

UNIFENAS

UNIVERSIDADE JOSÉ DO ROSÁRIO VELLANO
ROSANGELA ZAMPERO

**TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO DA INDÚSTRIA DE VIDROS
COM SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA***

ALFENAS/MG

2011

UNIFENAS

UNIVERSIDADE JOSÉ DO ROSÁRIO VELLANO
ROSANGELA ZAMPERO

**TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO DA INDÚSTRIA DE VIDROS
COM SEMENTE DE *MORINGA OLEIFERA***

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária, da Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Rodrigues da Cunha Neto

ALFENAS/MG

2011

Zampero, Rosangela

Uso da Semente de *Moringa oleifera* no tratamento do efluente líquido da indústria de vidros/. Rosangela Zampero. Alfenas: Unifenas, 2011.

51f.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Rodrigues da Cunha Neto
Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária) _ Universidade José do Rosário Vellano.

1.Efluente industrial 2. Biopolímeros naturais
3. Coagulante natural I.Título

CDU: 582.683.4 (043)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, os mais profundos agradecimentos por suas sábias lições de esperança; sempre repetindo palavras essenciais – como, por exemplo, amor, crença, compreensão, alegria – infundiram-me a confiança necessária para realizar os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por todas as oportunidades que me proporciona sempre.

Aos meus pais Angelo e Maria Cezar Zampero, *em memória*, que me ensinaram que a vida é uma grande escola e que somos eternos alunos.

Ao meu querido Marcelo e eterno companheiro de todas as horas, pelo incentivo, pela paciência, e pelo carinho nas horas mais difíceis da minha vida.

Aos meus irmãos e sobrinhos pela alegria contagiante e apoio de todos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Rodrigues da Cunha Neto pela confiança e apoio para realização de projeto.

Ao mestre Prof. Eduardo Luis Tanuri pelo apoio no laboratório, dedicação para realização dos experimentos, minha eterna gratidão.

À Prof^a. Roberta Bessa pelo apoio e orientação.

Ao Prof. Dr. Mário Dantas pela amizade e apoio na minha formação.

Ao Sr. Tonhão pela disponibilidade das sementes de Moringa.

Aos meus colegas do grupo de estudo Fabíola Nogueira, Paulo Henrique pelo confiança e dedicação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

Zampero, Rosangela. **Tratamento de efluente líquido da indústria de vidros com semente de moringa oleífera**. 2011. 50f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária). Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, 2011.

O uso de biopolímeros extraídos de vegetais no processo de coagulação tem várias vantagens em comparação com os sais químicos. Dentre as vantagens, destaca-se o baixo custo e o fato que não existe variação na natureza da alcalinidade da água no processo, pois o lodo gerado após tratamento apresenta menor volume quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos. O estudo dos efluentes líquidos gerados na indústria de têmpera de vidros chamou a atenção pelo alto índice de lodos residuais. Este efluente é a grande preocupação quanto ao seu descarte ou reuso. Neste caso, o processo de têmpera estudado utiliza 110 mil litros de água por mês, que gera 40 ton./mês de efluentes sólidos e conseqüentemente grande volume de efluente líquido. No decorrer do estudo objetivou-se verificar o comportamento das sementes de *Moringa oleifera* como coagulante natural no efluente líquido da indústria de vidros e reuso da água no processo.

Palavras-Chave: coagulante natural; efluente industrial; biopolímero natural

ABSTRACT

Zampero, Rosangela. **Wastewater treatment of the glass industry with *Moringa oleifera* seed**. In 2011. 50f. Dissertation (M.Sc. in Agricultural Production Systems). José do Rosário Vellano University, Alfenas, 2011.

The use of biopolymers extracted from plants in the clotting process has several advantages compared with chemical salts. Among the advantages: low cost and variation in the nature of the alkalinity of the water in the process, because the sludge generated after treatment has lower volume compared with the sludge generated with the use of chemical constituents. The specific study of wastewater generated in the industry of glass quenching calls attention to the high rate of waste sludge. The effluent is a major concern regarding the disposal or reuse. In this case, the hardening process studied uses 110,000 liters of water per month, which generates 40 tons / month of solid waste and consequently large volumes of wastewater. During the study the objective was to check the behavior of *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant in the effluent liquid from the glass industry and water reuse in the process.

Key-words: Natural coagulant. *Moringa oleifera*. Industrial effluent.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 folhas (A), flores (B), vagens(C) e sementes (D) de <i>Moringa oleifera</i>	21
FIGURA 2 e 3 Semente de <i>Moringa</i>	22
FIGURA 4 Estrutura de glicosinolato presente na semente de <i>Moringa</i>	28
FIGURA 5 Tanque com efluente líquido para reuso.....	31
FIGURA 6 Sementes de <i>Moringa</i> trituradas.....	32
FIGURA 7 Jarro teste com efluente líquido e sementes de <i>Moringa</i> triturada.....	32
FIGURA 8 Efluente líquido.....	34
FIGURA 9 Resíduo sólido.....	34
FIGURA 10 Tanque de recirculação.....	36
FIGURA 11 Bombeamento para recirculação.....	36
FIGURA 12 Concentração de <i>Moringa</i> , em gramas, de acordo com os valores de pH em relação à turbidez.....	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Matérias-primas “sodo-cálcicas” presentes na crosta terrestre e nos vidros...	15
TABELA 2 - Composição química das sementes de <i>Moringa</i>	28
TABELA 3 - Características do efluente utilizado nos ensaios antes da coagulação.....	37
TABELA 4 - Análise da turbidez em relação às concentrações de semente de MO.....	38
TABELA 5 - Média e desvio padrão da turbidez de acordo com as concentrações de <i>Moringa</i> e dos valores de pH.....	40
TABELA 6 - Análise da amostra seis com 3 g de <i>Moringa</i>	40

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO	iii
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Caracterização de efluente líquido e sólido	13
2.2 Caracterização do vidro	14
2.3 Coagulação	16
2.4 Caracterização do coagulante natural.....	18
2.4.1 Polímeros naturais usados no tratamento de água	18
2.4.2 Informações botânicas da <i>Moringa oleifera</i> Lam	20
2.4.3 Aplicações e usos da <i>Moringa oleifera</i>	21
2.4.4 Mecanismo de coagulação/floculação de semente de <i>Moringa oleifera</i>	26
2.4.5 As possíveis substâncias coagulantes encontradas na semente da <i>Moringa oleifera</i>	27
2.4.6 Viabilidade- A utilização social e comercial da <i>Moringa</i>	29
2.4.7 Outros usos.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Descrição da proposta técnica.....	31
3.2 Preparo da amostragem para os testes de coagulação.....	32
3.3 Análises realizadas.....	33
3.4 Caracterização do efluente líquido e sólido.....	33
3.5 Efluentes líquidos de origem industrial.....	34
3.6 Uso da água no processo industrial.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5 CONCLUSÕES	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A *Moringa oleifera* Lamark é uma planta perene, da família Moringaceae, originária do Norte da Índia. Hoje é amplamente cultivada na Ásia, África e América latina. Adapta-se muito bem às zonas tropicais e subtropicais, propagando-se facilmente através da semente e estacas (KARAD *et al.*, 2006).

Por ser uma planta multifuncional, a *Moringa* é utilizada para vários fins: alimentícios e nutricionais, medicinais, produção de óleo, purificação de água e muito promissora para tratamento de efluentes líquidos industriais. Também é matéria prima para a produção de sabão e de biocombustíveis.

Devido aos inconvenientes do uso de coagulantes químicos no processo de coagulação, como a geração de um lodo químico não biodegradável, pesquisas têm apontado o uso de biopolímeros no tratamento de diversos tipos de efluentes.

Pesquisas sobre o uso de novas fontes, especialmente de origem vegetal para essa finalidade, têm se aprofundado com a geração de novos conhecimentos, tendo a finalidade de trazer melhoria na qualidade da água a ser servida tanto para consumo quanto para uso na agricultura e outras atividades. Logo, a busca por soluções simples, de baixo custo e mais compatíveis ambientalmente no tratamento de águas residuárias se faz necessária. Uma alternativa para o pós-tratamento de efluentes é o uso da semente da *Moringa oleifera* como coagulante natural (Feagri/Unicamp, 2003 – 2004).

