



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**



TESE DE DOUTORADO

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO
DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DE EXTRATO LIOFILIZADO DE
SEMENTES DE MORINGA E MÉTODOS DE APLICAÇÃO NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

SEMIRAMES DO NASCIMENTO SILVA

**CAMPINA GRANDE-PB
Novembro de 2020**

SEMIRAMES DO NASCIMENTO SILVA

**PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DE EXTRATO LIOFILIZADO DE
SEMENTES DE MORINGA E MÉTODOS DE APLICAÇÃO NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida
Dra. Josivanda Palmeira Gomes

CAMPINA GRANDE-PB
Novembro de 2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**



SEMIRAMES DO NASCIMENTO SILVA

**PRODUÇÃO E ARMAZENAMENTO DE EXTRATO LIOFILIZADO DE
SEMENTES DE MORINGA E MÉTODOS DE APLICAÇÃO NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

BANCA EXAMINADORA:

PARECER:

Prof^a. Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes
Orientadora - UAEA/CTRN/UFCG

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Examinador Interno – UAEA/CTRN/UFCG

Prof^a. Dr^a. Luiza Eugênia da Mota Rocha Cirne
Examinadora Interna- UAEA/CTRN/UFCG

Prof. Dr. Manoel Barbosa Dantas
Examinador Externo – IFPB Campus Cabedelo

Prof^a. Dr^a. Katia Cristina de Oliveira Gurjão
Examinadora Externa – IFPB Campus Soledade

**CAMPINA GRANDE-PB
Novembro de 2020**

Ao meu orientador, o professor Francisco de Assis Cardoso Almeida (Diassis) tanto pelo conhecimento inspirador que me foi repassado quanto pela confiança depositada em mim para o desenvolvimento dessa tese. Deixo registrado o meu agradecimento e o meu reconhecimento pelo brilhante trabalho desenvolvido na Universidade Federal de Campina Grande, em especial, durante a minha orientação.

Dedico e Ofereço!

Agradecimentos

Até aqui me ajudou o Senhor. Deus, obrigada por tudo o que tem feito em minha vida, a ti devo a minha existência e tudo o que sou e tenho. Nada seria possível sem a sua divina misericórdia. Deus é bom o tempo todo, o tempo todo Deus é bom.

“Ave Maria, mãe de Jesus, o tempo passa, não volta mais” (Marcelo Rossi). O que seria de mim sem Nossa Senhora, em especial Nossa Senhora Aparecida, a quem eu tenho especial devoção. Obrigada minha mãe, pois com a fé que tenho em vós, tenho lutado insistentemente para conseguir meu maior objetivo. Essa etapa é mais um degrau que subo rumo a essa conquista. Pede à mãe que o filho atende!

Aos meus pais Manoel e Fátima, razão da minha vida, por todo o amor, apoio, compreensão e paciência comigo ao longo desses anos. Às minhas irmãs, Samara e Samira pelo apoio e carinho.

A minha orientadora, Josivanda Palmeira Gomes, pela orientação no desenvolvimento da tese, por seus conselhos e pela inestimável confiança, pelo apoio e pela parceria. Obrigada pela amizade e pela compreensão, pelo estímulo para continuar buscando a realização dos meus objetivos, por acreditar no meu potencial e não medir esforços para me ajudar e, finalmente, por me dar a oportunidade de ser orientada por Diassis. Sou grata por tudo e peço que Nossa Senhora Aparecida abençoe a sua vida e retribua 13 vezes tudo o que tem feito por mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande pela oportunidade de realização do doutorado e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

A Estação Experimental de Tratamento de Águas e Esgotos de Campina Grande – EXTRABES, na pessoa do professor Valderi Leite pelo empréstimo do equipamento Jar Test utilizado na realização da pesquisa, muito obrigada. Ao técnico de laboratório da EXTRABES, Vanderley Nascimento, pelo auxílio durante as análises iniciais da tese.

Aos professores Manoel Barbosa Dantas, Katia Cristina de Oliveira Gurjão, Luiza Eugênia da Mota Rocha Cirne e Alexandre José de Melo Queiroz, por aceitarem o convite para compor a minha banca examinadora e pelas preciosas contribuições a minha tese, muito obrigada.

Aos meus professores do doutorado Mozaniel Silva, Luiza Cirne, Josivanda Gomes, Francisco de Assis Cardoso Almeida, Alexandre Queiroz, Ana Paula Trindade, Juarez Pedroza, obrigada pelos ensinamentos e pelas orientações nessa fase acadêmica da minha vida. A Hofsky Alexandre pela condução da disciplina Secagem de Produtos Agrícolas.

A Rosângela Vieira Freire, pela amizade e afeto inestimável, obrigada por sempre corrigir meus trabalhos. Você tem meu respeito e minha admiração por

desempenhar de forma simples, alegre, competente e correta a profissão de professora de Língua portuguesa.

A vida me trouxe muitos presentes e alegrias, e com certeza você é um deles. Katia Gurjão, obrigada por sempre estar comigo, a minha vinda para Campina Grande foi motivada por nossa amizade. Se hoje estou concluindo o doutorado é porque tenho seu apoio desde o primeiro momento, muito obrigada por tudo. Que Deus a abençoe sempre.

A paciência é uma virtude dos sábios e, você, Eliezer Siqueira tem as duas: a paciência e a sabedoria. Agradeço por acreditar e incentivar para que eu possa alcançar meus objetivos. Obrigada por lembrar quem eu sou e por que estou aqui. Não esqueci que foi você quem me apresentou a *Moringa oleifera* e me deu as primeiras sementes, hoje, matéria-prima do meu trabalho de tese.

Meu especial agradecimento a Antônio Jackson e Luzia Melo pela disponibilidade em me auxiliar nas realizações das análises iniciais. Joselito Moraes, obrigada por me ajudar a consertar o equipamento sempre que precisei. Obrigada por ser sempre prestativo comigo.

Aos amigos de antes e os que o doutorado me deu de presente: Jaqueline Almeida, Cândida Mariz, Raiza Pessoa, Chagas Sicupira, Ariosvaldo Ferreira, Roberta Wanderley, Polyana Barbosa, Raphaela Maceió, Luís Silva, Joana D'arc, Suiane Moraes, Ana Paula Sousa, Agdylannah Félix, Leidjane Souto, Janaína Almeida, Zanelli Tenório, Carolina Gondim, Francislaine Santos, Daniela Leite, Jemima Lisboa, Leiliane Lima, Marcela Nobre, Dyalla Feitosa, Newton Santos, Rodrigo Leite.

Ao laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas - LAPP, na pessoa da professora Rossana Maria Feitosa de Figueiredo, obrigada. O LAPP se tornou minha terceira casa durante os últimos anos. Foi nele, que eu pude desenvolver a tese e obter resultados, não só científicos, mas de vida.

Agradeço ao aluno de pós-doutorado, Bruno Adelino de Melo, pela aquisição do equipamento turbidímetro, pois com ele foi possível à realização das análises de turbidez da água.

Ao Instituto Federal da Paraíba Campus Sousa, na pessoa do técnico de laboratório Damião Junior Gomes, pela realização das análises microbiológicas, obrigada.

Aos servidores Roberto Ramon, Dona Cida, Aldaniza Moraes, Michelle Feitosa, pela dedicação e trabalho prestado junto à coordenação da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG. À professora Vera Antunes pela condução da coordenação da pós-graduação, logo que entrei no doutorado.

Não poderia deixar de agradecer à cidade de Campina Grande por ter me acolhido tão bem. "Aqui é meu lugar, eu quero te dizer, Campina Grande eu adoro amar você".

Meus sinceros agradecimentos a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conquista desse momento. Que Deus e Nossa Senhora estejam sempre com todos.

Epígrafe

“Somente quem carrega sua própria água sabe o valor de cada gota derramada”. (Eli Odara Theodoro).

SILVA, S. N. **Produção e armazenamento de extrato liofilizado de sementes de moringa e métodos de aplicação no tratamento de água.** 2020. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2020.

RESUMO: Diversos coagulantes estão sendo estudados para o tratamento de água, entretanto, os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos químicos, como é o caso do coagulante à base de sementes de moringa. Para um melhor aproveitamento das sementes, faz-se necessário o uso de tecnologias para a preservação dos seus constituintes, principalmente, quando utilizada em tratamento de água, uma vez que o princípio ativo das proteínas (lectinas) responsáveis pela coagulação da água perde seu efeito em pouco tempo. A partir disso, propõe-se produzir e armazenar o extrato liofilizado de sementes de moringa e estudar métodos de aplicação no tratamento de água para consumo humano. As sementes foram descascadas manualmente e trituradas em liquidificador doméstico. Caracterizou-se o pó in natura quanto a parâmetros físicos e físico-químicos. Para a liofilização, utilizou-se um liofilizador de bancada. Adicionaram-se ao extrato 20, 30, 40 e 50 mL de água destilada para formação das pastas, e estas foram submetidas ao congelamento, e em seguida, liofilizadas. Após a liofilização analisaram-se os pós quanto aos parâmetros físicos e físico-químicos. Avaliou-se a água artificial quanto ao pH, turbidez e cor aparente. Para o coagulante aplicaram-se, em Jar Test, as dosagens de 12, 16, 18 e 24 g do pó liofilizado. Com a melhor dosagem do coagulante, estudaram-se os tempos de sedimentação da água (60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 min). Depois de estabelecida a melhor dosagem do coagulante e o tempo de sedimentação da água, estudaram-se os métodos de aplicação: direto, líquido, filtro e sachê. Avaliou-se a eficiência dos pós no tratamento da água em função do tempo de armazenamento. Durante 180 dias armazenou-se o pó em três tipos de embalagens: laminada, sachê e mista, em que foi estudada a eficiência do coagulante no tratamento da água, mediante parâmetros físico-químicos, acrescentados das análises microbiológicas, físico-químicas e físicas do pó. A liofilização apresentou-se para a moringa como um método adequado na preservação dos seus constituintes, sendo a adição de 50 mL de água destilada a que apresentou melhores resultados. A dosagem de 24 g resultou em melhores resultados para o pH e maior redução no nível de turbidez; e a de 16 g apresentou maior eficiência na remoção da cor aparente da água. Por apresentar maior eficiência para o pH, seguido de maiores reduções na turbidez e cor aparente da água definiu-se o tempo de 480 min de sedimentação como o melhor. Os métodos de aplicação selecionados com base nos melhores resultados de cada parâmetro estudado foram o direto, o filtro e o sachê. As embalagens foram eficientes na conservação das características físico-químicas do extrato liofilizado. Durante os 180 dias de armazenamento, o extrato não apresentou contaminação microbiológica. As embalagens foram eficientes na conservação do coagulante. A conservação do princípio ativo das sementes responsável pela remoção da turbidez depende da embalagem utilizada e do tempo de armazenamento. A embalagem de sachê apresentou a maior eficiência de eliminação da cor aparente. Mesmo apresentando elevada eficiência na remoção da turbidez e cor aparente, os valores encontram-se acima do exigido.

