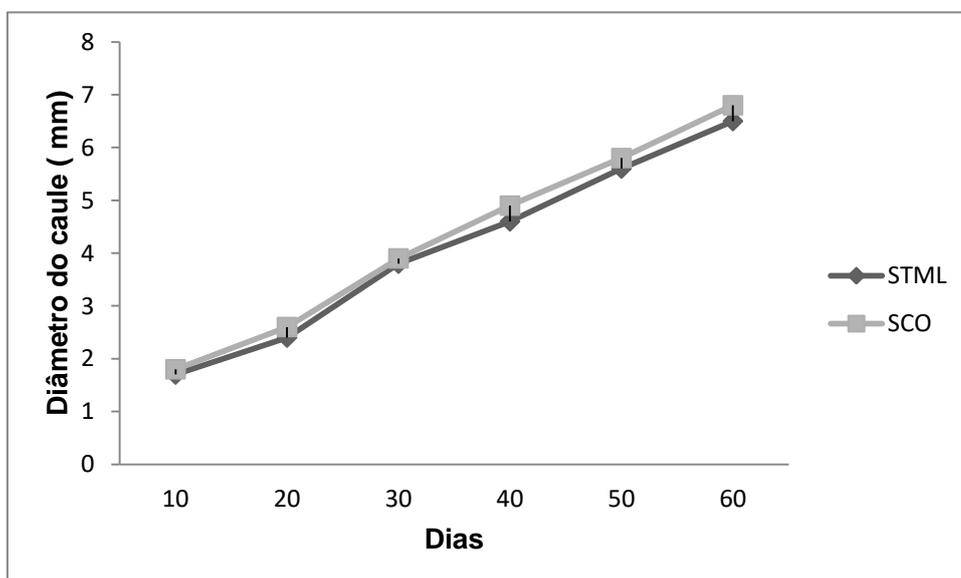
Percebe-se, no entanto, que aos 30 dias após a semeadura, os tratamentos em vasos com solo STML não apresentaram diferenças significativas para os parâmetros de Folíolos de moringa em relação ao experimento SCO - substrato comercial orgânico (Figura 4.10).

Figura 4.11 - Número de folhas (Folíolos) com os tratamentos propostos.



Os valores médios dos diâmetros das plantas de Moringa, submetidos aos diversos tratamentos são mostrados na Figura 4.11. Verifica-se que o tratamento com substrato foi um pouco superior ao do composto da moringa a partir do 40 dias após a semeadura, entretanto, as diferenças das médias não eram significativas e em ambos desenvolvimento tiveram um comportamento similar.

Figura 4.12 Diâmetro do caule em relação aos tratamentos propostos.



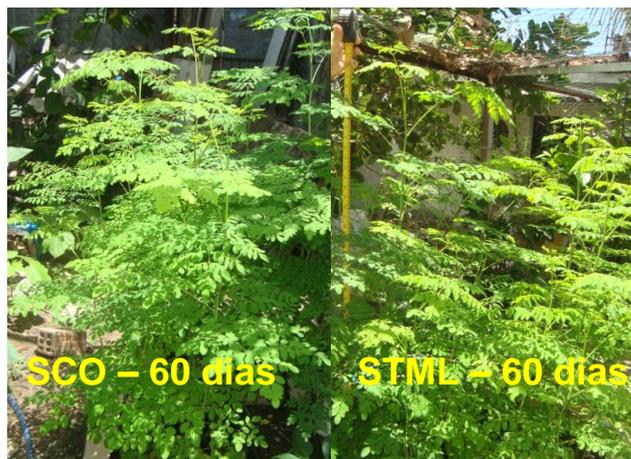
SCO - Substrato comercial orgânico, STML - Substrato da torta de Moringa com lixiviado

Na Figura 4.13 e 4.14 é possível acompanhar o processo de germinação e crescimentos da moringa com o substrato comercial (controle) e com o composto da torta de lixiviado tratado com Moringa Lam. Nota-se que não houve diferença significativa no desenvolvimento da Moringa tanto no substrato comercial quanto no substrato da torta de lixiviado tratado com extrato de moringa. Tais resultados indicam que o composto oriundo da compostagem da torta de lixiviado tratado com Moringa Oleifera pode ser utilizado no próprio aterro sanitário como uma maneira de se utilizar os recursos disponíveis de forma sustentável. Porém é preciso novos estudos para se consolidar tal afirmação.

A figura 4.13 Germinação e crescimento da *Moringa Oleifera* Lam com o substrato comercial - SCO (controle) e o Composto da torta da *Moringa oleifera*-STML resultante do extrato utilizado para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário CTR-Candeias.