No Brasil, a legislação federal Resolução nº 357, de 17/03/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 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. O Artigo 24 estabelece que o descarte de efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderá ser feito, direta ou indiretamente nos corpos de água, após o devido

tratamento, e desde que obedecem as condições padrões e exigências dispostas nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

A reutilização de efluentes implica uma menor necessidade de captação dos recursos hídricos naturais, constituindo-se, portanto, em uma estratégia eficaz para a conservação dos mananciais em seus aspectos qualitativos e quantitativos. Desta forma, aumenta a disponibilidade hídrica das regiões onde a água é escassa, além de contribuir para equacionar a disputa pelo uso de águas primárias, quando ela existe.

Os processos industriais de coagulação e floculação resultam na clarificação das águas pelo arraste do material finamente dividido em suspensão por agentes coagulantes. Apesar da possibilidade de coagulação e floculação somente com os sais de alumínio ou ferro, existem casos em que é necessário o uso de auxiliares de coagulação e floculação, os chamados polieletrólitos, que podem ser sintéticos ou naturais (BARROS, 2002, p. 736).

Os coagulantes e floculantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos coagulantes químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004 apud CARVALHO, 2008, p. 23).

Segundo Santana (2009), a utilização do agente coagulante *Moringa oleifera* apresentou resultados muito significativos como coagulante natural, podendo ser considerada como uma técnica alternativa para o tratamento de água produzida. A proteína encontrada nas sementes de moringa é de aproximadamente 40 %, sendo o composto de maior importância no processo de clarificação da água.

Dentre as vantagens, destaca-se o baixo custo e o fato de que não existe variação na natureza da alcalinidade da água no processo, pois o lodo gerado após

tratamento apresenta menor volume quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos.

O estudo específico dos efluentes líquidos gerados na indústria de têmpera de vidros chamou a atenção pelo alto índice de lodos residuais, sendo a grande preocupação quanto ao seu descarte ou reuso.

Neste caso, o processo de têmpera estudado utiliza 110 mil litros de água por mês, que gera 40 ton./mês de efluentes sólidos e, conseqüentemente, grande volume de efluente líquido.

O presente trabalho teve como objetivo verificar o comportamento das sementes de *Moringa* como coagulante natural na remoção de cor e turbidez do efluente líquido da indústria de vidros e reuso da água no processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTE LÍQUIDO E SÓLIDO

Os resíduos líquidos conhecidos também como efluentes são gerados de diversas maneiras e a partir de diversos pontos, devendo ser canalizados ou encaminhados através de tubulações para diversos tanques, evitando-se misturas desfavoráveis ao seu tratamento posterior, especialmente no que se refere a contaminações com óleo, complexantes e solventes. É importante sua definição quanto aos descartes, tanto no que se refere às lavagens quanto aos banhos concentrados (GONZALES E ROBERTI JUNIOR, 2010)

Os efluentes líquidos gerados pelas indústrias normalmente são tratados por processos físico-químicos e biológicos convencionais (coagulação química e lodos ativados), os quais apresentam bons resultados na redução carbonácea, mas têm

como inconveniente a alta produção de lodo e a pouca remoção de cor e turbidez (HASSEMER E SENS, 2002).

As empresas geradoras de resíduos sólidos têm sido pressionadas a desenvolver novas formas de utilização dos resíduos, pois os tratamentos e disposições convencionais, como aterros e incineradores, mostram-se onerosos e problemáticos, considerando as restrições impostas aos aterros e considerando o complexo processo de licenciamento dessas destinações (ALVES, 2001).

Segundo ALVES (2001), emprego de produtos ácidos na indústria química é muito comum. Quando estes são empregados em excesso para deslocar o equilíbrio da reação, o composto ácido restante acaba indo parar na corrente de efluente líquido, muitas vezes impedindo seu lançamento no corpo d'água ou nas redes coletoras de esgoto sem tratamento prévio. Normalmente emprega-se a soda cáustica ou a cal para neutralização de efluentes industriais. A soda cáustica é mais cara que a cal, e embora seja utilizada em menor quantidade, o custo final de neutralização do efluente acaba sendo maior. A cal apresenta bons resultados na elevação do pH em diversos efluentes ácidos, porém, ela gera um volume de lodo bem maior que a soda cáustica.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO VIDRO

Vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, ou seja, não há nenhuma ordenação espacial (segundo sua estrutura). Este pode ser rígido, porém não possui a estrutura de uma substância sólida. É obtido através do resfriamento de uma massa líquida que tem por base a sílica ou óxido de silício. Quimicamente o vidro é constituído por uma mistura de silicatos obtidos por fusão, tendo como elemento constituinte principal a sílica ou o óxido de silício. O pó de vidro é um

resíduo industrial inerte, mas, se levado aos rios, pode aumentar o pH e a turbidez das águas (ABIVIDRO, 2009).

A especificação das matérias-primas para a fabricação do vidro vem de encontro da composição química muito parecida com a da crosta terrestre. O vidro é composto por areia, calcário, barrilha, alumina e corantes ou descorantes, como mostra a TABELA 1, segundo a ABIVIDRO (2009):

TABELA 1- Matérias-primas “sodo-cálcicas” presentes na crosta terrestre e nos vidros comuns:

Óxido	% na crosta terrestre	% nos vidros comuns
SiO ₂ (sílica)	60	74
Al ₂ O ₃ (alumina)	15	2
Fe ₂ O ₃ (Óxido de Ferro)	7	0,1
CaO (cálcio)	5	9
MgO (magnésio)	3	2
Na ₂ O (sódio)	4	12
K ₂ O (potássio)	3	1

A têmpera é a criação de tensão de compressão em toda a superfície da peça, o que dificulta a penetração da trinca e sua propagação. Para que a trinca se propague é necessária uma tensão de tração e um defeito que provoque a concentração de tensão. O vidro temperado tem compressão na superfície, portanto, mesmo com defeitos (até certa magnitude), não há tração para que eles cresçam. A região interna do vidro fica em tração, porém lá não há núcleos de trincas.

No processo de beneficiamento de vidro, 50 % do uso da água são atribuídos ao processo de lavagem das peças e aos processos de corte e lapidação. A reutilização da água é realizada em torno de 90% considerando as perdas em pelo menos uma etapa do processo produtivo. Durante o corte e a lapidação é necessária a utilização de água como lubrificante e agente resfriador dos desbastadores.

2.3 COAGULAÇÃO

Em estações de tratamento de água, convencionalmente ocorre agitação da água, seguida pela adição de coagulantes para reduzir a força repulsiva entre as partículas, aumentando a colisão dessas e a formação de flocos (MCCONHACHIE *et al.*, 1999).

O coagulante tem um papel chave nesse processo. Coagulação/floculação é um processo comum no tratamento da água, o qual desestabiliza os materiais em suspensão e dissolvidos, seguido por agregação em grandes flocos que são facilmente separados da água por subseqüentes processos de sedimentação e filtração (CHEN *et al.*, 2006).

A atividade floculante pode ser explicada por diferentes mecanismos. Proteínas catiônicas de alto peso molecular têm sua atividade floculante explicada pelo modelo de formação de pontes (GASSENSCHMIDT *et al.*, 1995). Floculação de partículas negativamente carregadas; resultante de ligações como forças de Coulomb entre macromoléculas carregadas positivamente e neutralização de parte das cargas.

Geralmente, uma pequena parte das macromoléculas liga-se à superfície das partículas, enquanto que a maior parte fica livre para se ligar a outra, e isso leva a aglomeração e formação de flocos. O mecanismo de ligação de cargas pode ser aplicado a proteínas pequenas e básicas como a isolada por GASSENSCHMIDT *et al.* (1995). Devido à colisão de partículas, ocorre saturação interpartículas de setores diferentemente carregados e formação de flocos no local (GASSENSCHMIDT *et al.*, 1995). Após a floculação, ocorre a remoção dos flocos através da sedimentação por gravidade e/ou filtração (TOMASZEWSKA *et al.*, 2004).