PALAVRAS-CHAVE: coagulante, conservação, embalagem, *Moringa oleifera*, qualidade de água, secagem.

SILVA, S. N. **Production and storage of freeze-dried extract of moringa seeds and methods of application in water treatment.** 2020. 178 f. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) - Federal University of Campina Grande, Campina Grande, PB, 2020.

ABSTRACT: Several coagulants are being studied for water treatment; however, natural coagulants have shown advantages over chemicals, such as the coagulant based on moringa seeds. For a better use of the seeds, it is necessary to use technologies for the preservation of their constituents, especially when used in water treatment, since the active principle of proteins (lectins) responsible for water coagulation loses its effect in a short time. From this, it is proposed to produce and store the freeze-dried extract of moringa seeds and study methods of application in water treatment for human consumption. The seeds were peeled by hand and crushed in a domestic blender. The powder was characterized *in natura* regarding physical and physical-chemical parameters. For freeze-drying, a bench-top lyophilizer was used. 20, 30, 40 and 50 mL of distilled water were added to the extract to form the pastes, and they were submitted to freezing, and then lyophilized. After lyophilization, the powders were analyzed for physical and physicochemical parameters. The artificial water was evaluated for pH, turbidity and apparent color. For the coagulant, the dosages of 12, 16, 18 and 24 g of freeze-dried powder were applied in Jar Test. With the best dosage of the coagulant, the water sedimentation times were studied (60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 and 480 min). After establishing the best dosage of the coagulant and the time of sedimentation of the water, the methods of application were studied: direct, liquid, filter and sachet. The efficiency of the powders in water treatment was evaluated according to the storage time. For 180 days the powder was stored in three types of packaging: laminated, sachet and mixed, in which the efficiency of the coagulant in water treatment was studied, by means of physical-chemical parameters, added of microbiological, physical-chemical and physical analysis of the powder. The freeze-drying was presented to the moringa as an adequate method in the preservation of its constituents, being the addition of 50 mL of distilled water the one that presented better results. The dosage of 24 g resulted in better results for the pH and greater reduction in the level of turbidity; and that of 16 g showed greater efficiency in removing the apparent color from the water. For presenting greater efficiency for the pH, followed by greater reductions in the turbidity and apparent color of the water, the time of 480 min of sedimentation was defined as the best. The application methods selected based on the best results of each parameter studied were the direct, the filter and the sachet. The packages were efficient in preserving the physical-chemical characteristics of the freeze-dried extract. During the 180 days of storage, the extract did not present microbiological contamination. The packages were efficient in conserving the coagulant. The conservation of the active principle of the seeds responsible for the removal of turbidity depends on the packaging used and the storage time. The sachet packaging showed the highest efficiency in eliminating the apparent color. Even presenting high efficiency in the removal of turbidity and apparent color, the values are above the required.

KEYWORDS: coagulant, conservation, packing, *Moringa oleifera*, water quality, drying.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	– Liofilizador de bancada modelo L101.....	30
Figura 4.2	– Equipamento Jar Test.....	36
Figura 4.3	– Método direto de aplicação de coagulante.....	39
Figura 4.4	– Método líquido de aplicação de coagulante.....	40
Figura 4.5	– Método de aplicação de coagulante com filtro.....	41
Figura 4.6	– Método de aplicação de coagulante com sachê.....	42
Figura 7.1	– Representação gráfica da dosagem de coagulante à base de extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> para o pH.....	43
Figura 7.2	– Representação gráfica da dosagem de coagulante à base de extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> para a turbidez.....	45
Figura 7.3	– Representação gráfica da dosagem de coagulante à base de extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> para a cor aparente.....	46
Figura 8.1	– Representação gráfica da sedimentação da água em diferentes tempos para o pH.....	47
Figura 8.2	– Representação gráfica da sedimentação da água em diferentes tempos para a turbidez.....	48
Figura 8.3	– Representação gráfica da sedimentação da água em diferentes tempos para a cor aparente.....	49
Figura 9.1	– Métodos de aplicação de coagulante no tratamento de água para o pH.....	30
Figura 9.2	– Métodos de aplicação de coagulante no tratamento de água para a turbidez.....	36
Figura 9.3	– Métodos de aplicação de coagulante no tratamento de água para a cor aparente.....	39
Figura 10.1	– Teor de água (A) e atividade de água (B) do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante o armazenamento em diferentes embalagens.....	40
Figura 10.2	– pH (C) e acidez total titulável (D) do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante o armazenamento em diferentes	

	embalagens.....	41
Figura 10.3	– Proteínas (E) e lipídios (F) do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante o armazenamento em diferentes embalagens.....	42
Figura 10.4	– Carboidratos presentes no extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante o armazenamento em diferentes embalagens.....	43
Figura 10.5	– Solubilidade (G) e higroscopicidade (H) do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante o armazenamento em diferentes embalagens.....	45
Figura 11.1	– Representação gráfica do pH da água durante o armazenamento do extrato liofilizado em diferentes embalagens.....	46
Figura 11.2	– Representação gráfica da turbidez da água durante o armazenamento do extrato liofilizado em diferentes embalagens.....	47
Figura 11.3	– Representação gráfica da cor aparente da água durante o armazenamento do extrato liofilizado em diferentes embalagens.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	– Média climática do período de coleta das sementes de <i>M. oleifera</i>	28
Tabela 6.1	Caracterização física do pó in natura de sementes de <i>M. oleifera</i>	29
Tabela 6.2	Caracterização físico-química do pó in natura de sementes de <i>M. oleifera</i>	33
Tabela 6.3	– Caracterização física do pó liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i>	37
Tabela 6.4	– Caracterização físico-química do pó liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i>	44
Tabela 7.1	– Caracterização inicial da água.....	28
Tabela 8.1	– Caracterização inicial da água.....	29
Tabela 8.2	– Valores médios dos tempos de sedimentação da água tratada com coagulante obtido do extrato liofilizado de <i>M. oleifera</i>	33
Tabela 9.1	– Caracterização inicial da água.....	37
Tabela 10.1	– Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para o teor e atividade de água do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i>	44
Tabela 10.2	– Médias das cinzas contidas no extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante armazenamento em diferentes embalagens.....	28
Tabela 10.3	– Médias do pH e acidez total titulável do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante armazenamento em diferentes embalagens.....	29
Tabela 10.4	– Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para as proteínas e lipídios do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i>	33
Tabela 10.5	– Médias dos carboidratos contidos no extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante armazenamento em diferentes embalagens.....	37
Tabela 10.6	– Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para solubilidade e higroscopicidade do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i>	44

Tabela 10.7	– Médias da densidade aparente e compactada do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante armazenamento em diferentes embalagens.....	28
Tabela 10.8	– Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para o IC e fator de Hausner do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i>	29
Tabela 10.9	– Médias dos parâmetros de cor e índice de escurecimento do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante armazenamento em diferentes embalagens.....	33
Tabela 10.10	– Resultados microbiológicos do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> durante armazenamento em diferentes embalagens.....	37
Tabela 11.1	– Média inicial da água durante o armazenamento.....	44
Tabela 11.2	– Médias do pH da água durante armazenamento do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> em diferentes embalagens.....	33
Tabela 11.3	– Médias da interação da turbidez da água durante armazenamento do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> em diferentes embalagens.....	37
Tabela 11.4	– Médias da cor aparente da água durante armazenamento do extrato liofilizado de sementes de <i>M. oleifera</i> em diferentes embalagens.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	18
2. OBJETIVOS.....	21
2.1. Objetivo geral	21
2.2. Objetivos específicos	21
3. REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1. <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	22
3.2. Liofilização	26
3.3. Armazenamento	28
3.4. Tratamento de água.....	31
3.4.1. Saneamento rural	36
3.4.2. Métodos alternativos para aplicação de coagulante à base de moringa em água para consumo humano	40
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1. Matéria-prima	43
4.2. Produção e caracterização do pó in natura.....	43
4.2.1. Cor (L*, a*, b*, Chroma C* e índice de escurecimento)	43
4.2.2. Solubilidade	44
4.2.3. Higroscopicidade	44
4.2.4. Densidade compactada	44
4.2.5. Densidade aparente.....	45
4.2.6. Densidade real	45
4.2.7. Índice de compressibilidade - IC	46
4.2.8. Fator de Hausner - FH	46
4.2.9. Porosidade	46
4.2.10. Teor de água	47
4.2.11. Atividade de água	47
4.2.12. pH	47
4.2.13. Acidez total titulável.....	47
4.2.14. Cinzas	47
4.2.15. Proteínas	47
4.2.16. Lipídios.....	47
4.2.17. Carboidratos	48

4.3.	Produção e caracterização física e físico-química do pó liofilizado.....	48
4.4.	Obtenção da água de forma artificial	49
4.5.	Teste de dosagem do coagulante.....	49
4.5.1.	pH	50
4.5.2.	Turbidez.....	50
4.5.3.	Cor aparente.....	50
4.6.	Ensaio de sedimentação da água	51
4.7.	Estudo de métodos de aplicação de coagulante à base de moringa no tratamento de água para consumo humano.....	51
4.7.1.	Método direto	51
4.7.2.	Método líquido	52
4.7.3.	Método de filtro	53
4.7.4.	Método de sachê	53
4.7.5.	Análise estatística	54
4.8.	Armazenamento do pó liofilizado.....	54
4.8.1.	Coliformes totais e termotolerantes.....	55
4.8.2.	<i>Escherichia coli</i>	55
4.8.3.	Análise estatística	55
5.	REFERÊNCIAS	56
6.	ARTIGO I - PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ IN NATURA E LIOFILIZADO DE SEMENTES DE MORINGA.....	76
6.1.	Introdução	77
6.2.	Material e Métodos	78
6.2.1.	Local de condução da pesquisa	78
6.2.2.	Matéria-prima	78
6.2.3.	Elaboração das pastas para liofilização	78
6.2.4.	Análises físicas e físico-químicas do pó in natura e liofilizado	78
6.2.5.	Análise estatística	79
6.3.	Resultados e Discussão.....	79
6.4.	Conclusão.....	85
6.5.	Referências.....	86
7.	ARTIGO II - APLICAÇÃO DE COAGULANTE À BASE DE EXTRATO LIOFILIZADO DE SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA.....	94