Figura 4.13 Germinação e crescimento da *Moringa Oleifera Lam* com o substrato comercial - SCO (controle) e o Composto da torta da *Moringa oleifera*-STML resultante do extrato utilizado para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário CTR-Candeias com 60 dias.



Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se perceber que o tratamento de lixiviado de aterro sanitário com extratos de moringa associado com uma etapa de filtragem é promissor e pode ser utilizado como alternativa viável, aos métodos convencionais, de tratabilidade do lixiviado bruto por melhorar a qualidade dos parâmetros físico-químicos: Cor, pH, Turbidez, DQO e DBO, e biológico com: Coliformes totais e fecais além de eliminar o odor de gás sulfídrico (H_2S) bem característico do lixiviado. E, conseqüentemente, melhorando a qualidade do produto final que terá veiculação hídrica.

O extrato da semente de *Moringa oleifera* (LBEMC 37,5g/L com manta de poliéster de 150g/m²) obteve a maior eficiência para o pré-tratamento do lixiviado em laboratório, onde no parâmetro Cor obteve-se uma remoção de 71% ; no parâmetro pH o meio antes alcalino passou a ser levemente ácido; na Condutividade apresentaram remoção de 56% e no parâmetro DBO₅ apresentaram remoção de 37% ². Já os resultados referentes ao parâmetro Turbidez e DQO não evidenciaram remoção e sim aumento dos parâmetros. Isso se deve ao fato de as mantas introduzirem, em meio aquoso, fios (fragmentos de sua composição) conferindo assim um aumento na turbidez e o próprio coagulante natural à base de *Moringa* introduzi ao meio crescimento de matéria orgânica. Desse modo, são necessárias pesquisas voltadas a diferentes meios filtrantes a fim de se obter o de melhor eficiência associada ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário com extratos de semente de *Moringa Oleifera Lam.*

O extrato da semente de *Moringa oleifera* (LBEMS 11g/L com manta de poliéster de 150g/m²) obteve a maior eficiência para o pré-tratamento do lixiviado em escala de campo, onde nos parâmetros físico-químico apresentaram as seguintes remoções: 56% para Cor; 54% para Turbidez; 51% para DQO; 72% para DBO₅ e para o pH o meio se manteve alcalino. Nos resultados microbiológicos houve remoção de 95% para Coliformes Totais (CT) e de 82% para Coliformes Fecais (CF), ambas para análises no dia zero. Nota-se que o tempo influencia a eficiência do tratamento. Dessa maneira é preciso realizar pesquisas a médio e longo prazo da

viabilidade do uso do extrato da *Moringa Oleifera Lam* para tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

A espécie florestal *Moringa oleífera Lam* e a Alface (*Lactuca sativa L.*) tiveram uma taxa de crescimento satisfatória, quando submetidas ao composto oriundo da compostagem do lixiviado bruto tratado com extratos de semente de *Moringa*. As variáveis caracterizam esse composto como de possível uso na adubação por apresentar bons valores nutricionais e ser não tóxico a outras espécies florestais. Já, no aspecto microbiológico, o composto da torta não apresentou resultados diferentes se comparado ao composto comercial em relação ao desenvolvimento fungos e bactérias, entretanto é necessário realizar mais pesquisas sobre os parâmetros microbiológicos, a fim de que se tenha uma confiabilidade de não contaminação humana.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 884-9**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos: Rio de Janeiro, 1985.

AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. **Landfill leachates pretreatment by coagulation- flocculation**, water research, v. 31, p. 2775–2782, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004** – Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ARANTES, C. C.; TULIO, A. P. RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Processamento de sementes de moringa oleifera utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p.661–666, 2012.

ARANTES, CAMILA C.; RIBEIRO, TULIO A. P.; PATERNIANI, JOSÉ E. S. Processamento de Sementes de Moringa Oleifera utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 661-666, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012000600011>>. Acesso em: 06 jul. 2017.

ALKHAFAJI, R. A. ; JIANGUO, B. ; JIANGKUN, D. ; DAN, Z.; YE, L. **NON Biodegradable Landfill Leachate Treatment by Combined process of agitation, coagulation, sbr and filtration.waste management**, v. 34, p. 439 – 447, 2014

ANJORIN, T.S; IKOKOH, P., OKOLO, S. **Mineral composition of moringa oleifera leaves, pods and seeds from two regions in ABUJA, Nigeria**. Int. J. Agric. Biol., v.12, p.431-434. 2010.

ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A. H. MORINGA OLEIFERA: A food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, v.21, p.17-25, 2007.