Muitos coagulantes são amplamente usados em processos convencionais de tratamento de água para produção de água potável. Esses podem ser tanto coagulantes inorgânicos (sulfato de alumínio e cloreto de polialumínio), polímeros orgânicos sintéticos (derivados de poliacrilamida e polietileno imina) ou coagulantes naturais (quitosana e coagulantes microbianos). Contudo, estudos têm mostrado que o alumínio pode induzir a doença de Alzheimer e que monômeros de alguns polímeros orgânicos sintéticos, como acrilamida, possuem neurotoxicidade e fortes propriedades carcinogênicas (OKUDA *et al.*, 1999).

Polímeros orgânicos são comumente usados como coagulantes no tratamento de água (OZACAR e SENGIL, 2002), possuem alto peso molecular e forte tendência a absorver partículas na superfície da suspensão aquosa. Esses polímeros podem ser classificados em catiônicos, aniônicos ou não iônicos. Polímeros catiônicos são frequentemente usados como coagulantes primários; polímeros aniônicos ou não iônicos são referidos como floculantes.

Polímeros orgânicos sintéticos estão sendo usados como um coagulante efetivo nos sistemas de purificação de água, contudo possuem limitações; suas formulações contêm contaminantes como monômeros residuais e reagem com subprodutos que podem ter um potencial impacto negativo na saúde humana. Também foi observado que esses polímeros, usados como coagulantes, reagiram com cloro e formaram uma grande quantidade de compostos orgânicos voláteis carcinogênicos, como o clorofórmio e o benzeno, e que a quantidade desses subprodutos aumenta com o aumento da turvação da água (LEE *et al.*, 1998).

Coagulantes naturais de origem vegetal foram usados para o tratamento da água antes do advento dos sais químicos, e seu uso foi diminuindo progressivamente (NDABGENGESERE e NARASIAH, 1998).

Recentemente, o interesse por esses coagulantes tem ressurgido devido a serem biodegradáveis e seguros para a saúde humana (OKUDA *et al.*, 2001). Ozacar e Sengil (2002) verificaram que taninos, compostos aromáticos policíclicos de alto peso molecular, encontrados frequentemente em plantas, constituem um eficiente coagulante primário.

Zhang *et al.* (2002) estudaram as propriedades coagulantes do cacto no tratamento da água, e diversos estudos vêm sendo feitos para avaliar a atividade de compostos coagulantes presentes em sementes de *M. oleifera* (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; OKUDA *et al.*, 2001; GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005).

2.4 CARACTERIZAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL

2.4.1 Polímeros naturais usados no tratamento de água

De acordo com Kirchmer, Arboleda e Castro (1975), os polímeros naturais mais usados são os amidos e, no Brasil, de acordo com Di Bernardo (2005), em primeiro lugar os amidos de batata e depois os amidos de mandioca e de milho.

Para Salessa Silva (1999), os taninos podem ser usados como auxiliares de coagulação e floculação, bem como coagulantes, como a *Moringa*, de acordo com Borba (2001), apesar de que, de acordo com este autor a dosagem deste polímero como coagulante é muito elevada, com baixa eficiência em relação ao coagulante metálico.

A quitosana, que é extraída da carapaça de frutos do mar (camarão e lagostas) é outro polímero orgânico natural, usado como auxiliar de floculação (PAWLOWSKI; RODRIGUES, 2003). O tanino extraído da acácia negra, de acordo com Salessa Silva (1999), tem sido usado em muitas estações de tratamento de água e esgoto, com nomes comerciais como Tanac e Tanfloc. O extrato de cactos,

de acordo com Dopuri (2004), e da babosa, conforme Hespanhol (1982) foram usados em aplicações restritas.

Tem-se verificado também, em muitos lugares, a utilização de plantas como coagulantes naturais de águas com alta turbidez ou coloridas que se destinam ao consumo humano, entre elas, a mutamba ou chico-magro (*Guazuma ulmifolia*) usada na forma de chá da casca do caule, e o cacau (*Theobroma cacao*), usado na forma de pó da casca (ABREU DE LIMA *et al.*, 1996).

Todos os auxiliares de floculação são usados em conjunto com coagulante metálico. A moringa (estudada na década de 80 na Alemanha e na Inglaterra), de acordo com Borba (2001), tem sido usada como coagulante e auxiliar, com aplicação em países da África, mas os estudos iniciais foram feitos na Alemanha e Inglaterra. Os polímeros sintéticos aniônicos e não iônicos também são usados como auxiliares de floculação, filtração e no condicionamento do lodo. Dentre os diversos polímeros naturais usados como auxiliares de floculação, verifica-se também o emprego de algumas plantas, tais como o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), usado na forma da mucilagem extraída da vagem (baba de quiabo), ou na forma de solução feita a partir do pó seco da vagem pulverizada, a mutamba ou “chico magro” (*Guazuma ulmifolia*), usada também na forma de solução da casca, do caule e do fruto, além do cacau (*Theobroma cacao*), usado na forma e solução do pó da casca.

Todos estes produtos são usados como auxiliares de floculação (floculantes), com exceção do tanino e da moringa, também usada como coagulante primário ou secundário. O mecanismo de coagulação deste composto orgânico é semelhante ao dos polieletrólitos enquanto coagulantes, com diferença no peso molecular, que, nestes, é maior que nos produtos naturais, pois têm maiores cadeias carbônicas, dotadas de sítios com pontos positivos ou negativos, podendo, na presença da

água, se transformarem em coagulantes catiônicos ou aniônicos, dependendo do saldo das cargas elétricas, se positivo ou negativo.

2.4.2 Informações botânicas da *Moringa oleífera* Lam

Moringa oleífera Lamarck, planta pertencente à família das Moringaceae e nativa da Índia e amplamente cultivada nos trópicos de todo o mundo (KARADI *et al.*, 2006). Cresce rapidamente, sendo capaz de sobreviver em solos pobres, requerendo o mínimo de atenção, e em longos períodos de seca (MCCONNACHIE *et al.*, 1999).

A moringa é uma espécie de crescimento rápido, alcançando até 12 metros de altura. A produção de sementes ocorre durante todo o ano, e um hectare plantado gera 3.000 kg de sementes, capaz de tratar 30 milhões de litros de água ou efluentes com turbidez acima de 100 UNT (unidade nefelométrica de turbidez). Os taninos vegetais, constituídos por polifenóis, presentes na semente da planta, são responsáveis pela coagulação e sedimentação dos contaminantes. Tais compostos são produzidos pelas plantas superiores e reconhecidos pela coloração escura das folhas quando esmagadas, e por seu sabor adstringente (KUMARI *et al.*, 2006).

A moringa cresce melhor em solos neutros a ligeiramente ácidos (5-9 pH), bem drenados. Ela adapta-se a áreas semiáridas e arenosas. Para a obtenção de folhas, vagens e sementes, as plantas são postas a distâncias de 3 a 5m. Em agro silvicultura, as árvores são colocadas de 10-10 m entre as linhas e 2-3 m entre as plantas (PALADA& CHANG, 2005).

As arvores de moringa podem alcançar 4 m de altura, gerando flores e frutos em um ano; múltiplas colheitas de sementes são possíveis em muitas partes do

mundo (MCCONNACHIE *et al.*, 1999). Possui significativa importância econômica na indústria e medicina (MAKKAR e BECKER, 1996).

Na região do Nordeste Brasileiro a *Moringa oleifera* é conhecida como “Lírio Branco”. Outro nome popular dessa planta no Brasil é “quiabo de quina” (Okuda *et al.*, 1999).

A moringa é uma planta arbórea, com folhas opostas compostas, flores brancas perfumadas, longas vagens verdes e sementes aladas, como mostra a FIGURA1.