7.1.	Introdução	95
7.2.	Material e Métodos	97
7.2.1.	Obtenção do pó liofilizado	97
7.2.2.	Obtenção da água de forma artificial.....	97
7.2.3.	Teste de dosagem do coagulante	98
7.2.4.	Análise estatística	98
7.3.	Resultados e Discussão	98
7.4.	Conclusão.....	101
7.5.	Referências.....	102
8.	ARTIGO III – SEDIMENTAÇÃO DE ÁGUA TRATADA COM EXTRATO LIOFILIZADO DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	107
8.1.	Introdução	108
8.2.	Material e Métodos	109
8.2.1.	Condução da pesquisa	109
8.2.2.	Sedimentação da água	110
8.2.3.	Análise estatística	110
8.3.	Resultados e Discussão	111
8.4.	Conclusão.....	115
8.5.	Referências.....	115
9.	ARTIGO IV – MÉTODOS ALTERNATIVOS DE APLICAÇÃO DE COAGULANTE À BASE DE EXTRATO LIOFILIZADO DE SEMENTES DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> NO TRATAMENTO DE ÁGUA	120
9.1.	Introdução	121
9.2.	Material e Métodos	122
9.2.1.	Obtenção do coagulante.....	122
9.2.2.	Métodos de aplicação do coagulante	123
9.2.3.	Análise estatística	124
9.3.	Resultados e Discussão	124
9.4.	Conclusão.....	127
9.5.	Referências.....	128
10.	ARTIGO V - ARMAZENAMENTO DE EXTRATO LIOFILIZADO DE SEMENTES DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	132
10.1.	Introdução	133
10.2.	Material e Métodos	135

10.2.1. Obtenção do pó liofilizado	135
10.2.2. Armazenamento do pó liofilizado	135
10.2.2.1. Análises físico-químicas.....	135
10.2.2.2. Análises físicas	135
10.2.2.3. Análises microbiológicas.....	136
10.2.3. Análise estatística	136
10.3. Resultados e Discussão	136
10.3.1. Análises físico-químicas do extrato liofilizado	136
10.3.2. Análises físicas do extrato liofilizado.....	144
10.3.3. Microbiologia do extrato liofilizado.....	149
10.4. Conclusões	151
10.5. Referências.....	151
11. ARTIGO VI - EFICIÊNCIA DE COAGULANTE OBTIDO DE PÓ LIOFILIZADO DE SEMENTES DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> DURANTE ARMAZENAMENTO	162
11.1. Introdução	163
11.2. Material e Métodos	165
11.2.1. Armazenamento do pó liofilizado	165
11.2.2. Avaliação da eficiência do coagulante	165
11.2.3. Análise estatística	166
11.3. Resultados e Discussão	166
11.4. Conclusão.....	173
11.5. Referências.....	174
12. CONSIDERAÇÕES FINAIS	178

1. INTRODUÇÃO GERAL

Esta tese apresenta a adoção de uma nova finalidade do método de secagem por liofilização, que é a sua aplicação na conservação de constituintes do pó obtido das sementes de *Moringa oleifera* para uso no tratamento de água. Sabe-se que ele já é usualmente aplicado na conservação de produtos alimentícios sensíveis a elevadas temperaturas de secagem. A nova aplicação dentro da área de processamento e armazenamento de produtos agrícolas tem caráter inovador e inédito, compondo assim novos estudos dentro da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA/UFCG) que visa inovar em suas pesquisas.

A qualidade e a quantidade de água potável disponível para o abastecimento da população mundial estão comprometidas, sendo necessários tratamentos alternativos a fim de que a qualidade da água seja assegurada. De acordo com a Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade, ou seja, os parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos devem ser atendidos (BRASIL, 2017). Dessa forma, diversos coagulantes estão sendo utilizados para o tratamento da água de forma a torná-la potável.

Muitos países em desenvolvimento, dificilmente podem pagar os altos custos dos produtos químicos importados para o tratamento de água. Neste contexto, um coagulante ambientalmente correto e acessível apresenta-se como uma alternativa viável para o tratamento de água. Sendo assim, em vários países, inúmeras plantas estão sendo utilizadas como coagulantes naturais e, algumas vêm sendo estudadas mais intensamente que outras, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam.

A moringa, nativa do noroeste da Índia, é a espécie tropical mais cultivada da família Moringaceae (BICHI, 2013). No Brasil, é encontrado em maior número na região Nordeste, principalmente, nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará, no entanto, pode ser encontrada em praticamente todo o território brasileiro (RODRIGUES et al., 2016). No Brasil, têm sido realizados programas de divulgação para o cultivo e uso da moringa em virtude do seu potencial nutricional (LEONE et al., 2015). No entanto, diversos autores, tais como: Tavares et al. (2019), Madrona et al. (2017) e Pereira et al. (2015) têm estudado sua utilização no tratamento de água.

Para um melhor aproveitamento das sementes de moringa, faz-se necessário o uso e desenvolvimento de tecnologias para a preservação dos seus constituintes, principalmente, quando utilizada em tratamento de água, uma vez que o princípio ativo

das proteínas, denominadas lectinas, responsáveis pela coagulação/floculação da água perde seu efeito em pouco tempo. Neste aspecto, a secagem pode ser utilizada por apresentar maior estabilidade química, devido à interrupção de processos metabólicos que ocorrem mesmo após a coleta do material (KANDASAMY et al., 2014).

Dentre os processos de secagem, a liofilização se destaca por manter os constituintes do material preservando, também, as características sensoriais e nutricionais. Os produtos liofilizados apresentam uma vida de prateleira maior, quando corretamente embalados, e dependendo do material, é possível a permanência em temperatura ambiente (VIEIRA et al., 2012). Materiais liofilizados são produtos com alto valor agregado por reter grande parte de seus constituintes originais, devido ao emprego de baixas temperaturas em seu processamento. A secagem por liofilização se mostra eficiente comparada com outros meios de secagem, frente às características de perda de voláteis, decomposição térmica, ações enzimáticas e desnaturação de proteínas (POTISATE et al., 2014).

Na liofilização, a água é removida a partir de um produto congelado, uma estrutura porosa é formada, resultando em um produto desidratado com melhores propriedades quando reidratado (ZOTARELLI et al., 2012). Apesar da natureza higroscópica dos produtos liofilizados serem vantajosos para a reidratação, à adsorção de vapor de água durante o armazenamento e a distribuição, pode se constituir em um sério problema (RHIM et al., 2011). No caso do pó de moringa, isso, provavelmente, não acontece, por apresentar baixo teor de água, não sendo necessária a utilização de adjuvantes na liofilização, como a maltodextrina.

De acordo com Katayon et al. (2006), a eficiência do coagulante à base de sementes de moringa independe da temperatura de armazenamento e embalagem, mas diminui com o passar do tempo de armazenamento. Entretanto, Pritchard et al. (2010a) afirmam que as sementes de *M. oleifera* são consideradas altamente ativas pelo fato de produzirem altas reduções na turbidez da água bruta por um período máximo de 18 meses. Após esse período, o desempenho começa a decair significativamente a ponto de tornar o coagulante ineficiente após 24 meses, especialmente, para água bruta com turbidez inferior a 100 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), assim como a conservação das soluções preparadas a partir do coagulante natural possui tempo limitado, pois normalmente ocorre o processo de biodegradação. Dessa forma, é importante utilizar sementes recém-colhidas e adotar técnicas de armazenamento e

conservação do pó obtido das sementes, a fim de garantir a eficácia no tratamento de água.

Ressalta-se a importância da aplicação de técnicas e métodos alternativos de tratamento de água como a utilização de coagulantes naturais que melhorem a qualidade desta. Essa alternativa é um instrumento de inquestionável importância, uma vez que poderão também nortear as ações e propostas voltadas para uma eficiente utilização dos recursos hídricos e melhoria nas formas de utilização da água tanto sob os aspectos da quantidade como também da qualidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Produzir e armazenar o extrato liofilizado de sementes de moringa e estudar métodos de aplicação no tratamento de água para consumo humano.

2.2. Objetivos específicos

- Produzir e caracterizar o pó in natura obtido das sementes de moringa quanto a parâmetros físicos e físico-químicos;
- Elaborar diferentes pastas com adição de 20, 30, 40 e 50 mL de água destilada, liofilizá-las, caracterizá-las físico e físico-quimicamente e selecionar a melhor para ser utilizada nas etapas seguintes do trabalho;
- Utilizar água com pH, turbidez e cor aparente com níveis acima do permitido pela legislação brasileira e tratá-la com pó liofilizado em diferentes dosagens e selecionar a melhor dosagem para ser utilizada nas etapas seguintes;
- Realizar ensaios de sedimentação da água nos tempos de 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 min e determinar o tempo de sedimentação a ser usado nas demais etapas do trabalho;
- Definir o método mais eficiente para aplicação do coagulante (direto, líquido, filtro e sachê);
- Armazenar o pó por 180 dias em diferentes embalagens (laminada, sachê e mista);
- Avaliar os parâmetros físicos, físico-químicos e microbiológicos do pó liofilizado durante o armazenamento;
- Verificar se o poder coagulante do pó liofilizado em termos de eficiência de remoção de pH, turbidez e cor aparente são alterados em relação ao tempo de armazenamento.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. *Moringa oleifera* Lam

A moringa é conhecida popularmente por “acácia negra” ou “lírio branco”, ela se desenvolve melhor nos países tropicais e subtropicais (BARRADO-MORENO et al., 2016). A moringa foi introduzida no Brasil como planta ornamental por volta de 1950 e, desde então, tem sido largamente cultivada devido ao seu alto valor alimentício, principalmente das folhas e sementes, ricas em caroteno, ácido ascórbico, ferro, proteínas, antioxidantes, também podem ser utilizadas como suplemento alimentar por apresentarem potássio, vitaminas do complexo B e cobre, além disso, possui alto valor medicinal (GHODSI et al., 2014).