APHA, AWWA, WCPF. Standard methods for examination of the water and wastewater, Washington, D.C.: **American Public Health Association, Water Pollution Control Federation**, 2005, 1134p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC, Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16thEd. Washington, D.C., 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. A.O.A.C Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (method 958.06).Arlington:.2000

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos** – 2015. – Brasília: MCIDADES.SNSA, 2017.

BERNARDO, L.S. Influencia do extrato de semente de *Moringa Oleifera Lam.* Como coagulante natural de partículas suspensas na estação de tratamento de efluentes do curado – ETE curado- PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL,25,2009, RECIFE-PE,2009.

BIDONE, F. R.A. ; POVINELLI, A. J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. 1.^a ed. São Carlos: EESC/USP, 1999.

BIDONE, F.R. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: **Estudo de caso – Central de resíduos do recreio, em Minas do Leão - RS**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BORBA, L. R. Viabilidade do uso da *Moringa Oleifera Lam* no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades. 2001. 76f. Dissertação (Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – **Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba – UFPB**, João Pessoa. 2001.

BONGIOVANI, MILENE C.; KONRADT-MORAES, LEILA CRISTINA; BERGAMASCO, ROSÂNGELA; LOURENÇO, BEATRIZ S. S. **Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para obtenção de água potável**. ACTA SCIENTIARUM TECHNOLOGY, MARINGÁ, V.32, N. 2, P. 167-170, 2010. Disponível EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.4025/ACTASCITECHNOL.V32I2.8238](http://dx.doi.org/10.4025/actascitech nol.v32i2.8238)>.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. publicada no dou nº 053, de 18 de março de 2005, págs. 58-63.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 404, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2008**, que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, CXLVII, n. 147, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3-7. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: Ago. 2017

BOHDZIEWICZ, J. ; BODZEK, M.; GORSKA, J. **Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate. process biochem.** v. 36, p.641–646, 2001

BORCAZZONI, L. *et al.* **Anaerobic - Aerobic treatment of municipal waste leachate. environmental technology**, v. 20, p. 211-217, 1999.

BARRETO, M. B.; FREITAS, J. V. B.; SILVEIRA, E. R.; BEZERRA, A. M. E.; NUNES, E. P.; GRAMOSA, N. V. Constituintes químicos voláteis e não-voláteis de *Moringa Oleifera Lam.*, moringaceae . **Revista brasileira de farmacognosia**. V.19, n.4, p. 893-897. 2009.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa Oleifera Lam.*) Em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura brasileira**, BRASÍLIA, V.22, N.2, P.295-299, abril-junho 2004.

BICALHO, LUCIANA. A, NOVACK, KÁTIA M. MELO, TÂNIA M. S. Avaliação da biodegradação de filmes de polietileno reciclado dopados com óleo de moringa oleifera. ANAIS DO 11º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS – campos do Jordão, SP – 16 A 20 DE OUTUBRO DE 2011.

BHATTI, H., MUMTAZ, B., MUMTAZ, B. et al. **Removal of zn (ii) ions from aqueous solution using *Moringa Oleifera Lam.* (horseradish tree) biomass.** Process biochemistry, V. 42, P. 547-553,2007.

BHATIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD, A. B. Pretreatment of palm oil mill effluent (pome) using moringa oleifera seed's as natural coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, n. 145, p. 120-126, 2007.

CARDOSO, K.C., BERGAMASCO, R., COSSICH, E.S., KONRADT-MORAES, L.C., Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de 37 coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa Oleifera Lam.* **Acta scientiarum – technology**. 30, 193-198. 2008.

CEMPRE / IPT. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**; 1. Ed. Brasília: CEMPRE, 2000.

CECCONELLO, C.M. Pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos utilizando leitos cultivados. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2005. 149p. (Tese de Mestrado).

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL “**procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas**”. São Paulo: CETESB, 2007..

CHIOCHETTA, C. G. Remediação de solo ácido pelo uso de resíduos sólidos agroindustriais: estudo dos aspectos físico-químicos, ecotoxicológicos e agrônômicos. 2013. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, Sc, 2013.

DA SILVA, F. J. A. *et al.* Descolorização de efluentes de indústria têxtil utilizando coagulantes naturais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2001, JOÃO PESSOA. Anais. JOÃO PESSOA :ABES, 2001. CD-ROM.

DACANAL, M. Tratamento de lixiviado por meio de filtro anaeróbio associado a membrana de microfiltração. 2006. 142 f. Dissertação (mestrado). Universidade de Caxias do Sul. Programa de Pós-graduação em Materiais. Caxias do Sul, 2006.

DINARDI, ANA LÍGIA *et al.* Fitorremediação: **III Fórum de Estudos Contábeis, Faculdades Integradas Claretianas**. Anais. Rio Claro, São Paulo, 2003.