FIGURA 1: Folhas (A), flores (B), vagens (C) e sementes (D) de *M. oleifera* (Fonte: LUZ, 2009)

2.4.3 Aplicações e usos da *Moringa oleifera*.

As sementes maduras são utilizadas para vários fins, tais como sementeiras, purificação de água, extração de óleo, produção de biodiesel, etc. Para a sua conservação, colhem-se as vagens secas antes de se abrirem e as sementes caírem no chão. As sementes podem ser armazenadas em sacos ou frascos, em locais secos, bem arejados e frescos e por não mais de dois anos (ECHO, 1996).

As sementes de moringa são aproveitadas para extração de óleo e fabricação de cosméticos. As folhas são utilizadas como suprimento alimentar para crianças desnutridas e pessoas debilitadas, pois apresentam sete vezes mais vitamina C que a laranja, três vezes mais potássio que a banana, e quatro vezes mais cálcio e vitamina A que o leite e a cenoura, além de possuírem 27% de proteína (AMAYA *et al.*, 1992).



FIGURA 2 – Semente de moringa

Fonte: SOUSA, 2007



FIGURA 3 – Semente de moringa

Fonte: SOUSA, 2007

O uso da semente no tratamento de água em larga escala é praticado em Malawi, na África, e em escala domiciliar no Sudão e Indonésia. Recomenda-se a adição de 2,0 (dois) gramas de sementes trituradas de Moringa para cada 20 litros de água contaminada. A água deve ser agitada rapidamente a cada dois minutos e após, lentamente, a cada 10-15 minutos. Após uma hora, observa-se a remoção de 99% das bactérias intestinais presentes na água (FOLKARD & SUTHERLAND, 2004). Estudos recentes revelam a remoção eficaz de metais pesados de águas tratadas com sementes de moringa (KUMARI *et al.*, 2006), indicando o potencial da semente para estudos de remediação de águas e efluentes contaminados.

Sementes foram examinadas e apresentaram atividade hipotensiva (FAIZI *et al.*, 1998), antimicrobiana (GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005, SPILIOTIS *et al.*, 1998), antitumoral (GUEVARA *et al.*, 1999), atividade antifúngica *in vivo* contra dermatófitos (CHUANG *et al.*, 2007) e antioxidante (SANTOS *et al.*, 2005). As sementes protegem animais contra o estresse oxidativo induzido pelo arsênico da biosfera,

presente na água de beber e inalado e absorvido através da pele (GUPTA *et al.*, 2005), além de removerem esse composto da água (KUMARI *et al.*, 2006). SHARMA *et al.* (2006) estudaram a remoção do cádmio da água pelo processo de bio sorção com as sementes descascadas, sendo uma tecnologia barata e segura para o meio ambiente. As sementes também são utilizadas para extração de óleo (ABDULKARIM *et al.*, 2005) e podem ser usadas no tratamento de água para uso doméstico (SULEYMAN e EVISON, 1995).

SANTOS *et al.* (2005) observaram que uma lectina solúvel em água está presente em sementes desta planta.

OKUDA *et al.* (1999) verificaram que as sementes de moringa possuem um coagulante extraído com NaCl 1 M, com capacidade de coagulação 7,4 vezes maior do que o extraído em água. OKUDA *et al.* (2001) isolaram outro componente com propriedades coagulantes, que não foi detectado por métodos que quantificam proteínas, nem por análises para polissacarídeos e lipídeos; o pH ótimo para coagulação foi maior ou igual a 8 e após a coagulação, a concentração de carbono orgânico residual não aumentou. Foi definido que o coagulante é um polieletrólito orgânico de peso molecular de 3.000 daltons.

Gassenschmidt *et al.* (1995) utilizaram sementes de moringa trituradas e desengorduradas e obtiveram, a partir de extrato, em tampão fosfato, 3 frações contendo atividade floculante. Uma proteína caracterizada como sendo uma molécula catiônica de massa molecular 6.500 daltons foi isolada de uma das frações. A comparação da estrutura primária com sequência de proteínas conhecidas não revelou significativa homologia. A atividade floculante da proteína foi similar à atividade de um polímero sintético catiônico.

Experimentos de coagulação com proteínas purificadas das sementes (NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998) revelaram que a dosagem ótima foi 0,5 a 1 mg/L e que a proteína foi totalmente solúvel em água; como coagulante, *M. oleifera* pode ser um substituto em potencial para o alumínio (NDABIGENSERE *et al.*, 1995).

Adicionalmente, os resultados obtidos por Ghebermichael *et al.* (2005) confirmaram que proteínas são os principais componentes ativos em extratos de sementes.

Katayon *et al.* (2006) observaram que as sementes de moringa possuem potenciais coagulantes e podem ser usadas principalmente em águas com elevada turbidez e que a atividade coagulante tem o seu efeito diminuído com o aumento do tempo de estocagem das sementes.

Na indústria em geral há uma demanda muito grande por água de boa qualidade e grande parte do referido volume será eliminado para corpos receptores, com uma alta carga de matéria orgânica e sólidos, motivo pelo qual águas residuárias geradas em todos os processos industriais devem passar por um tratamento específico.

Para a clarificação da água, a aplicabilidade da *Moringa oleifera* tem sido objeto de estudo de vários cientistas: Muyibi & Evison (1995a, b), Ndabigengesere *et al.* (1995).

As descobertas recentes do uso de sementes trituradas de moringa para o tratamento de água a um custo de apenas uma fração do tratamento químico convencional constituem uma alternativa de mais alta importância.

Em recentes pesquisas Amagloh & Benang (2009) afirmam que as sementes de moringa contêm proteínas com baixo peso molecular, e quando seu pó é

solubilizado em água adquire cargas positivas que atrai partículas negativamente carregadas, tais como argilas e siltes, formando flocos densos que sedimentam.

Os autores afirmam ainda que o coagulante à base de sementes de moringa, por ser de origem natural, possui significativa vantagem quando comparado ao coagulante químico sulfato de alumínio, por não ser tóxico e de fácil decantação.

De acordo com Jahn *et al.*, (1986), as sementes possuem polissacarídeos com forte poder aglutinante, o que permite o uso das sementes pulverizadas no tratamento da água por floculação e sedimentação.

Em um estudo realizado em Malawi, na África, foi constatado que enquanto o alumínio é um eficiente coagulante apenas em uma faixa restrita de pH, a moringa se mostrou eficiente em uma faixa maior, o que é mais uma vantagem em países em desenvolvimento onde nem sempre é possível fazer a correção do pH antes do tratamento (RANGEL, 2009).

A estabilização entérica é típica dos polímeros naturais ou sintéticos, que são compostos orgânicos ou inorgânicos formados de grandes cadeias moleculares que apresentam pontos positivos ou negativos.

São conhecidos na literatura do tratamento de água como polieletrólitos. Os polieletrólitos catiônicos, quando adicionados à água como coagulantes, se adsorvem e formam espécies hidrolizadas com cargas positivas, que, por atração eletrostática, se neutralizam com as partículas das impurezas da água, que apresentam cargas negativas, formando flocos que tendem a decantar no fundo do recipiente que os contém (DI BERNARDO, 1993).

2.4.4 Mecanismo de coagulação/floculação de semente da *Moringa oleifera*

O mecanismo da coagulação/floculação de uma água, provocado pela proteína existente na polpa da moringa, se assemelha ao mecanismo da coagulação/floculação provocado pelos polieletrólitos, que são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou natural (DAVINO, 1976).

Neste contexto, os coagulantes naturais apresentam-se como uma alternativa viável, destacando-se a semente da moringa, já que vários estudos laboratoriais desta última, com águas brutas com elevada turbidez, têm mostrado que suas sementes possuem propriedades coagulantes efetivas e que elas não são tóxicas a humanos e animais (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; MUYIBI & EVISON, 1995), sendo bastante eficientes não somente na remoção de turbidez e microrganismos, como também no condicionamento do lodo (MUYIBI & EVISON, 1995).