Trata-se de uma árvore de caule grosso e alto, medindo até 10 m; as sementes são marrons escuras com três asas e possuem aspecto de papel. A planta floresce, produz frutos e sementes durante todo o ano (LEONE et al., 2015). A moringa pode ser facilmente propagada por sementes ou por estacas; as sementes podem ser plantadas diretamente no local definitivo ou em sementeiras; não há necessidade de nenhum tratamento prévio, portanto, requer poucos tratamentos culturais (GUPTA et al., 2012; KUMAR et al., 2014).

A moringa caracteriza-se por ser bastante tolerante à seca, sendo cultivada em regiões áridas e semiáridas, as quais possuem precipitações anuais abaixo de 300 mm, sendo dessa forma uma cultura bastante viável economicamente para a região semiárida (MENEGHEL et al., 2013). No Brasil, em algumas regiões, esta já é uma espécie divulgada e utilizada como solução alternativa para clarificar água do abastecimento de casas isoladas da zona rural, inclusive, no estado da Paraíba (ANDRADE; LIRA 2018). A eficiência do uso da moringa como coagulante natural no tratamento da água residual e das águas superficiais foi provada por vários pesquisadores (MUTHURAMAN; SASIKALA 2014; BAPTISTA et al., 2015).

O interesse pelo estudo de coagulantes naturais para clarificar água não é uma ideia nova. Os estudos científicos iniciais relacionados ao uso desta planta como coagulante foram desenvolvidos na Alemanha e na Inglaterra, na década de 80. O Grupo de Engenharia Ambiental da Universidade de Leicester, Inglaterra, tem estudado o uso potencial de coagulantes naturais em grande escala no tratamento de água, sendo realizados testes com as propriedades naturais de coagulação da semente de moringa (ARANTES et al., 2012).

O estudo e pesquisa do tratamento de água com moringa receberam um grande impulso no final do século XX (JAHN, 1988). O maior interesse dos pesquisadores que estudam a coagulação e a moringa gira em torno de variações da turbidez, utilização de diferentes partes da planta, diferentes métodos e solventes para a obtenção da solução coagulante. Para melhorar a qualidade de água destinada ao consumo humano bem como aquele usado para lavagem e desinfecção de frutas, é necessário utilizar tratamentos alternativos a fim de minimizar ou eliminar os impactos que as bactérias patogênicas provenientes do transporte de água trazem para as comunidades, particularmente em áreas que não têm acesso ao tratamento convencional de água (ANDRADE; LIRA, 2018).

A fração ativa deste coagulante se deve à presença de uma proteína catiônica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e coagula os coloides (GOPALAKRISHNAN et al., 2016). Conforme descreve Santos et al. (2009), essa propriedade está relacionada à presença de diferentes proteínas coagulantes, incluindo entre elas, a lectina (*cMoL*) que participa do processo de tratamento da água, através da remoção da turbidez, tornando-a própria para consumo pelas populações. Três lectinas foram identificadas em sementes de moringa, denominadas de MoL (do inglês *M. oleifera lectin*), cMoL (do inglês *coagulant M. oleifera lectin*) e WSMoL (do inglês *water-soluble M. oleifera lectin*). MoL é uma lectina catiônica formada por subunidades de 7,1 kDa que foi isolada por cromatografia (KATRE et al., 2008).

O mecanismo da coagulação e floculação de uma água, provocado pela proteína existente na semente da moringa, se assemelha ao mecanismo da coagulação e floculação provocado pelos polieletrólitos, que são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou natural (PRITCHARD et al., 2010b). O coagulante à base de sementes de moringa, por ser de origem natural, possui significativa vantagem, quando comparado ao coagulante químico, sulfato de alumínio, principalmente, para pequenas comunidades uma vez que pode ser preparado no próprio local. As sementes de moringa têm atividade mais estável em diferentes intervalos de pH, quando comparados com o sulfato de alumínio, o coagulante mais utilizado em estações de tratamento de água. Comparada com o sulfato de alumínio, as sementes de moringa, não alteraram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão (BRILHANTE et al., 2017).

A moringa foi avaliada quanto ao seu potencial para tratar águas residuais da aquicultura. Os resultados mostraram a eliminação simultânea da turbidez da água,

partículas suspensas e microrganismos, tornando adequado, substituir parcialmente os agentes coagulantes usuais, levando a ganhos econômicos, de saúde e ambientais. Neste contexto, segundo Brilhante et al. (2017) a moringa representa potencialmente uma alternativa para a aquicultura, uma vez que esta planta é uma fonte de agentes coagulantes, antioxidantes e antimicrobianos. Outra preocupação é com o excesso de fluoreto na água, onde relatórios mostram um número significativo de países, incluindo o Brasil, que têm águas com excesso de flúor acima dos padrões estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (CONCEIÇÃO et al., 2015). Assim, a busca por tratamentos alternativos para reduzir o excesso de fluoreto nas águas subterrâneas, tem levado pesquisadores a procurarem processos alternativos usando coagulantes naturais à base de moringa.

Pereira et al. (2015) em águas com 150 NTU mostraram que a solução de moringa demonstrou-se mais eficaz (77,56%) quando comparada com sulfato de alumínio (28,22%) para o parâmetro turbidez. Em pesquisa realizada por Siqueira et al. (2018) o coagulante à base de moringa alcançou índice de remoção de turbidez de 84,5 e 75,8% para a cor aparente, que são considerados valores altos de remoção. Santos et al. (2011) ressaltam que devido à versatilidade, a *M. oleifera* apresenta ação efetiva sobre variados tipos de água e diversos tipos de efluentes industriais. A moringa também possui constituintes como o pterigospermina e ramnosil-oxibenzil-isotiocianato que possuem ações antimicrobianas sobre *Escherichia coli* e *Streptococcus*. Por esta razão, as sementes são usadas no tratamento da água por sua capacidade de fazer a aglutinação e a sedimentação de partículas em suspensão (BATISTA et al., 2013).

Em um estudo comparativo realizado por Salazar-G´Amez et al. (2015) com sementes de moringa, verificou-se que elas foram mais baratas e mais efetivas do que o sulfato de alumínio na redução da turbidez da água contaminada, causando diminuição de 95% na turbidez, enquanto o sulfato de alumínio causou uma redução de 80%. A moringa é considerada ecologicamente viável por suas várias aplicações como alternativa aos produtos desenvolvidos quimicamente, reduzindo os riscos associados à acumulação de compostos químicos não biodegradáveis, que são prejudiciais para a saúde humana, animal e ambiental, apresentando propriedades notáveis por sua capacidade de reduzir turbidez, toxicidade e carga microbiana em água (SALAZAR-G´AMEZ et al., 2015). No entanto, Taiwo et al. (2020) afirmam que apesar de todos estes benefícios, coagulantes naturais devem ser aplicados eficazmente no processo de coagulação da água e tratamento em larga escala só depois de submetidos a testes

certificando a sua não toxicidade, biodegradabilidade e viabilidade. Mais estudos ainda serão necessários para compreender os mecanismos proteico-microbianos de ação para explorar plenamente os potenciais antimicrobianos deste biocoagulante obtido da moringa.

No aterro sanitário, a biodegradação dos resíduos sólidos ocorre através de processos físicos, químicos e biológicos, produzindo subprodutos como os gases e o lixiviado (chorume) líquido de coloração escura e odor desagradável. Nesse sentido, Oliveira et al. (2016) realizaram a avaliação da toxicidade de lixiviado do aterro sanitário de Candelas antes e após o tratamento com extrato de moringa. Os resultados indicaram que o tratamento com o extrato de moringa apresentou resultados significativos para coliformes fecais e totais com morte de 98 e 99%, demonstrando a eficiência do extrato.

Estudos mostraram as propriedades biossorventes da biomassa de cascas, sementes e vagens de moringa em água contaminada com chumbo, um metal pesado que é tóxico para humanos e animais e prejudicial ao meio ambiente (TAVARES et al., 2017). Além disso, o uso das sementes no tratamento de efluentes da fermentação do café foram propostas como alternativa economicamente viável, uma vez que a produção de café gera água residual rica em nutrientes orgânicos que são prejudiciais para os ecossistemas aquáticos (GADE et al., 2017). Com base na sua capacidade de tratamento de efluentes e água, a moringa tornou-se uma alternativa para a melhoria da saúde pública de comunidades.

Assim como todos os coagulantes, a eficiência das sementes pode variar de uma água para outra. Estudos vêm sendo realizados para determinar riscos potenciais relacionados ao uso das sementes de moringa no tratamento de águas. Parâmetros de toxicidade aguda foram obtidos para *M. oleifera*, faltando ainda ser determinada a dose exata de início da genotoxicidade, para que seja estabelecida uma dosagem segura (AWODELE et al., 2012). O uso é possível pela baixa toxicidade da planta, comprovada em estudos realizados com o extrato das sementes em *Daphnia magna*, *Mus musculus* e *Rattus norvegicus*. Estes percentuais de compostos antinutricionais, cujo consumo pode afetar a produtividade e saúde dos animais, são representados por taninos (1,4%) e saponinas (5%) (FERREIRA et al., 2011).

Apesar das vantagens, a presença de um agente mutagênico solúvel em água nas sementes de moringa tem sido sugerido por Rolim et al. (2011), o que faz de extrema importância à identificação do componente ativo responsável pelo efeito coagulante. No

entanto, os autores deixam claro que WSMoL (water-soluble *Moringa oleifera* lectin) tem sido relatada como não mutagênica, característica que pode nomeá-la como sustentável, segura, ambientalmente correta e ainda pode se revelar um produto natural competitivo quando expresso em formas recombinantes para uso em grande escala. Com isso, até o momento nenhuma evidência foi encontrada de que as sementes possam causar efeitos secundários nos seres humanos, especialmente, com as baixas doses necessárias para o tratamento da água.

3.2. Liofilização

A secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade de produtos agrícolas após sua colheita. A secagem pode ser definida como a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em um produto. Apresenta como principal objetivo o prolongamento da vida de prateleira dos produtos pela redução do teor e atividade de água (KRUMREICH et al., 2016). Para tanto, diferentes técnicas de secagem podem ser aplicadas para reduzir a atividade de água e, assim, atingir o objetivo de conservação.