DI BERNARDO, LUIZ; DANTAS, ANGELA DI BERNARDO. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Editora Rima,2005.

EMBRAPA. **Municípios de Goiás recebem fossas sépticas biodigestoras**. Brasília- DF, Brasil, 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18024671/municipios-de-goias-recebem-fossas-septicas-biodigestoras->>. Acessado em: 19 julho.2017.

ECKENFELDER, W. W., **industrial water pollution control**, 3A ED., ED. Mcgraw Hill, 2000.

EL-FADEL, M., BOU-ZEID, E., CHAHINE, W., ALAYLI, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. **Waste Management**, v. 22, p. 269-282, 2002.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Fábio Cesar da Silva** (editor técnico) - 2 ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

FRANCO, ELTON S. Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água. 2009. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

FARIA, E. **Dicionário escolar latino português**. Revisão de ruth junqueira de faria. 6. Ed., rio de janeiro: fae, 1991. 592p.

FAN, H. J; SHU, H. Y.; YANG, H. S.; CHEN, W. C. Characteristics of landfill leachates in central Taiwan. **Science of the Total Environment**, 361, p. 25-37,2006.

FORMENTINI-SCHMITT, D. M., FAGUNDES-KLEN, M.R., VEIT, M.T. BERGAMASCO, R., FERRANDIN, A.T. **Estudo da Eficiência do Composto Ativo de Moringa oleifera Extraída com Soluções Salinas na Tratabilidade de Águas Residuárias da Indústria de Laticínios**. Engevista, 16 (2), 221-231.2014.

GALLÃO, M.I.; LEANDRO, F.D.; BRITO, E.S. Avaliação Química e Estrutural da semente de moringa. **Revista Ciências Agrárias**, V.37, N.1, P.106-109, 2006

GARCÍA, H.; RICO, J.; GARCÍA, P., **Comparison of anaerobic treatment of leachates from an urban-solid-waste landfill at ambient temperature and at 35°C**. *Bioresource technology* 58, pp. 273-277, Elsevier Science LTDA, 1997.

GARCIA, J. C. Degradação fotocatalítica artificial e solar de efluentes têxteis por processos oxidativos avançados TiO₂. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Maringá. UEM: Programa de Pós-Graduação em Química 2006. Maringá/Paraná. 180 f.

GARCIA, J. C.; SIMIONATO, J. I.; ALMEIDA, V. C.; PALÁCIO, S. M.; ROSSI, F. L.; SCHNEIDER, M. V.; DE SOUZ N. E.. Evolutive follow up of the photocatalytic degradation of real textile effluents in TiO₂ and TiO₂/H₂O₂ systems and their toxic effects on *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 20, p. 1589-1597, 2009.

GERDES, GERRIT. **Uso das sementes da árvore moringa oleifera para tratamento de águas turvas**. ESPLAR, Fortaleza, 1996.

HAARSTAD, K, MAEHLUM, T. Important aspects of long-term production and treatment of municipal solid waste leachate. **Waste management** ; research, V.17, P.470-477, 1999

HAMADA, J.; CASTILHO FILHO, G.S.; FARIA, S.; CINTRA, F.H. Aplicabilidade de processos físico e físico-químico no tratamento do chorume de aterros sanitários. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, vi, v.6, 2002, Vitória. Espírito Santo: Vitória, 2002.

HAMADA, J.; MATSUNAGA, I. Concepção do sistema de tratamento de chorume para o aterro sanitário de Ilhéus – BA. ix SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Seguro, 2000.

HELLER, LÉO; PÁDUA, VALTER LÚCIO. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

IGLESIAS, J. R. *et al.* A comparative study of the leachates produced by anaerobic digestion in a pilot plant and at a sanitary landfill in Asturias, Spain. **waste management** ; research, v. 18, p. 86-93, 2000.

JAHN, S. A. A. Using Moringa seeds as coagulant in developing countries. **Journal of the American Water Works Association**, v.6, p. 43-50, 1998

JUCÁ, J. F. T.; MONTEIRO, V. E. D.; MELO, M. C. Monitorio ambiental de la recuperación del vertedero de residuos sólidos de Muribeca, Brasil. **Revista técnica meio ambiente**. Espanha: Alegres. V. 12, n. 64, p. 100-106, 2002.

JESUS, A. R. DE; MARQUES, N. S.; SALVI, E. J. N. R.; TUYUTY, P. L. M.; PEREIRA, S. A. **Cultivo da moringa oleífera**. Instituto Euvaldo Lodi – IEL/BA. 2013.