Os polieletrólitos são compostos orgânicos ou inorgânicos naturais ou sintéticos, caracterizados como compostos químicos polimerizados, que apresentam grandes cadeias carbônicas constituídas de unidades que se repetem, formando macromoléculas, com pesos moleculares que variam entre 5.000 a 10.000.000 de unidades, cujas cadeias carbônicas apresentam alguns pontos (sítios) com deficiência ou excesso de cargas elétricas, ou seja, com pontos positivos ou negativos (DI BERNARDO, 1993).

A capacidade da moringa é de coagular e flocular colóides em águas naturais que apresentam cor e turbidez, que se atribui a uma proteína floculante, isolada pelos pesquisadores Gassenschmidit, Jany, Tauscher, Niebergall, na Alemanha, em 1995, a qual, tem massa molecular da ordem de 150.000 unidades.

As macromoléculas da proteína, como qualquer polieletrólito catiônico, quando colocadas em contato com as impurezas da água, se ionizam formando

entidades hidrolisadas que provocam a desestabilização das partículas do material que está disperso nela, e conseqüentemente, o desequilíbrio eletrocinético da solução, fazendo com que as partículas coagulem / floculem (DAVINO, 1976).

Para aperfeiçoar a coagulação são utilizados agentes auxiliares, materiais tipicamente insolúveis, que são adicionados ao processo de coagulação. Argilas (bentonita, caulinita), silicato de sódio, precipitado puro de carbonato de cálcio, diatomita, carvão ativado em pó (adsorvente), e areia fina são todos usados como auxiliares de coagulação. Estes materiais são adicionados às águas com baixa concentração de partículas para formar núcleos no desenvolvimento de flocos maiores. Estes auxiliares são usados em conjunto com o coagulante inorgânico, polieletrólitos ou ambos. Devido à densidade destas partículas ser maior que a da maioria dos flocos, elas têm velocidade de sedimentação elevada.

2.4.5 As possíveis substâncias coagulantes encontradas na semente da *Moringa Oleífera*.

Testes fitoquímicos e estudos espectrais conduziram à elucidação de um glicosídeo esteroide estrofantina como um agente bioativo na semente (FUGLIE, 2001).

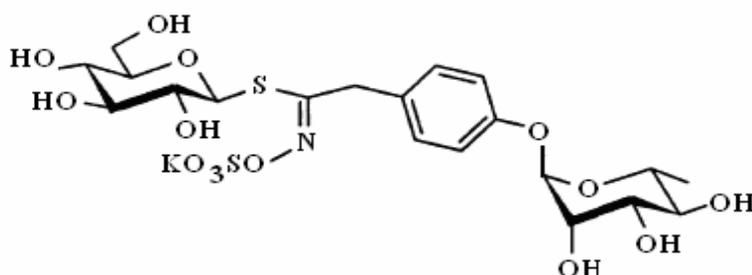
TABELA 2 - Composição química das sementes de Moringa.

Umidade (%)	6,30
Açúcares solúveis (g/100g)	3,14
Oligossacarídeos (g/100g)	3,31
Amido (g/100g)	6,02
Proteínas (g/100g)	39,30
Lipídeos (g/100g)	18,80

(PRICE, 2000)

Em outro estudo, Gueyrard *et al.* (2000) observaram que há mais evidência de que o responsável pela ação coagulante da moringa seja um composto amídico. As sementes de moringa contêm entre 8 e 10% de glucosinolatos, que são uma classe homogênia de combinações de tiossacarídeos naturais. Estes podem ser hidrolisados através da enzima mirosinase e conseqüentemente produzir D-glicose, particularmente isotiocianatos.

Logo abaixo, a FIGURA 4 mostra a estrutura da possível substância coagulante da semente da moringa:

**FIGURA 4:** Estrutura de glucosinolato presente na semente de moringa

Fonte: GUEYRARD *et al.* (2000).

Já o trabalho desenvolvido por Ndabigengesere *et al.* (1995) sugere que a eficiência da coagulação é devida aos componentes de coagulação ativos nas sementes da moringa, as quais eram formadas por estruturas protéicas catiônicas

solúveis, com peso molecular em torno de 13 KDa e pH isoelétrico em torno de 10 e 11. Foram identificados 6 polipeptídios na *M. oleifera*.

Os aminoácidos detectados foram majoritariamente o ácido glutâmico, a prolina, a metionina, e a arginina (Al AZHARIA, 1986).

2.4.6 Viabilidade - A utilidade social e comercial da moringa

Da moringa, as vagens e as sementes, as folhas e as raízes, são as partes mais exploradas comercialmente. As vagens são comercializáveis. Na Índia, quando verdes, as vagens são cortadas em secções, enlatadas e exportadas para outros países asiáticos, Europa e Estados Unidos da América. As sementes, pelas suas potencialidades para a produção de óleo, sabão e biocombustíveis, abrem oportunidades de criação de investimentos agroindustriais.

A existência de pequenas e médias agroindústrias pode incentivar o fomento da moringa ao nível familiar, constituindo deste modo um mercado dos seus produtos. Tal como as folhas, as raízes podem ser processadas e comercializadas para fins nutricionais e/ou medicinais. O fomento da moringa ainda pode incentivar a criação de viveiros e a venda de mudas, criando-se outra fonte de receita para pequenas propriedades rurais.

Portanto, a concepção de projetos relacionados com a produção, processamento e utilização da moringa, desenvolve-se em várias áreas sócioeconômicas. Aumentam-se os rendimentos agropecuários, a nutrição e saúde humana, criam-se novos postos de emprego e fontes de receita.

2.4.7 Outros usos

A árvore é ornamental, florescendo quase o ano todo. Em alguns lugares são usadas como árvore de sombra e para a vedação viva. As flores da moringa também podem ser usadas para decoração e são muito procuradas pelas abelhas para a produção do mel (MOROYI, 2006).

Por ser perene, pode-se dela obter lenha durante o ano todo.

Segundo Castigo (2011), com a divulgação da moringa, enquanto uns despertam o interesse de pesquisar mais sobre as suas utilidades, outros desenvolvem diferentes experiências piloto e demonstrações práticas no campo.

Do ponto de vista ambiental, a moringa já é usada para vários fins. Ela serve de quebra-vento, utiliza-se como fertilizante e biopesticida. Ela constitui uma fonte importante de néctar, permitindo a polinização das plantas. O seu papel ambiental, associado ao uso alimentar, nutricional e medicinal e ao rápido crescimento, mesmo em áreas com solos pobres, torna a moringa uma planta potencial para o reflorestamento/arborização. Deste modo, o seu plantio em programas integrados de gestão dos recursos naturais, tem papel fundamental na prevenção da erosão dos solos, da desertificação e das queimadas descontroladas e na redução do desmatamento (CASTIGO, 2011).

A erosão pode ser prevenida através da utilização da moringa e das suas folhas como coberturas: viva e morta (a cobertura morta refere-se ao material seco de plantas ou ervas daninhas, que, quando espalhado dentre as culturas, tem várias funções). Reduz a radiação do solo, conserva a umidade; conserva o solo da erosão e melhora a sua estrutura. Por se misturar com outros tipos de culturas em sistemas agroflorestais como quebra-vento, a moringa reduz a erosão eólica. Portanto, Castigo (2011) recomenda o uso destas boas práticas, para melhorar os solos. Isto pode ser aproveitado para a facilitação da agricultura sustentável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da proposta técnica

O trabalho foi realizado em bancada no laboratório de Recursos Hídricos e Química da Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, em Alfenas, Minas Gerais. O Município encontra-se situado a 21° 25' 16" de latitude S e 45° 56' 44" de longitude W, a 900m de altitude.

As sementes foram obtidas do norte de Minas Gerais, testadas através de ensaios de coagulação aplicados em amostras de efluente líquido gerado na indústria de beneficiamento de vidros temperados.

A água utilizada no processo produtivo é proveniente do poço tubular devidamente outorgado. Todo o efluente líquido é 100% tratado e reutilizado.