O tipo de secagem a ser utilizado depende, dentre outros fatores, do produto a ser desidratado, da sua constituição química e das características físicas do produto final desejado (PARK et al., 2014). A temperatura para o processo de secagem da moringa deve ser assegurada para não exceder 60 °C evitando que o teor de proteína seja danificado (HAMID et al., 2016). Dentre as tecnologias mais estudadas para produção de pó, destaca-se a liofilização. Ela tem sido utilizada em vegetais por diversos autores, que obtiveram resultados satisfatórios, como Gregorio et al. (2011) que ao liofilizar cebola roxa concluíram que o processo de liofilização acarreta em um aumento na extração de flavonoides e antocianinas. De acordo com Palacios et al. (2012) na liofilização, o material é congelado e, em seguida, a água é removida da amostra pela redução da pressão da câmara de secagem, de modo a permitir que a água congelada sublime diretamente da fase sólida para a gasosa. Conforme relatam Zotarelli et al. (2012), a liofilização tem sido considerada o melhor processo de secagem de produtos termossensíveis, pois reduz a degradação nutricional e sensorial, devido a retenção de compostos voláteis, além de minimizar a taxa de reações enzimáticas (SOTO et al., 2012).

A liofilização não altera a estrutura físico-química do material, mas permite a sua conservação indefinida sem a cadeia de frio, com menos de 15% de umidade e alta

estabilidade microbiológica, sendo ideal para conservar produtos alimentares, farmacêuticos e biológicos que não devem aquecer nem mesmo a temperaturas moderadas (ROCHA et al., 2011). A liofilização requer o uso de uma máquina especial chamada liofilizador, que tem uma grande câmara de secagem e uma bomba de vácuo para a remoção de água. Devido à redução do teor de água líquida e às baixas temperaturas durante o processo, grande parte das reações de deterioração são prevenidas, levando a um produto final de excelente qualidade. Samoticha et al. (2016), Oberoi e Sogi (2015) e Ghribi et al. (2015) comprovaram em suas pesquisas a eficiência do processo de liofilização frente à preservação dos constituintes de produtos. Agudelo et al. (2016) ao liofilizarem toranjas concluíram que houve uma retenção de 90% dos compostos fitoquímicos. Çalişkan et al. (2015) liofilizaram kiwi, e os resultados mostraram que este método de secagem pode ser aplicado de forma satisfatória para obtenção de um pó que possa ser usado como ingrediente na indústria, visto que o pó apresentou um alto conteúdo de vitamina C.

A redução da umidade, por processos de secagem, permite a redução de peso que é, geralmente, também acompanhada da diminuição do volume, fato que incide na redução dos custos com transporte, embalagem e armazenamento de produtos desidratados, sendo estes, fatores de estímulo para a sua produção e comercialização (JIANG et al., 2019). Portanto, a secagem constitui uma operação fundamental entre as técnicas envolvidas na conservação das qualidades desejáveis de produtos de origem vegetal colhidos com alto teor de água. De acordo com Silva e Almeida (2016), o emprego de novas tecnologias de processamento que favorecem a conservação dos atributos de qualidade de um produto em níveis mais próximos daqueles observados na matéria-prima permite a obtenção de produtos desidratados de melhor qualidade. Isso se deve provavelmente ao ambiente que a liofilização propicia com a pressão do ar diminuída e a imobilização da água em gelo. Os microcristais de gelo evaporam sem romper as estruturas moleculares; feito isso as membranas das proteínas continuam intactas (KARAM et al., 2016).

Vários estudos foram desenvolvidos para extrair o componente ativo da moringa. Em estudo realizado por Mohamed et al. (2015) foram investigados os efeitos da extração do coagulante durante 2 e 15 min e liofilização de 24 e 65 h sob diferentes métodos de extração (extração com água destilada e cloreto de potássio e extração com nitrato de potássio). O estudo mostrou que o uso de soluções salinas para extração de ingredientes ativos em sementes de *M. oleifera* por liofilização foi melhor, comparado

com os demais métodos de extração. Noor et al. (2015) avaliaram a eficácia do extrato liofilizado de moringa na coagulação de águas residuais sintéticas. Os resultados mostraram que o processo de liofilização aumentou a atividade de coagulação da moringa em termos de redução da dosagem em comparação com a não liofilizada. Contudo, a eficiência de remoção melhorou significativamente para o coagulante extraído com água destilada, usando solução salina.

Em alguns países em desenvolvimento e devido ao alto custo e baixa disponibilidade, a aplicação de coagulantes químicos em água e tratamento de águas residuais não é acessível. Estudos recentes apontaram várias desvantagens do uso de sulfato de alumínio como a doença de Alzheimer e outras doenças relacionadas a problemas associados ao alumínio residual no tratamento de água (MOHAMMAD et al., 2013). Além disso, a produção de grandes volumes de lodo e a reação desses com a alcalinidade natural da água resultam em redução de pH e baixa eficiência de coagulação das águas, essas são algumas das desvantagens do sulfato de alumínio.

Sais férricos e polímeros sintéticos também foram usados como coagulantes, mas com sucesso limitado por causa das mesmas desvantagens encontradas no uso de sais de alumínio (ABOULHASSAN et al., 2017). Portanto, é desejável que outras soluções e coagulantes alternativos, ambientalmente mais aceitáveis, devam ser estudados e desenvolvidos a fim de complementar ou substituir o alumínio, sal férrico e polímeros. Nesse contexto, os coagulantes naturais apresentam alternativa viável porque são biodegradáveis e presumem-se serem mais seguros para a saúde humana (NOOR et al., 2013).

3.3. Armazenamento

Embora existam muitos estudos realizados para avaliar a eficiência da moringa como coagulante, ainda não foram estabelecidos trabalhos sobre os efeitos da condição de armazenamento do pó liofilizado em seu desempenho. Apesar de não terem sido encontrados estudos referentes ao armazenamento do pó liofilizado de sementes de moringa, diversas pesquisas desenvolvidas com outros materiais, atestam a eficiência da liofilização na conservação de pós durante armazenamento. Moraga et al. (2012) avaliaram o pó liofilizado de uva, Syamaladevi et al. (2011) estudaram o pó obtido da framboesa e ambos obtiveram resultados satisfatórios. Shofian et al. (2011) estudando o efeito da liofilização nos compostos antioxidantes e atividade antioxidante de frutas tropicais relataram que a liofilização pode ser utilizada como um método viável para o

processamento de frutas como carambola e manga, mantendo a quantidade máxima de ácido ascórbico. Cortez e Soria (2016) ao avaliarem o efeito da liofilização sobre os níveis de nutrientes, polifenóis e oxidantes do leite materno, concluíram que liofilização alcançou uma conservação adequada e pode melhorar o funcionamento do banco de leite, protegendo as propriedades nutricionais do leite humano.

O coagulante usado no tratamento de água é obtido das sementes de moringa, sendo assim, Oliveira et al. (2009) realizaram o estudo de armazenamento das sementes e verificaram que elas permaneceram viáveis por seis meses, quando armazenadas em câmara fria e temperatura ambiente, independente da embalagem, desde que sejam acondicionadas em embalagem hermética. O coagulante obtido de sementes de moringa não deve ser armazenado por mais de 24 horas. Madrona et al. (2012) explica que o extrato das sementes de moringa usado no tratamento de água perde seu poder coagulante com o tempo, devendo ser utilizado em até 3 dias para garantir a eficiência na remoção de cor aparente e turbidez. Katayon et al. (2006) destacam que a elevação do tempo de armazenamento da moringa tende a aumentar a turbidez residual da água. Além disso, produtos naturais são normalmente afetados, como todos os materiais biológicos, à umidade e temperatura. Assim, a conservação das soluções preparadas a partir do coagulante natural possui tempo limitado, já que normalmente ocorre o processo de biodegradação (VALVERDE et al., 2014). Desse modo, é importante estudar o armazenamento e o tipo de embalagem a ser usada no armazenamento do pó liofilizado, a fim de verificar se o poder coagulante em termos de eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos da água é alterado em relação ao tempo de armazenamento. Além da identificação e da quantificação dos atributos físico-químicos do pó que se alteram durante o armazenamento, a fim de monitorar a perda de qualidade.

A preservação das características originais dos produtos por um maior período, após a sua transformação é um dos grandes objetivos da indústria. Assim, as condições de armazenamento, tais como temperatura, umidade, luminosidade, bem como o tipo de material utilizado na confecção da embalagem, são aspectos que devem ser avaliados e controlados, visando à manutenção da qualidade dos produtos durante a sua vida-de-prateleira (LASEKAN, 2014). A vida-de-prateleira do produto pode ser definida como o período de tempo decorrido entre a produção e o consumo do produto durante o qual se mantêm a aceitabilidade pelos consumidores e as características sensoriais e

microbiológicas inalteradas, sem oferecer riscos à saúde do consumidor (MENEZES et al., 2011).

Para o armazenamento de produtos, existem condições ideais que variam largamente de acordo com cada produto e correspondem às condições nas quais esses podem ser armazenados pelo maior espaço de tempo possível sem perda de seus constituintes. O armazenamento, quando bem conduzido, possibilita manter os componentes do produto e evita a proliferação de microrganismos, fungos e insetos, sendo conveniente realizá-la em condições que não permitam a contaminação do produto nem a diminuição dos seus constituintes (SANTOS et al., 2010).

Existem, contudo, alguns fatores que comprometem a vida-de-prateleira, a exemplo das condições de processamento, tipo de embalagem, carga microbiana inicial, tempo e a temperatura de armazenamento. Considera-se a temperatura o fator mais determinante, pois ela pode acelerar a oxidação de certos nutrientes e alterar as propriedades dos produtos (OLIVEIRA et al., 2013).

Um fator relevante para o armazenamento de produtos, principalmente, os secos são os tipos de embalagens que são acondicionados, pois favorecem a manutenção da qualidade do produto (ALEXANDRE et al., 2014). Padrões e regulamentos têm sido desenvolvidos para assegurar que os produtos recebidos pelos consumidores sejam saudáveis, seguros e apresentem qualidades específicas na embalagem. A função fundamental das embalagens é a de proteger o produto (SHAKERARDEKANI; KARIM, 2013).

No armazenamento, o tipo de embalagem empregada pode influenciar nas reações metabólicas, diminuindo o seu ritmo por meio da modificação do microclima criado em seu interior e constituindo-se numa barreira que impede ou dificulta o contato entre o ambiente externo e o produto (REALINI; MARCOS, 2014). A embalagem a ser utilizada vai depender do volume produzido e do tempo em que se pretende armazenar o produto. Em geral, os materiais utilizados como embalagem devem ter máxima impermeabilidade a gases, luz, umidade e devem ser quimicamente inertes (OLIVEIRA et al., 2013).