KALOGO, Y.; M'BASSSIGUIÉ S. A.; VERSTRAETE, W. ENHANCING THE STARTUP OF A UASB REACTOR TREATING DOMESTIC WASTEWATER BY ADDING A WATER EXTRACT OF MORINGA OLEIFERA. *Appl Microbiol Biotechnol*, v. 55, p. 644-651, 2001

KIILL, L. H. P.; MARTINS, C. T. V.; LIMA, P. C. F. MORINGA OLEIFERA: registro dos visitantes florais e potencial apícola para a região de petrolina, pe. Petrolina: EMBRAPA SEMIÁRIDO, BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO, 2012. 19 P.

LI, X. Z. ZHAO, Q.L.; HAO, X.D. ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation. **Waste management**, vol. 19, P. 409-415, 1999.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. Plantas medicinais no Brasil – nativas e exóticas cultivadas. Nova Odessa, Instituto Plantarum, P.346-347, 2002.

LIBÂNIO, MARCELO. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. Ed. São paulo: Editora Átomo, 2010.

LEITE, MIRELLA DE ANDRADE LOUREIRO. Tratamento de lixiviado de aterros urbanos utilizando o processo foto-fenton combinado à coagulação/floculação. (Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco- UFPE, 2016. 132 folhas, il., gráfs., tabs.

MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, **RESOLUÇÃO CONAMA 404 DE 11 DE NOVEMBRO DE 2008**.

MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, **RESOLUÇÃO CONAMA 357 DE 17 DE MARÇO DE 2005**, com os padrões de lançamento complementados e alterados pela **RESOLUÇÃO CONAMA 430 DE 13 DE MAIO DE 2011**.

MACIEL, F.J. Aterro Sanitário de Muribeca e Protocolo de Kyoto. LOCAL: UFPE – RECIFE, 2005. ENTREVISTADOR: ZORAYDE LOURENÇO DE OLIVEIRA. RECIFE, 2005. 1 CASSETE SONORO (60 MIN.), 3 ¼ PPS, STÉREO.

MAGALHÃES, M. O. L. *et al.* Potencial de duas espécies de eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 3, n. 42, p.805-812, set. 2011.

MAGALHÃES, MA. O. L. *et al.* **Uso de resíduos industriais na remediação de solo contaminado com cádmio e zinco**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 2, p.219227, jun. 2011.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; MOREIRA, F.M.S. ; SIQUEIRA, J.O. **Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados**. *Pesq. Agropec. Bras.*, V.35, n.1, p.121- 132, 2000.

MARQUES, T. L. ; ALVES, V. N. ; COELHO, L. M. ; LUCIANA M. COELHO ; COELHO, N. M. M. . Removal of Ni(II) from aqueous solution using Moringa oleifera seeds as a bioadsorbent. **Water Science and Technology**, v. 65, p. 1435-1440, 2012.

MARQUES, T. L.; ALVES, V. N. ; COELHO, L. M. ; COELHO, N. M. M. **Assessment of the use of Moringa oleifera seeds for removal of manganese ions from aqueous systems**. Bioresources v. 8, p. 2738-2751, 2013.

MATOS, F. J. A. **Farmácias vivas: Sistemas de Utilização de Plantas Medicinais projetados para pequenas comunidades**. 3.ed. Fortaleza: EUFC, 1998. 220 P.

MCBEAN, E.A., ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J. **Solid waste landfill engineering and design**. Prentice hall, inc. 521 P. 1995.

METCALF ; EDDY INC. **Water reuse issue, technology and applications**, 1 th ed, New York: MCGRAW-HILL, 2007.

MORAES, J. E. F.; SILVA, D. N.; QUINA, F. H.; CHIAVONE-FILHO, O.; NASCIMENTO, C. A. O. Utilization of solar energy in the photodegradation of gasoline in water and of oilfield-produced water. **Environmental science ; technology**, V. 38, P. 3746-3751, 2004.

MOREIRA, R. E. *et al.* **Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares**. n. 1, p. 1435– 1441, 2003.

MORTON, J. F. **The horseradish tree, moringa pterygosperma (moringaceae): a boon to arid lands economic botany**, YPSILANTI, V. 45, N. 3, P. 318-333, JULY/SEPT. 1991

NUNES, D. G. ; SOARES, A. C. ; ROSA, J. ; RUBIO, J. Remoção de íons sulfato de águas de drenagem ácida de carvão por precipitação química. IN: XX ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, Florianópolis. V. 1. P. 591-598, 2004.

NDABIGENGESERE, A. NARASIAH, K.S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa Oleifera* seeds. **Water Research**, v.32, n.3, p.781-791, 1998.

NDABIGENGESERE A.; NARASIAH, S. K.. **Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seeds**. Environmental Technology, v.17, p.1103-1112, 1996.