Existe reposição de água no sistema de recirculação de cerca de 10 m³/dia.

No processo de tratamento realizado pela indústria existem dois tanques de equalização e decantação de 15 m³/cada, sendo adicionada cal para floculação do pó de vidro.

A amostra do efluente líquido estudada foi retirada do tanque que recebe água que passou por todo o processo, como mostra a FIGURA 5:



FIGURA 5 - Tanque com efluente líquido

As sementes utilizadas com cascas secas, foram trituradas em um moinho com granulometria *mesh* 5, FIGURA 6:



FIGURA 6 – Sementes Moringa trituradas

Foi utilizado o jarro-teste (teste de coagulação) como principal equipamento, por ser um simulador de tratamento de água, esgoto e efluentes em geral, e os experimentos foram realizados no laboratório, em bancada, com a repetição das três fases consideradas na prática como essenciais na formação da coagulação nas estações de tratamento de água.

3.2. Preparo da amostragem para os testes de coagulação

A FIGURA 7 mostra as sementes misturadas (rotação lenta), a 10 rpm, (rotação rápida), a 95 rpm e tempo de sedimentação de 40 minutos, com temperatura variando $25 \pm 2^\circ \text{C}$.



FIGURA 7- Jarro Teste com o efluente líquido e sementes de moringa trituradas

Foi realizada uma análise exploratória dos dados obtidos para turbidez de acordo com as concentrações (0,50; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50 e 3,00), em gramas, e com os diferentes pH fixados (6,49; 7,24; 7,15; 5,40; 3,65; 6,90), para cada concentração, respectivamente, totalizando seis amostras com 3 repetições.

Características do efluente antes do tratamento com pH inicial = 12,32; turbidez inicial = 444 UTN; e temperatura = 25⁰ C.

3.3 - Análises realizadas

Após o ensaio de coagulação, o jarro-teste foi desligado, e as amostras mantidas em repouso durante 30 minutos. Após esse período foram realizadas as análises físico-químicas, pH, DBO, DBQ e turbidez.

As leituras da turbidez e pH das amostras foram realizadas através do turbidímetro modelo HACH2 100 N e pHgâmetro modelo digital 310 ATT Orion.

Os resultados obtidos de acordo com a análise prévia estão representados por meio do gráfico através do cálculo da média aritmética dos valores obtidos nas análises das amostras.

3.4 - Caracterização do efluente líquido e sólido

As águas que passam pelos processos produtivos ou os efluentes líquidos industriais, que têm origem no corte e lapidação dos vidros, são tratados na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) e são adicionados apenas de Cal.

Os resíduos sólidos da empresa são encaminhados a aterros industriais, devidamente licenciados e disposição final. O esgoto sanitário é tratado por fossas sépticas e filtros anaeróbios.

Do processo é extraído o que chamamos de lodo de ETEI, composto concentrado de carbonatos e sílica.

O processo de têmpera utiliza 110 mil litros de água por mês, que gera 40 ton/mês de efluentes sólidos e conseqüentemente grande volume de efluente líquido como mostram as FIGURA 8 e FIGURA 9:



FIGURA 8 Efluente líquido



FIGURA 9 Resíduo sólido

3.5 - Efluentes líquidos de origem Industrial

No processo produtivo são geradas águas residuárias, provenientes dos setores de lapidação, furações, rasgos, recortes e cavas dos vidros nas respectivas etapas do processo considerada área úmida. Todo o efluente é 100% tratado e recirculado.

Existe reposição de água no sistema de recirculação de cerca de 10 m³/dia. Foi implantada uma nova estação de tratamento de efluentes em dezembro/2008, composta por caixa de recepção primária de 8 m³; dois tanques de equalização e decantação de 15 m³/cada, sendo adicionado 25 Kg/dia de cal para correção de pH; o clarificado é recalado para os tanques aeradores/decantadores de 10 m³/cada, sendo um total de 04 (quatro).

O efluente líquido gerado, após ser tratado, é encaminhado a uma caixa de 10 m³ para reuso no processo produtivo.

O material retido nos dois tanques de equalização e decantação é transferido para outros dois tanques de 10 m³/cada, para adensamento, sendo este, juntamente com o material retido nos quatro aeradores/decantadores (com fundo cônico), direcionados por meio de tubulação, a nove torneiras sob a plataforma do leito de secagem, onde ocorre a desidratação do decantado em *bags*, sendo o percolado retornado aos tanques de equalização.

A duração do processo físico-químico é de 12h e destaca-se que o efluente é todo recirculado, havendo apenas reposição de água em cerca de 10 m³/dia. O decantado removido do processo é composto basicamente por pó de vidro.

3.6 Uso da água no processo industrial

A água utilizada para consumo humano é fornecida pela concessionária local, e pelo poço tubular.

Foi apresentada fatura da concessionária local, com consumo médio de 54 m³/mês de água. O consumo humano foi estimado em 15 m³/dia.

A água utilizada no processo produtivo é proveniente do poço tubular devidamente outorgado, conforme Portaria de outorga N° 964/2005 retificada em 14/05/2008, vazão outorgada de 24,53 m³/h, por um período 20 horas, válida até 14/07/2010, totalizando 490,60 m³/dia. Foi apresentada planilha das medições realizadas no hidrômetro do poço tubular nos meses de dezembro/2008, janeiro e fevereiro/2009, com vazão média de 149 m³/dia.

A reutilização da água é realizada na empresa, em pelo menos uma etapa do processo produtivo.

Durante o corte e a lapidação é necessária à utilização de água como lubrificante e resfriador dos “desbastadores”.

A empresa estudada necessita da água em seu processo produtivo, e o consumo para produção corresponde a aproximadamente 90% do total consumido e reutilizado, sendo os outros 10% utilizados na limpeza do estabelecimento e em sanitários.



FIGURA 10 tanque de recirculação



FIGURA 11: bombeamento para recirculação

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os empreendimentos que utilizam água no processo produtivo, a avaliação do consumo de água foi realizada mensalmente, pela conta, e momentaneamente pela aferição da vazão dos equipamentos. Os valores de vazão de água foram comparados com a natureza do equipamento e com a atividade por ele desenvolvida, a fim de se indicarem meios de reuso de água e comprovar a importância e economia que a empresa vem praticando no processo de fabricação.

De uma maneira geral há várias limitações observadas na empresa. Parte do processo de corte gera uma quantidade grande de pó de vidro que poderia ser reutilizado em várias áreas de processo industrial e agrícola.

Uma observação que se faz necessária é que há possibilidade de melhorias dos sistemas de reuso de água: onde se utiliza cal como corretor de pH ocorre sedimentação e conseqüentemente há formação de lodo em maiores quantidades.

As características do efluente líquido utilizado nos ensaios antes da utilização do coagulante natural estão representadas na TABELA 3.

TABELA 3 - Características do efluente utilizado nos ensaios antes da coagulação.

Parâmetro	Unidade	Valores
Turbidez	NTU	444
Material sedimentar ⁽¹⁾	ml/L	1,8
Bário ⁽²⁾	mg Ba/L	1,47
pH	-----	12,32

⁽¹⁾ De acordo com CONAMA 357 art. 34 o parâmetro permitido $\leq 1,0$ ml/L

⁽²⁾ Segundo a listagem nº 07 da NBR 10004 o limite máximo é 100 mg Ba/L, e limite para detectar é 0,30 mg Ba/L .

De acordo com a pesquisa realizada na indústria sobre a reutilização da água no processo, onde é adicionada a cal (óxido de cálcio), para floculação do pó de vidro, o pH da amostra torna-se alcalino.

Experimentos de coagulação com proteínas purificadas das sementes (NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998) revelaram que a dosagem ótima foi 0,5 a 1 mg/L, e que a proteína foi totalmente solúvel em água; como coagulante, a *M. oleifera* pode ser um substituto em potencial para o alumínio (NDABIGENSERE *et al.*, 1995). Porém, quando se trata de um efluente líquido industrial, no qual a turbidez é relativamente alta e com pH variando de acordo com o uso e reuso de água de processo e adição de cal, pode-se afirmar, através dos experimentos realizados em bancada, que a concentração do coagulante natural, semente de moringa é bem maior, e obtem-se um resíduo maior de material orgânico na formação do lodo. Também pode-se ressaltar que, mesmo com a adição das sementes de moringa e a não adição de cal, obtem-se uma quantidade relativamente menor de lodo.