As embalagens plásticas laminadas com suas propriedades de barreira a gases, vapor d'água, aromas, luz e grande flexibilidade estão cada vez mais presentes nos supermercados por atenderem às exigências do consumidor. Além disso, na indústria de embalagens, a metalização de plásticos vem sendo aplicada para melhorar suas propriedades, como o aumento da resistência à tração, a choque e à flexão, melhoria do

efeito estético para comercialização e diminuição da absorção de umidade (SILVENIUS et al., 2014). De acordo com Endo et al. (2007), as embalagens laminadas são mais efetivas em relação às embalagens de polietileno no que se refere ao prolongamento de vida útil de pós.

Sendo assim, o armazenamento e a embalagem são fatores importantes que afetam a vida de um produto seco. Geralmente, o armazenamento do produto seco é realizado a temperatura ambiente e umidade relativa de 55-70%. A embalagem deve ter barreira à umidade e ser capaz de impedir a transferência de oxigênio para o produto, que deve ter seus atributos de qualidade monitorados e avaliados para garantia da segurança e aceitação (JANGAM et al., 2010). Hamid et al. (2016) reportam sobre o pó obtido das sementes de moringa armazenado em um recipiente hermético e protegido da luz para evitar a oxidação e a degradação das suas propriedades.

As embalagens do tipo sachê absorvem a umidade do produto e difundem vapor de etanol para o espaço livre, inibindo o crescimento microbiano e prolongando a vida de prateleira. Outro fator importante é o tamanho da embalagem de sachê, facilitando o transporte em pequenas bolsas, bolsos, mochilas, dentre outros. Os sachês são facilmente degradáveis quando expostos ao oxigênio, o uso do sachê dentro da embalagem laminada garante uma maior integridade dos produtos (JANGAM et al., 2010).

Uma das principais vantagens apresentadas pelos sachês é a capacidade de reduzir os níveis de oxigênio abaixo de 0,01% (100 ppm) que são significativamente inferiores aos conseguidos pelos métodos físicos (atmosfera modificada, a vácuo e inertização), que possuem um custo consideravelmente mais alto. Porém, os sachês também apresentam algumas desvantagens como a ingestão acidental do material, e a possibilidade de ocorrer a ruptura do sachê (BAYUS et al., 2016).

A melhor embalagem não é necessariamente aquela que apresenta maiores barreiras às ações físicas, químicas e microbiológicas, mas sim aquela que garante, a um custo viável, a barreira necessária para manter a qualidade do produto durante o seu ciclo de vida, ou seja, durante o intervalo entre produção e consumo seguro.

3.4. Tratamento de água

No Planeta, estima-se que existam 97% de água salgada e 3% de água doce. Da água doce disponível, 68,7% encontram-se em áreas congeladas e regiões polares, 29,9% em reservatórios subterrâneos e 0,9% estão presentes na umidade do solo, na

biomassa e no vapor da atmosfera. Apenas 0,3% aproximadamente do volume total de água doce da terra são de águas superficiais, presentes em rios e lagos, mais acessíveis ao uso humano (RODRIGUES; BATISTELA, 2013). O Brasil é detentor de 12% da água doce do planeta; desses, 72% encontram-se na região amazônica e só 3% na região Nordeste. No entanto, muitos dos mananciais utilizados estão cada vez mais poluídos e deteriorados, pela falta de controle ou pela falta de investimentos em coleta, tratamento e disposição final de esgotos e efluentes industriais (ZHANG et al., 2019).

Há um enorme déficit na infraestrutura de saneamento na maioria das cidades brasileiras. Para enfrentar este desafio, é necessário conceber uma nova infraestrutura de saneamento com base nos princípios de sustentabilidade (RIBEIRO et al., 2019). A potabilização das águas naturais para fins de abastecimento público tem como função principal tornar adequada a água bruta que chega à estação de abastecimento, conforme o padrão de potabilidade estabelecido pela portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

A qualidade da água é um indicador essencial para determinar o potencial de reutilização. A qualidade da água varia com localização geográfica, estação do ano, clima, atividades humanas, condições específicas do local e a presença de fontes de poluição (TRAN et al., 2019). A água apresenta três características: as biológicas determinadas por análises microbiológicas para identificação e quantificação de microrganismos; as químicas que são caracterizadas pelo potencial de hidrogênio (pH), alcalinidade e acidez, dureza, cloretos e sulfatos, ferro e manganês, nitritos e nitratos, oxigênio dissolvido, compostos orgânicos. Já para as físicas e para as características sensoriais são consideradas a cor, turbidez, sabor, odor, temperatura e condutividade elétrica (MENBERU et al., 2017). Conforme Zuin et al. (2009) o pH é um importante parâmetro que pode fornecer indícios do grau de poluição, o metabolismo de comunidades ou ainda impactos em um ecossistema aquático. Segundo Henning et al. (2014), a turbidez pode causar sérios danos à saúde, principalmente quando é antropogênica, pois nas partículas agregam-se os microrganismos causadores de diversas doenças de veiculação hídrica e compostos tóxicos.

As principais operações realizadas no tratamento convencional de água são: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. A coagulação é um processo crucial na remoção de partículas dissolvidas e suspensas na água, consistindo na desestabilização das partículas coloidais que podem ser removidas nas etapas seguintes (DOTTO et al., 2019). O coagulante, sem dúvida, tem papel chave nesse

processo. A coagulação trata-se de um tratamento químico que permite a posterior deposição das substâncias em suspensão e em coloides presentes na água, sendo utilizado um composto como sulfato de alumínio ou sulfato ferroso. Por fim, a desinfecção elimina os microrganismos patogênicos que ainda estão presentes na água (LOPES et al., 2019).

A ocorrência dos fenômenos coagulação e/ou floculação química somada à decantação ou sedimentação propiciam a clarificação (MORETI et al., 2013). De acordo com Martín et al. 2012, a clarificação de uma água pode ser definida como sendo a remoção de impurezas que se encontram nela dispersa, conferindo-lhe características de água bruta como a cor aparente e a turbidez que impede a passagem da luz através dela, tornando-a opaca e não translúcida.

Os processos do tratamento convencional de água podem ser simulados em laboratório, através de ensaios de tratabilidade em equipamento como o Jar Test. Desse modo, podem ser testados diferentes coagulantes na água a ser tratada e podem ser simulada também a floculação e a sedimentação, sendo a água analisada antes e depois da realização dessas operações (HUANG et al., 2014). De acordo com Mella et al. (2018), os coagulantes convencionais mais utilizados no tratamento de água são: sulfato de alumínio, cloreto ferroso, cloreto férrico, além de outros.

O sulfato de alumínio destaca-se como o coagulante químico mais utilizado no Brasil, pela boa eficiência e pelo baixo custo. Porém, como o alumínio não é biodegradável, elevadas concentrações desse composto podem ocasionar problemas à saúde humana, inclusive, o aceleração do processo degenerativo do Mal de Alzheimer (LAU et al., 2014).

São cada vez maiores as contraindicações ambientais e para a saúde humana, apresentadas pelo uso de compostos químicos no tratamento de água. Coagulantes naturais de origem vegetal foram usados para o tratamento da água antes do advento dos sais químicos e seu uso foi progressivamente diminuído. O interesse por coagulantes naturais tem ressurgido devido serem biodegradáveis e seguros para a saúde humana.

Entre os novos coagulantes usados para o tratamento de água e águas residuais estão os que podem ser obtidos de sementes de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) Antov et al. (2010), sementes de fava (*Vicia faba*) Kukić et al. (2015), sementes de Nirmali (*Strychnos potatorum*), cactus Zhang et al. (2002), e *Moringa oleifera*, cujo uso resulta em melhor qualidade da água e uma diminuição no uso de coagulantes inorgânicos.

A clarificação da água por sedimentação, utilizando coagulantes naturais, alternativos aos sais metálicos, destaca-se por ser um processo que não requer uso de outros produtos químicos, além de ser um dos processos de tratamento de água de abastecimento simples, que não requer mão de obra especializada, possui custos acessíveis a pequenas comunidades, principalmente, na zona rural (BRILHANTE et al., 2017). Tecnologias de tratamento de água foram desenvolvidas desde o século passado, a fim de proporcionar uma melhor qualidade de água para o consumo humano. A água potável é essencial para a saúde e para o bem-estar de uma comunidade e a água de todas as fontes deve ter alguma forma de purificação antes de beber. Com isso, os coagulantes vegetais representam uma alternativa viável para o tratamento de água, sobretudo, nos países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil.

No Brasil, 83,3% da população brasileira são atendidos com fornecimento de água tratada e 35 milhões de brasileiros ainda não possuem acesso a este serviço. Para cada 100 litros de água tratada, 37% não são consumidas e aproximadamente 50,3% da população do Brasil tem acesso à coleta de esgoto, enquanto mais de 100 milhões de brasileiros ainda não possuem acesso a este tipo de serviço (CARNEIRO et al., 2018). 15,64% da população residem no meio rural, o que representa um total de aproximadamente 5,5 milhões de famílias. Porém, menos da metade tem acesso ao serviço público de abastecimento de água (2.174.414 famílias), o restante é abastecida por poços e/ou nascentes, e quase 700 mil por outros tipos de abastecimento, do total de família rural só 3,45 milhões de famílias utilizam água tratada através da filtração e/ou fervura e/ou cloração, e 2.049.236 famílias não utilizam nenhum tipo de tratamento para suas águas (SILVA et al., 2020).

Em relação à coleta e tratamento de esgoto, a maior parte do tratamento se concentra nas regiões sudeste e centro-oeste com 48,8% e 52,62%, respectivamente, o norte e nordeste apresentam apenas 18,3% e 36,22%, respectivamente, de tratamento de esgoto (SOUSA; COSTA, 2016). Silveira (2013) verificou que sete em cada dez domicílios rurais são atendidos com soluções individuais de abastecimento; desses, a maioria é atendida por poço ou nascente na propriedade seguida pela categoria mais desfavorável (outras formas de abastecimento, com 31%). A urbanização acelerada em todo o planeta produz inúmeras alterações no ciclo hidrológico e aumenta enormemente as demandas para grandes volumes de água, aumentando também os custos do tratamento, a necessidade de mais energia para distribuição de água e a pressão sobre os mananciais. A partir dessa realidade, faz-se necessário o desenvolvimento e uso de

tecnologias simples e de baixo custo que possam ser aplicadas no tratamento dessas águas.