NDABIGENGESERE A.; NARASIAH, S. K; TALBOT B. G. **Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera***. Water Research, v.29, n.2, p.703-710, 1995.

OLSON, M. E.; FAHEY, J. W. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v.82, n.4, p.1071-1082, 2011.

OLIVERA FILHO, D. B.; FRANÇA, F. R. M.; SANTA'ANA, M. C. S.; SANTANA, M. F. S.; LEIE, N. S.; GAMA, G. J.; SILVA, G. F. Utilização de aditivos naturais a partir da *Moringa Oleifera Lam*. Para o melhoramento da estabilidade oxidativa do biodiesel. **Revista Geintec**, V.2, N.5, P.490-504, 2012.

OLIVEIRA, ZORAYDE LOURENÇO. Avaliação do uso da *Moringa Oleifera Lam* para fitorremediação e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2010-Recife/PE.124f.

OLIVEIRA, ZORAYDE LOURENÇO. Lixiviado de aterro sanitário tratados com extratos de *Moringa oleífera Lam* isolados e combinados com *abelmoschus esculentus L.Moench* e biossurfactante / Zorayde Lourenço de Oliveira. – Recife: O Autor, 2015 166f.

OLIVEIRA, Zorayde Lourenço; LYRA, Marília Regina Costa Castro; ARRUDA, Anna Cláudia F.; Barros, Cristianne Araújo Gomes; Nascimento, José Fernando; FERREIRA, Silvio Romero de Melo. Avaliação da Toxicidade de Lixiviado do Aterro Sanitário CTR-CANDEIS antes e após tratamento com extratos de *Moringa Oleífera Lam* em bioensaio com Alface – *Lactuca sativa L.* XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA - COBRAMSEG/SBMR 2016, 2016.

PAVANELLI, GERSON. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-graduação em hidráulica e saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/> > acesso em: 06 jul. 2017. 14: 52.

PARSONS, S. **Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment**, IWA PUBLISHING, 2004.

CARDOSO, K.C., BERGAMASCO ,R., COSSICH, E.S., KONRADT-MORAES, L.C., otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa Oleífera Lam*. **Acta Scientiarum –Technology**. 30, 193-198. 2008.

PIO CORRÊA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. RIO DE JANEIRO: MA/IBDF, V.5, P.233-234. 1984.

PASSOS, R. M.; SANTOS, D. M. C.; SANTOS, B. S.; SOUZA, D. C. L.; SANTOS, A. B.; SILVA, G. F. Qualidade pós-colheita da moringa (*Moringa Oleifera Lam.*) Utilizada na forma in natura e seca. **Revista Geintec**, v.3, n.1, p.113-120, 2012.

PIANTÁ, CYRO A. V. Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água. Trabalho de diplomação – curso superior de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PINTO, Nayara de Oliveira. **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil** / Nayara de O. Pinto e Luiz Carlos Hermes. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 47p.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. **A comparison between moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water - an alternative sustainable solution for developing countries.** Physics and chemistry of the earth, v.35, p.798-805, 2010

PROSAB - Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários (coletânea de trabalhos técnicos) / Armando Borges de Castilhos Junior, Lisete Celina Lange, Luciana Paulo Gomes, Neide Pessin (organizadores). Rio de Janeiro: abes, 494 p. 2006.

RAMACHANDRAN, C.; PETER, K. V.; GOPALAKRISHNAN, P. K. **DRUMSTICK (Moringa oleifera) a multipurpose indian vegetable.** Economy botany, v.34, p.276-283, 1980.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORRN, S. E **Biologia Vegetal.** 5ª ed. Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, 2007.

REDA, S. Y.; CARNEIRO, P. I. B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista analytica**, N.27, P.60-67, 2007.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN. P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials** **2008**.

RUIZ, R. B.; ODIO, R. M. R. ; CARRIÓN, M. E. B. **MORINGA OLEIFERA: una opción saludable para el bienestar moringa oleifera: a healthy option for the well-being medisan**, v.16, n.10, p.1596, 2012.

RURAL BIOENERGIA. Disponível em: < <http://www.ruralbioenergia.com.br/default.asp?tipo=1;secao=Moringa.asp> >. Acesso: 17 julho.2017.

SANTOS, A.F.M.S., Caracterização, avaliação da biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia e tratamento em reator UASB do chorume do aterro da Muribeca. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003

SANTOS, HÉLIO R. DOS. Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação. 2006. 309f. Tese (Doutorado em hidráulica e saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Sarlos, 2006.

SANTOS, FELIPE SOMBRA . **Obtenção de nanopartículas de ferro de valência zero suportadas em material sólido para aplicação em processos oxidativos avançados** / Felipe sombra dos santos. -- Rio de Janeiro, 2017.