Foram utilizados 500 ml de amostra do efluente líquido disponibilizado pela empresa de têmpera de vidros e distribuídos em 6 jarros. A TABELA 4, na linha 1, descreve o número de amostras. Na linha 2, temos para cada amostra um valor de pH pré-fixado para cada concentração de sementes de moringa (descritas na linha 3). Após a sedimentação, as amostras ficaram 30 minutos em repouso. Logo após foi realizada a leitura da turbidez de cada amostra como descrito na linha 4.

TABELA 4 - Análise da Turbidez em relação às concentrações de semente de MO

Amostra	1	2	3	4	5	6
pH	6,49	7,24	7,15	5,4	3,65	6,9
M.O	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Turbidez	80,6	86,6	99,9	86,8	45,6	39,7

Foi escolhida a amostra 6 em função de seus melhores resultados para realização do processo físico-químico em bancada. Comparado seu pH com o

realizado no processo industrial (12,33), obteve-se um valor de 8,10 após 12 horas de decantação.

Na sequência das análises observou-se também que a semente de moringa tem resultado efetivo como coagulante em pH abaixo de 8, independente das concentrações adicionadas nas 6 amostras.

Nota-se ainda que, a partir da concentração de 2,5 g de MO (amostras 5 e 6), os resultados de turbidez são significativamente alterados, como se vê na FIG. 12

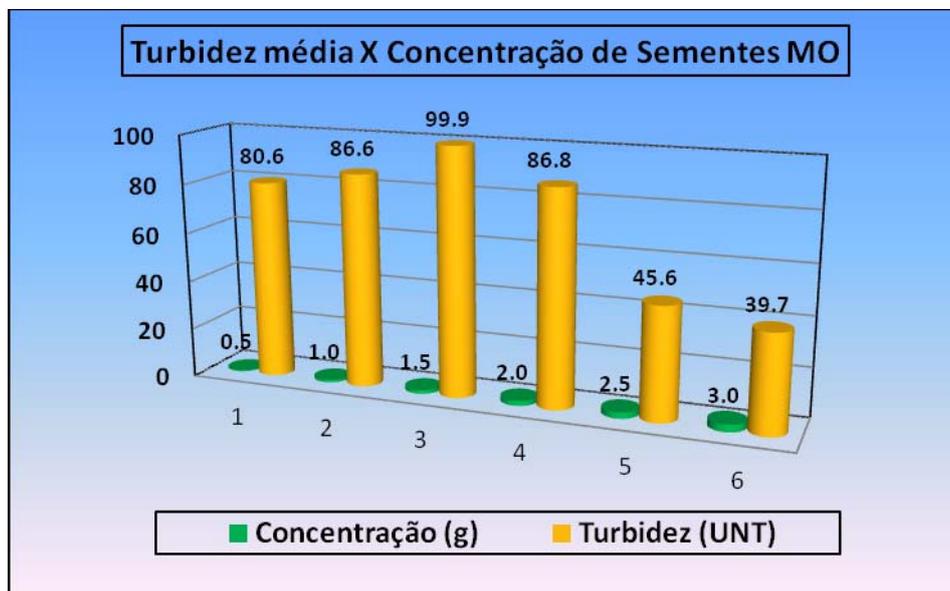


FIGURA 12 - Turbidez média X Concentração de Sementes MO após 30 minutos de repouso.

A variação de pH nas amostras revela que a moringa possibilita a coagulação numa faixa de pH de 3,5 a 7,5, comprovado na leitura da turbidez quando comparadas com a turbidez do processo industrial (444 UTN).

Na TABELA 5 estão apresentadas a média e o desvio padrão da turbidez, de acordo com os resultados da amostra 6.

TABELA 5 - Média e Desvio Padrão da Turbidez de acordo com a amostra 6.

	Média	Desvio Padrão
Turbidez (UNT)	39,7	0,15

Realizou-se uma nova leitura da turbidez após 12 horas de repouso na amostra 6 e observou-se o valor de 5,72 UNT. Tal resultado, comparado com a turbidez obtida no tratamento industrial, que apresentou valor de 235 UNT, após 12 horas de decantação, demonstra que a semente de moringa foi eficiente no processo de redução da turbidez.

Após a coagulação realizada pelo jarro-teste, com 20 minutos de agitação lenta, e posterior à decantação, obtivemos os seguintes resultados conforme mostra a TABELA 6.

TABELA 6 Análise da amostra seis com 3 g de Moringa

pH	8,10
Demanda Química Oxigênio, DQO, bireromatométrico, mg/litro	320,90
Demanda Bioquímica Oxigênio, DBO, 05 dias, mg/litro	214,00
Turbidez após 12 horas de decantação, UNT	5,72

De acordo com Ndabigengesere e Narasiah (1998), *apud* Ramos (2005), a moringa não afeta o pH da água após o tratamento, e Borba (2001) observa que a não alteração do pH é um comportamento típico dos polieletrólitos.

A capacidade da moringa de coagular colóides em efluentes líquidos industriais que apresentam cor e turbidez se atribui a uma proteína floculante, isolada por pesquisadores na Alemanha em 1995, a qual tem massa molecular da ordem de 150.000 unidades (SANTOS FILHO, 1976).

Em estudo sobre a capacidade coagulante de extrato aquoso de sementes trituradas de moringa, Santos *et al* (2007) verificaram que o extrato se mostra capaz de competir com o sulfato de alumínio em termos de remoção de turbidez e cor, reduzindo 75% da turbidez e 65% da cor do efluente amostrado, na concentração de 40ml/l. Além disso, o extrato mostrou-se eficiente mantendo constante o pH do efluente, em detrimento do sulfato de alumínio que reduz significativamente o pH, exigindo a adição de substâncias para correção deste, antes da disposição final.

Resultados melhores foram obtidos por Paterniani (2009), que demonstrou reduções médias da turbidez e da cor aparente, de 90 e 96% nos processos de sedimentação simples e filtração lenta, respectivamente.

O uso de biopolímeros extraídos de vegetais no processo de coagulação tem várias vantagens em comparação com os sais químicos: baixo custo; não há variação de natureza da alcalinidade da água no processo; o lodo gerado após tratamento apresenta menor volume quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos.

Este experimento comprova a eficácia das sementes de moringa como coagulante natural em efluentes líquidos, gerados na indústria de beneficiamento de vidros, e conseqüentemente, a viabilidade de reuso foi considerada satisfatória.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, conclui-se que:

- a) a *Moringa oleifera* apresentou eficácia na remoção da turbidez;
- b) houve uma tendência de abaixar a turbidez em diferentes variações de pH;
- c) houve menor formação de lodo mesmo com a adição da Cal e menor ainda sem a adição da mesma;
- d) após o tratamento a água pode ser reutilizada no processo de produção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIVIDRO. **Vidro**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/index.php/19>>. Acesso em: 23 nov. 2009.

ABDULKARIM, S. M. Some physico-chemical properties of Moringa oleifera seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods. **Food Chemistry**, v. 93, p. 253-263, 2005.

AI AZHARIA; JAHN S. “**Proper Use Of African NaturalL Coagulants For Rural Water Supplies**: research in the Sudan and a guide for new projects”. [S.l]: GTZ, 1986. 541 p.

ALVES, E. L. **Potencialidade de utilização de resíduo da produção de sílica amorfa como corretivo de solo agrícola**. 2001.106 f. Dissertação (Mestrado) - FEAGRI, UNICAMP, Campinas, 2001.

AMAGLOH, F. K.; BENANG, A. Effectiveness of Moringa oleifera seed as coagulant for water purification. **African Journal of Agricultura Research**, v.4, n.1, p.119-123, 2009.