O uso de coagulantes naturais de fontes vegetais foi recentemente relatado na literatura para o tratamento de águas superficiais e industriais (HAMEED et al., 2018). A moringa foi trazida ao Brasil no início do século passado, porém, seu uso como coagulante só teve início a partir de março de 1996, com a vinda da doutora Samia Al Azharia Jahn. Em uma visita ao Nordeste brasileiro, orientou um workshop na cidade de Ouricuri - PE e fez várias palestras em diferentes lugares do Brasil. Jahn trabalha há mais de 20 anos com a moringa, como coagulante, usada como solução alternativa para tratamento de água de casas isoladas na zona rural em países, como o Sudão na África e o Egito na Ásia (ANDRADE; LIRA, 2018). De acordo com os autores, as sementes de *M. oleifera* são indicadas para uso em comunidades de baixa renda no interior do Brasil. Nas comunidades indígenas de Baía da Traição, Paraíba, a moringa foi apresentada à comunidade Lagoa do Mato em 1998 através de uma parceria entre o Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba - CEFET-PB e a Fundação Nacional do Índio - FUNAI unidade regional da Paraíba.

Para Pritchard et al. (2010a), a moringa se mostra competitiva com os tradicionais produtos empregados para coagulação, com a vantagem de ser completamente biodegradável, o que permite a sua total digestão, quando houver etapas biológicas no processo. Devido a sua versatilidade, a moringa apresenta ação efetiva sobre variados tipos de água, assim como diversos tipos de efluentes. Os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos químicos, especificamente em relação à baixa toxicidade e ao baixo índice de produção de lodos residuais (KEOGHA et al., 2017). A utilização de coagulantes para a remoção de cor, turbidez, matéria orgânica e demais impurezas presentes na água tem sido realizada com sucesso no tratamento para a produção de água potável (VERMA; KUMAR, 2016). Assim, a busca por novos coagulantes se torna uma tarefa importante da pesquisa em relação à proteção ambiental.

A utilização de coagulantes naturais é uma opção interessante, de grande valia em termos ecológicos e ambientais no tratamento de água, normalmente, realizado com a adição de coagulantes químicos. Outros aspectos valiosos oferecidos pelos novos coagulantes consistem na disponibilidade abundante na natureza e comportamento multifuncional (AWAD et al., 2013). E não há efeitos tóxicos relatados na literatura até o presente momento (EGBUIKWEM; SANGODOYIN, 2013). Considerando o fato de

que a moringa pode ser produzida localmente, já que se trata de uma planta, o seu uso como coagulante na purificação de água é uma alternativa segura e barata (AWAD et al., 2013). Segundo Egbuikwem e Sangodoyin (2013), é recomendada a utilização desse coagulante natural em áreas rurais, onde não há instalações disponíveis para tratamento de água.

3.4.1. Saneamento rural

De acordo com a Organização Mundial da Saúde e o Fundo das Nações Unidas para a Infância cerca de 4,5 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a saneamento básico seguro. Já a quantidade de moradores do planeta com algum saneamento básico é de 2,3 bilhões (CARNEIRO et al., 2018). O número de pessoas sem acesso à água potável em casa é de 2,1 bilhões em todo o mundo. O saneamento mal feito pode causar cólera, disenteria, hepatite A e febre tifoide. A Organização Mundial de Saúde estima que 94% das diarreias, uma doença evitável, são causadas por água contaminada e falta de saneamento, provocando cerca de 1,5 milhão de mortes anuais de crianças menores de cinco anos (CANGELA; BENETTI, 2018). Além disso, água e saneamento inadequados têm sido associados a outros resultados adversos, incluindo infecções por helmintos, subnutrição infantil e desenvolvimento cognitivo prejudicado (SCLAR et al., 2017).

O saneamento rural, especialmente em países de dimensões continentais como o Brasil, é marcado por desafios inerentes à ampla diversidade sociocultural e ambiental, modos de ocupação de seu território, apresentando singularidades nas distintas práticas sanitárias (SILVA et al., 2019). As ações de saneamento são um potencial instrumento de redução da vulnerabilidade socioambiental, pois estabelecem condições para que os territórios habitados se consolidem como territórios saudáveis e sustentáveis, fomentando o fortalecimento dos vínculos entre as pessoas e os lugares que habitam (MACHADO et al., 2017).

No Brasil, o déficit em serviços de saneamento é alto, concentrando-se em áreas rurais e periferias de centros urbanos, onde reside a população mais pobre (SILVEIRA, 2013). As estimativas mostram que mais de 1,9 milhão de famílias vivem sem acesso adequado ao consumo de água tratada na região semiárida brasileira (SILVA et al., 2020). A região rural do nordeste do Brasil é, historicamente, muito afetada pela falta de investimentos públicos e, conseqüentemente, pela carência de serviços básicos de saneamento (SALLES; LIMA, 2017). Tal passivo identificado no país tem sido

apontado como resultado da pouca iniciativa governamental em áreas rurais, falhas relativas ao monitoramento da qualidade dos serviços, baixa capacidade técnica e de captação de recursos, falhas legislativas, além do desconhecimento por parte dos formuladores de políticas públicas acerca da população rural (KAYSER et al., 2015). Novas visões do conceito de ruralidade e de saneamento rural, bem como uma concepção diferente de saneamento rural, ajudariam a subsidiar a elaboração de programas, projetos e ações.

Durante a história do saneamento no Brasil existiram fatores que dificultaram o progresso ao longo dos anos. Kayser et al. (2015) inferem que, apesar da predominância de pesquisas voltadas para soluções técnicas para o saneamento, as falhas de governança podem explicar alguns dos obstáculos enfrentados para se atingir a universalização de serviços de saneamento. Neste estudo, especificamente sobre os serviços de abastecimento de água, os autores apontam falhas no Brasil relativas ao monitoramento da qualidade dos serviços, falta de capacidade técnica disponível para manutenção e operação dos sistemas, além das falhas legislativas. Eles ainda alegam a falta de capacidade para se captar recursos, principalmente nas áreas rurais brasileiras, ainda impedem que o desenvolvimento dessa área não tenha atingido crescimento expressivo durante esse período.

Roland et al. (2019) concluíram em sua pesquisa sobre a ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico, que enquanto as regiões urbanas brasileiras, tipicamente adensadas, são marcadas por maior utilização de soluções de saneamento coletivas, predominando altas taxas de atendimento, especialmente para o abastecimento de água, localidades rurais são caracterizadas por complexa interação entre características climáticas e geográficas, densidade populacional, interação com áreas urbanas e disponibilidade financeira, que condicionam soluções muito variáveis.

A abordagem ao planejamento de ações voltadas para o saneamento básico em áreas rurais enfrenta vários desafios que impõem dificuldades a sua consolidação e obstáculos a sua incorporação nas agendas locais (FERREIRA et al., 2019). O principal desafio é que o planejamento municipal tem enfoque predominantemente construído sob uma perspectiva urbanística, voltada a áreas urbanas, deixando aspectos de planejamento ambiental e de outras políticas setoriais, especialmente nas áreas rurais, sem a devida atenção (SANTOS; RANIERI, 2018). Um aspecto usualmente utilizado para justificar a desatenção dos governantes a seus espaços rurais está relacionado à

falta de clareza sobre a quem cabe a competência de planejar, gerir e tributar os espaços rurais, especialmente quando há diferença de valor e de gestor do imposto pago em propriedades rurais e em propriedades em áreas urbanas (MESQUITA; FERREIRA, 2017).

Em vista da atual situação e tentando suprir as lacunas institucionais existentes, em 2013, foi recomendado pelo Plano Nacional de Saneamento Básico - PLAN SAB, a elaboração do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), que destinará verbas, e principalmente recomendará ações, para a promoção do avanço na cobertura de saneamento no meio rural (SILVA et al., 2019). O programa é voltado para as administrações municipais, consórcios ou prestadores de serviços públicos, instâncias de gestão para o saneamento rural, como cooperativas e associações comunitária, e visa à atender a população rural com o conjunto de ações de saneamento básico, integradas com o Programa Territórios da Cidadania e com o Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável, entre outros (BRITO et al., 2012).

A identificação de diferentes iniciativas voltadas para o atendimento das demandas sanitárias dispersas no território brasileiro, que representam avanços na superação de problemas relativos ao saneamento precário, mostra que é possível ampliar ações capazes de melhorar as condições de vida das diversas comunidades rurais (originais, tradicionais e as modernas) distribuídas pelo território brasileiro (SILVA et al., 2019). Ao longo do século passado, muitos avanços tecnológicos foram desenvolvidos para melhorar a proteção das fontes de água e tratamento de água para consumo humano; no entanto, muitos países ainda enfrentam obstáculos que reduzem a sua capacidade de assegurar a entrega de água potável segura ao longo do tempo, e em todo o país (CLASEN et al., 2014).

Em uma análise conjunta das condições de abastecimento de água e esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil, Heller et al. (2014), associaram as condições às características do rural brasileiro, através de uma abordagem sobre a adequabilidade do conjunto abastecimento-esgotamento. Os resultados mostraram que apenas 17% dos domicílios rurais apresentam forma adequada de abastecimento de água e esgotamento sanitário simultaneamente. E em relação aos resíduos sólidos, os autores apontam que a prática da queima é realizada predominantemente em todas as macrorregiões brasileiras, somando 58,4% da população. A forma de afastamento do lixo mais comum é a coleta de lixo direta por serviço de limpeza, somando 20,4% dos domicílios rurais. Percebe-se que ainda são grandes os desafios para a universalização dos serviços de saneamento em

vista do déficit que se configura no país. Para Davis et al. (2019) apesar da importância e da necessidade de acesso universal ao saneamento seguro, os sistemas de saneamento continuam a falhar. Portanto, há uma necessidade de compreender de forma abrangente e sistemática por que é que os sistemas ainda estão a falhar para evitar resultados negativos e alcançar o sucesso do saneamento.

Para Zorzi et al. (2016), os governos deveriam reafirmar o compromisso de que o acesso à água e ao saneamento se caracterizam como direito humano básico perante a declaração de Kyoto, além de respeitar e proteger os direitos humanos em todas as decisões políticas sobre a água na gestão dos recursos hídricos. A equidade no uso e distribuição da água, bem como o acesso ao abastecimento de água para comunidades rurais são pontos fortes a serem destacados. Novas tecnologias para o tratamento da água são essenciais para a redução de poluentes, especialmente patógenos, produzindo água segura para consumo humano de acordo com os parâmetros técnicos exigidos por lei (VALVERDE et al., 2018).