SINGH, S.K., TOWNSEND, T.G., MAZYCK, D., BOYER, T.H., **Equilibrium and intraparticle diffusion of stabilized landfill leachate onto micro- and mesoporous activated carbon**. Water research. V. 46, p. 491–499, 2012b.

SILVAL, S.W. Fotoeletrooxidação na degradação de nonilfenol etoxilado em águas residuárias. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Porto Alegre, 2013.

SUTHERLAND, J. P., FOLKARD, G. K.; GRANT, W. D. **Natural coagulants for appropriate water treatment: a novel approach**. Waterlines, Santa Fé, nm, v. 8, n. 4, p. 30-32, a. 1990

SILVA, A. R.; KERR, W. E. **MORINGA: uma nova hortaliça para o Brasil**. Uberlândia: UFU/DIRIU, 1999, 95 P.

SESSITSCH, A. *et al.* The role of plant-associated bacteria in the mobilization and phytoextraction of trace elements in contaminated soils. Soil Biology and Biochemistry, [s.l.], v. 60, p.182-194, maio 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.01.012. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0038071713000230?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 20 julho. 2017.

SOUZA, V. C., LORENZI, H. **BOTÂNICA SISTEMÁTICA: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil**, baseado em apg ii. 2 ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, Brasil. 2008. 704 p.

SCHWARZ, DISHNA. **Water clarification using moringa oleifera**. Eschborn: gate information service, 2000.

SHARMA, P.; KUMARI, P.; SRIVASTAVA, M. M.; SRIVASTAVA, S. **Removal of cadmium from aqueous system by shelled *Moringa Oleifera Lam.* Seed powder**. Bioresource technology, v. 97, P. 299-305, 2006.

SARGENTINI E. C. P.; SARGENTINI JUNIOR, E. Moringa, uma alternativa na descoloração de águas escuras para o consumo humano. O quintal da floresta. **Revista ciência para todos**, MANAUS - AM, P.10–14, 20 JUN. 2011.

TAVARES, S. R. DE L. Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos. 2009. 415 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TANG, W. Z., SINGH, S. K. **Statistical analysis of optimum fenton oxidation conditions for landfill leachate treatment.** Waste management, department of civil and environmental engineering, Florida International University, v. 33, p.81–88, 2013.

THEODORO, JOSEANE. D. Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano. 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, Área de Desenvolvimento de Processos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. **Integrated solid waste management** – Engineering principles and management issues. IRWIN/MCGRAWHILL, USA, 1993

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; stensel, h. D. **Wasterwater engineering, treatment and reuse.** 4 ed. New York: MCGRAW-HILL, 2004.

U.S. Environmental Protection Agency, EPA, a Food and Drug Administration, FDA e pela Organization for Economic Cooperation and Development. Web site: <http://www.epa.gov/pesticides/tolerance/reassessment.htm>. Acesso em agosto de 2014.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor de sementes.** Jaboticabal: FUNEP, de. 1994.

YERUSHALMI, L. ROCHELEAU, S. CIMPOIA, R. SARRAZIN, M. SUNAHARA, G. PEISAJOVICH, A. LECLAIR, G. GUIOT, S.R. Enhanced biodegradation of petroleum hydrocarbons in contaminated soil. **Bioremediation Journal**, v. 7, p. 3751, 2003.

YUE, B.; CHEN, T.B.; GAO, D.; ZHENG, G.D.; LIU, B.; LEE, D.J. **Pile settlement and volume reduction measurement during forced–aeration static composting.** Bioresource Technology, v. 99, p. 7450-7457, 2008.

Zorayde L. Oliveira, José F.Nascimento Júnior, Sílvio R. M. Ferreira, Marília R. C. C. Lyra Encontro Nacional da Moringa (ENAM) 2016-2016 - Congresso em Novembro 2016-VI ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA COMPLEXO MULTIEVENTOS DA UNIVASF - AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA *Moringa Oleifera Lam* PARA FITORREMEDIAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS apresentado na forma de miniconferência no VI Encontro Nacional de Moringa (ENAM) conferência novembro de 2016 no Complexo Multieventos da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), em Juazeiro/BA,.2016

APÊNDICE A – Certificado de trabalho apresentado no VI ENAM 2016

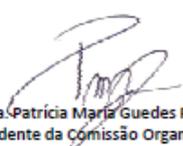
VI ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA

COMPLEXO MULTIEVENTOS DA UNIVASF

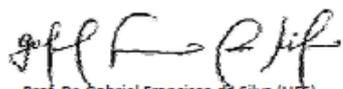


CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho **AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA *Moringa oleifera* LAM. PARA FITORREMEDIAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS** de autoria de Zorayde L. Oliveira, José F. Nascimento Júnior, Sílvio R. M. Ferreira, Marília R. C. C. Lyra foi apresentado na forma de mini-conferência no VI Encontro Nacional de Moringa (ENAM 2016), realizado de 16 a 18 de novembro de 2016 no Complexo Multieventos da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), em Juazeiro/BA, Brasil.