AMAYA, D. R. *et al.* Moringa: hortaliça arbórea rica em beta-caroteno. **Horticultura Brasileira**, v.10, n.2, p.126, 1992

BARROS, Marcos José de, NOZAKI, Jorge. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. **Quim. Nova**, v. 25, n. 5, p. 736-740, 2002.

BORBA, LUÍS RAMOS; **Viabilidade do uso da Moringa oleifera Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 92f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2001.

CARVALHO, MARIA JOSÉ HERKENHOFF. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008.23 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CASTIGO, Pedro. **Aplicação da multifuncionalidade da *moringa oleifera* na gestão integrada dos recursos naturais**. Chimoio, ([200-?]). Disponível em:<<http://www.unpei.org/PDF/mozambique-Dec72009Aprsenta%C3%A7ao.pdf>>. Acesso em: 17mar. 2011.

CHEN, Z. *et al.* Evaluation of Al₃₀ polynuclear species in polyaluminum solutions as coagulant for water treatment. **Chemosphere**, v. 64, p. 912-918, 2006.

CHUANG, P. Antifungal activity of crude extracts and essential oil of Moringa oleifera Lam. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 232-236, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA n° 357**, de 17 de Março de 2005.

DAVINO. Francisco dos Santos Filho. **Tecnologia de Tratamento de Água: água na Indústria**. Rio de Janeiro: Editores Ltda, 1976.

DI BERNADO, A. S., DI BERNADO, L., FROLLINI, E. Influência do Tempo de Aplicação de Polímeros na Eficiência da Flocculação/Sedimentação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL PELA ABES, 27, 2000, Porto Alegre. Anais Porto Alegre-RS, 2000.

DI BERNARDO, Luiz. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: Rima. 2005. V. 1.

DIOURI, M. **Study of a Natural Flocculating Agent for Water and Wastewater Treatment**. Florida: University of South Florida, 2004.

ECHO: **Moringa Recipes, ECHO Technical Notes**. [S. l.: s. n.], 1996.

FOLKARD, G.; SUTHERLAND, J. **Moringa**. O Movimento Gaia Folheto 26. Inglaterra: Tear Fund, 2004. Disponível em: <<http://www.gaia-movement.org/files/Folheto%2026p%20Moringa.pdf>> Acesso em: 28 abr. 2010.

FUGLIE L.J. **The Tree Miracle**: moringa oleifera: natural nutrition for the tropics. Church World Service, Dakar. Church World Service, Dakar. 68- 2001,172 pp.

GASSENSCHMIDT, Ursula *et al.* Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1243, p. 477-481, aug/oct. 1995.

GHEBREMICHAEL, K. A. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. **Wat. Res.**, v.39, p 2338-2344, 2005.

GUEVARA, A. P. An antitumor promoter from *Moringa oleifera* Lam. **Mutation Research**, v. 440, p. 181-188, 1999.

GUEYRARD, D. et al. First synthesis of an O-glycosylated glucosinolate isolated from *moringa oleifera*. **Tetrahedron Letters**, London, v.41, n.43.p. 8307 – 8309, oct.2000.

GUPTA, R. et al. Therapeutic effects of *Moringa oleifera* on arsenic-induced toxicity in rats. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 20, p. 456-464, 2005.

HESPANHOL, I. A urgência do reúso da água. **Revista Saneamento Ambiental**, n. 71, p.18-21, abr. 2000.

HESPANHOL, I. **Cinética da Floculação de Suspensões Coloidais com Polieletrólitos Naturais**. 1982. 32f. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

HASSEMER, M.E.N; SENS, M.L. Tratamento de efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Revista Engenharia sanitária e Ambiental**, v.07, n.01, p.30-36, 2002.

JAHN, S. A. A. **Monitored water coagulation with *Moringa* seeds in village households**. local: Gate, 1986.

KARADI, R.V. Effect of *Moringa oleifera* Lam. root-wood on ethylene glycol induced urolithiasis in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 105, p. 306-311, 2006.

KATAYON, S. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1455-1460, 2006.

KIRCHMER, C; ARBOLEDA, J; CASTRO, M. **Polímeros Naturales y su Aplicación como Ayudantes de Floculación**. Lima: Peru, 1975. (Documentos técnicos 2)

KUMARI, P. *et al.* Biosorption studies on shelled *Moringa oleifera* Lamarck seed powder: Removal and recovery of arsenic from aqueous system. **Int. J. Miner. Process.**, v.78, p.131 - 139, 2006.

LEE, S.H. *et al.* Removal of heavy metals from aqueous solution by apple residues. **Process biochemistry**, v.33, p.205-211, 1998.

LUZ, L. A. (2009), **Purificação, Caracterização e Determinação de Atividade Coagulante da Lectina de Sementes de *Moringa oleifera***, 2009. 37f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pernambuco, Pernambuco, 2009.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 128, p.331- 322, 1997.

MCCONHACHIE, G. L. *et al.* Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. **Water Research**, v. 33, p. 1425-1434, 1999.

MOROYI, Alfred: **The Utilization Of Moringa In Zimbabwe**. [S. l: s. n.], 2006.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa Oleifera* seeds. **Water Resources, Fenix**, v. 29, n. 12, p. 2689-2695, 1995

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

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

OKUDA, T.; et al. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. **Wat.Res.**, v.33, n.15, p 3373 3378,1999.

OKUDA, T. et al. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v.35, p.830-834, 2001.

OZACAR, M, SENGIL, I.A. Evaluation of tannin biopolimer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles colloids and surfaces. **A Physico Chemical and Engennering Aspect**, v.229, p 85-96, 2003.

PALADA, M. C.; CHANG, L.C. **International Cooperators Guide**. [S. l.: s. n], 2005.

PATERNIANI, J.E.S.; MANTOVANI, M.C.; SANT'ANNA, M.R. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v.13,n.6, 2009.

PAWLOWSKI, U. ; Prado, M. Alternativas para o tratamento de resíduos de feculárias. **Rev. Brasil Alimentos**, n.22, out/nov. 2003.

PRICE, M. L. **The moringa tree**. [S. l.: s. n.],1985.

RANGEL, M. S.(2009), **Moringa oleifera**: um Purificador Natural de Água e Complemento Alimentar para o Nordeste do Brasil. Flores e Folhas. Disponível em:<<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>> Acesso em: 20 jun. 2010.

RODRIGUES, C. Aproveitamento da casca do camarão: quitina e polímeros derivados. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE SUBPRODUTOS DO PESCADO.

Anais da Universidade do Vale do Itajaí – Univali, 2003.

SANTANA, C. R. **Tratamento de Água Produzida Através do Processo de Flotação Utilizando a *Moringa oleifera* Lam como Coagulante Natural**, 2009.

155f. Dissertação (mestrado). São Cristóvão. UFS/PEQ. 2009.

SANTOS, A. F. S. *et al.* Detection of water soluble lectin and antioxidant component from *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v. 39, p. 975-980, 2005.

SANTOS, A. R. dos. **Vidro**. Disponível em:

<<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/vidro.htm>>. Acesso em: 26 out. 2009.

SANTOS FILHO, D.F. dos. **Tecnologia de tratamentos de água; água para a indústria**. Rio de Janeiro: Almeida Neves Editores, 1976. 251p.

SANTOS, R. O; RABELO, T. S; SCRHANK, S. G. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para o tratamento de efluentes têxteis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2007. Aracaju SG. Disponível em: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/II-080.pdf>> Acesso em: 06 fev. 2011.

SHARMA, P. *et al.* Removal of cadmium from aqueous system by shelled *Moringa oleifera* Lam. seed powder. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 299-305, 2006.

SULEYMAN, A. M.; LILIAN, M. E. *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. **Water Research**, v. 29, p. 1099-1105, 1995.

TOMASZEWSKA, M.; MOZIA, S.; MORAWSKI, A. W. Removal of organic matter by coagulation enhanced with adsorption on PAC. **Desalination**, v. 161, p. 79-87, 2004.