Prof. Dra. Patrícia Maria Guedes Paiva (UFPE)
Presidente da Comissão Organizadora



Prof. Dr. Gabriel Francisco da Silva (UFS)
Vice-Presidente da Comissão Organizadora



Prof. Dr. Thiago Henrique Napoleão (UFPE)
Presidente da Comissão Científica

Realização:



Apoio:



APÊNDICE b – Certificado de premiação de melhor trabalho no VI ENAM 2016

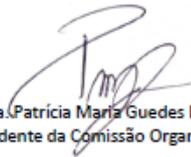
VI ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA

COMPLEXO MULTIEVENTOS DA UNIVASF



CERTIFICADO

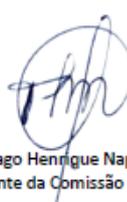
Certificamos que o trabalho **Remoção de coliformes de lixiviado de aterro sanitário utilizando coagulante de moringa**, de autoria Zorayde L. Oliveira, José F. Nascimento Júnior, Sílvio R. M. Ferreira e Marília R. C. C. Lyra, recebeu premiação de melhor trabalho na categoria Pôster da Área "Tratamento de Água e Efluentes" no VI Encontro Nacional de Moringa (ENAM 2016), realizado de 16 a 18 de novembro de 2016 no Complexo Multieventos da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), em Juazeiro/BA, Brasil.



Prof. Dra. Patrícia Maria Guedes Paiva (UFPE)
Presidente da Comissão Organizadora



Prof. Dr. Gabriel Francisco da Silva (UPS)
Vice-Presidente da Comissão Organizadora



Prof. Dr. Thiago Henrique Napoleão (UFPE)
Presidente da Comissão Científica

Realização:



Apoio:



Efficiency in the Treatment of Landfill Leachate Using Natural Coagulants From the Seeds of Moringa Oleifera Lam and Abelmoschus Esculentus (L.) Moench (Okra)

Z. L. Oliveira

*Federal University of Pernambuco
 e-mail: zoraydelourenco@hotmail.com*

M. R. C. C. Lyra

*Federal Institute of Pernambuco
 e-mail:mariliahyra@recife.ifpe.edu.br*

A. C. F. Arruda

*CTR Candeias Landfill
 e-mail: annaclaudia@ctrcandeias.com.br*

A. M. R. B. Silva

*Federal University of Pernambuco
 e-mail:amrbsilva@gmail.com*

J. F. Nascimento

*Federal University of Pernambuco
 e-mail:jose.fnascimentojr@yahoo.com.br,*

S. R. M. Ferreira

*Federal University of Pernambuco
 e-mail: sr.mf@hotmail.com*

ABSTRACT

Landfill leachate is considered to be highly damaging to the environment and to human health. The treatment of leachate is seen as a great challenge, and one of the alternatives for these issues can be the use of the seeds of *Moringa oleifera* Lam as a natural coagulant agent. This research aims to promote the removal of colour, turbidity, conductivity, coliforms, pH, COD, BOD₅ of leachate by coagulation/flocculation/sedimentation/filtration processes using natural coagulants: *Moringa oleifera* Lam and *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Okra), in the pre-treatment of landfill leachate under laboratory conditions. The *Moringa* extracts favours the increase of the COD and BOD₅, with the filtration of the *Moringa* extract (LBMS 37.5 g/L) it presented excellent results in the removal of colour, turbidity, conductivity, solids, COD and BOD₅: 92%, 85%, 64%, 90%, 82% and 89.85%, respectively. The treatment of leachate with Okra (LBQ 37.5 g/L) did not result in change of pH but in the removal of the parameters such as: colour, turbidity, solids, conductivity, COD and BOD₅ (72%, 35%, 87%, 20%, 78% and 72%, respectively). The combination of Okra and *Moringa* (LBEMQ 37gL+20gL) obtained 22%, 78%, 42%, 46%, 52% and 88%, respectively, of removal, with both coagulants being efficient in the removal of the parameters evaluated. The natural coagulant from the seeds of *Moringa oleifera* Lam has however proved to be a promising alternative in the treatment of leachate.

KEYWORDS: *Moringa*, Okra, Leachate, treatment, Natural Coagulants.