O acesso à água potável é essencial à saúde, constituindo-se em uma ação prioritária na proteção à saúde da população. Em locais onde não há abastecimento de água por rede de distribuição ou inexistem fontes melhoradas de água, é possível fazer o tratamento de água no ponto de uso para torná-la mais segura para o consumo humano. Vários autores têm descrito métodos de purificação da água em nível familiar ou descentralizado (LOO et al., 2012). Para qualquer aplicação de tecnologia social envolve de alguma maneira um processo de adequação sociotécnica. A profundidade depende da distância em que a tecnologia em questão está dos valores e concepções dos atores e do contexto envolvido. Costa (2013) apresenta e analisa diversas experiências em saneamento que incorporaram o uso de tecnologias sociais. Em seu estudo, destaca o Programa Água Doce; a tecnologia social e tratamento de esgoto na área rural; e a construção de calhas para telhados com garrafas PET. Uma alternativa que pode ser utilizada, em determinadas situações, é a aplicação de pó de sementes de *Moringa oleifera* para clarificar águas turvas. Esse método tem sido estudado por vários autores, em geral, com resultados satisfatórios (CAMACHO et al., 2017).

Extratos de sementes de *M. oleifera* foram usados como coagulante para clarificar água bruta que abastece uma estação de tratamento de água por Cangela e Benetti (2018). Sob as condições ótimas de concentração do coagulante, pH e tempos de mistura, houve uma remoção de 80% e 94%, respectivamente, para cor aparente e turbidez. A clarificação com moringa permitiu, também, a redução de 99,5% de

coliformes totais e *E. coli* após filtração do sobrenadante em tecido de algodão. Os ensaios realizados demonstraram o potencial do uso de sementes de moringa para clarificar águas turvas. A técnica pode ser usada em nível domiciliar ou em situações em que não haja água segura para abastecimento, e onde existam árvores de moringa para coleta de sementes.

3.4.2. Métodos alternativos para aplicação de coagulante à base de moringa em água para consumo humano

As preocupações com a disponibilidade de água potável exigiram uma nova conscientização sobre esse recurso, ou seja, a otimização do uso e da busca de tratamento de qualidade a baixo custo que esteja disponível para os vários segmentos da sociedade. Em locais onde não há políticas definidas quanto ao tratamento da água, como pequenas comunidades, deve haver uma busca de tecnologias adequadas à qualidade da água a ser tratada, com o uso de material disponível na sociedade, inserção da população nas etapas de pesquisa, implantação, desenvolvimento e manutenção de tratamento e priorizar o baixo custo e a facilidade subsequente para a empresa em questão (BRILHANTE et al., 2017).

Comunidades rurais apresentam características peculiares que influenciam diretamente na implantação de serviços de saneamento. Para Nascimento e Heller (2005), a dispersão e a baixa densidade populacional são os principais fatores que dificultam a implantação de ações de saneamento na zona rural. Esses autores consideram que a apropriação da tecnologia pela população é uma das problemáticas em tais situações. Sendo assim, nas comunidades em que não existe tratamento de água, onde as plantas de moringa estão disponíveis ou podem ser convenientemente plantadas, os pós das sementes podem fornecer um excelente meio para tratamento da água, pois se apresenta como um método sustentável e rentável e, portanto, pode contribuir significativamente com a melhoria da saúde em comunidades, principalmente, rurais (KEOGHA et al., 2017).

De acordo com Andrade e Lira (2018), existe a necessidade de difusão de técnicas de tratamento de águas em comunidades rurais, uma vez que este identificou o consumo de água in natura pela maioria da população entrevistada. Tecnologias de tratamento de água para comunidades rurais devem apresentar simplicidade operacional e baixo custo uma vez que, normalmente, o próprio usuário é o responsável pela implantação e

monitoramento do sistema. O uso de coagulantes naturais, método direto de aplicação e sistemas de filtração são alguns dos tipos de tecnologias indicadas para esta população.

Em estudos com aplicação do coagulante líquido, verificou-se rápido entupimento dos filtros devido ao incremento de matéria orgânica na água. Trabalhos desenvolvidos utilizando a moringa aliada à filtração no tratamento de água evidenciaram bons resultados (FRANCO et al., 2012). Após filtração direta, Babu e Chaudhuri (2005) verificaram valores de turbidez variando entre 0,3 e 1,1 NTU. Heredia e Martín (2009) notaram redução de turbidez de 100% após filtração. Na filtração lenta e Franco et al. (2012) constataram redução de turbidez de 99%.

Resultados sobre o efeito coagulante de sementes de moringa, em ensaios em Jar Test, foram obtidos por Taiwo et al. (2020), a proteína coagulante da *M. oleifera* tem demonstrado atividade de biocoagulação, que é uma propriedade explorável, uma vez que os parâmetros de qualidade da água tratada com a proteína satisfaz a maioria dos padrões de qualidade para essa, portanto, demonstra o potencial de aplicação do pó obtido das sementes no tratamento de água. A principal preocupação no uso de moringa para o tratamento de água é o aumento significativo da carga orgânica, uma vez que as matérias orgânicas provenientes das sementes podem ser liberadas na água durante o tratamento (LO MONACO et al., 2013). A presença de matéria orgânica em água tratada pode causar problemas de cor, sabor e odor, e também facilita o desenvolvimento de microrganismos após o armazenamento (SILVA et al., 2015).

Poumaye et al. (2012) constataram que a moringa é eficiente na clarificação da água, porém a etapa de filtração é necessária para a remoção da matéria orgânica introduzida pelo coagulante. O uso do pó obtido das sementes de moringa confinado em sachê já foi reportado por Pritchard et al. (2010b). Os referidos autores afirmaram que, embora essa técnica tenha ocasionado redução significativa da turbidez na realização de ensaios de sedimentação, mais estudos são necessários para aperfeiçoar a aplicação do coagulante. Segundo Aboulhassa et al. (2016), os coagulantes naturais de origem vegetal têm se mostrado eficientes no tratamento de efluentes industriais, como da indústria têxtil, esgoto sanitário e na remoção de herbicidas de soluções aquosas (LO MONACO et al., 2013). E, de acordo com Yin (2010) e Awad et al. (2013) esses coagulantes têm sido amplamente difundidos, principalmente devido ao alto potencial biodegradável.

Para a variável turbidez, Arantes (2014), verificou que o sachê confeccionado a partir de filtro de papel foi o que conferiu menor turbidez à água destilada e deionizada

ao longo do tempo. Resultados obtidos pelo autor comprovam que o uso de sachê apresenta potencialidade para aplicação, quando se considera a redução de turbidez e cor aparente. Como os sachês se mostraram eficientes na redução de turbidez e cor aparente, conclui-se também que o uso pode ser mais uma possibilidade de aplicação do coagulante a ser oferecida para a população.

O tratamento de água com sementes de *M. oleifera* tem sido proposto como uma alternativa mais barata e mais efetiva, especialmente em áreas rurais, onde a acessibilidade e baixos custos a esses produtos são fundamentais para manter os padrões de tratamento de água. Além disso, o uso de sementes evita a acumulação de resíduos e mantém melhores valores de pH após a remoção da turbidez da água, sem exigir equipamentos sofisticados para a dosagem de pH, nem instalações especiais para tratamento de água (FREITAS et al., 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Matéria-prima

Coletaram-se as sementes de moringa na Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Cajazeiras, PB (Tabela 4.1). No Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB, estas foram selecionadas e guardadas em sacos plásticos até o momento de serem utilizadas.

Tabela 4.1. Média climática do período de coleta das sementes de *M. oleifera*.

Parâmetro	Ano	Meses											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitação total (mm)	2016	184	30,7	308	115	30,6	10,1	0,5	0	0	11,9	0	10
	2017	104	191	139	68,9	55,6	50,4	73,1	0	0	0	0	1
	2018	62,4	323	89,5	268	19,1	10,8	0	0	0	0	6,3	132
	2019	109	157	244	139	152	7,5	22,7	6	0,7	0,2	0,9	4,7
*UR%	2016	79,5	74,8	78,4	81,7	74,3	68,2	59	57,8	58,2	53,2	53,7	58,3
	2017	63,3	77,7	83,6	79,8	77,3	72,7	71,2	60,4	51,8	50,4	58,3	59,1
	2018	66,4	80,0	80,0	87,0	80,5	71,0	64,1	60,1	56,8	60,0	58,7	72,3
	2019	75,8	80,9	81,1	83,6	83,1	74,9	70,3	56,1	55,9	53,8	60,2	59,6
Insolação total (h)	2016	213	277	294	273	286	279	310	338	326	339	329	226
	2017	297	240	250	275	242	243	210	322	321	333	301	289
	2018	250	225	277	207	268	267	285	329	322	307	298	276
	2019	276	236	247	274	255	232	203	299	308	324	321	323

Fonte: INMET (2020). *UR: Umidade relativa.

4.2. Produção e caracterização do pó in natura

No LAPPA, as sementes foram descascadas manualmente e trituradas em liquidificador doméstico. Caracterizou-se o pó in natura quanto aos parâmetros físicos e físico-químicos:

4.2.1. Cor (L*, a*, b*, Chroma C* e índice de escurecimento)

Obtiveram-se em colorímetro MiniScan HunterLab XE Plus, os valores de L*, a* e b*, em que L* (luminosidade) varia do preto (0) ao branco (100); o a*, do verde (-a) ao vermelho (+a) e o b*, do azul (-b) ao amarelo (+b). Com os dados de a* e b* calcularam-se o Chroma (C*), que corresponde à saturação ou intensidade da cor, em que 0 representa a cor impura e 60 a cor pura (Eq. 4.1) e o índice de escurecimento (BI) (Eq. 4.2):

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4.1)$$

$$BI = 100 \cdot x \cdot (x - 0,31 / 0,17) \quad (4.2)$$

$$x = \frac{(a + 1,75 \cdot L)}{(5,645 \cdot L + a - 3,012 \cdot b)}$$

4.2.2. Solubilidade

Para determiná-la, utilizou-se a metodologia descrita por Eastman e Moore (1984), modificada por Cano-Chauca et al. (2005), em que 1 g de pó foi pesado em um recipiente contendo 50 mL de água destilada à temperatura de 25 °C, sob agitação em agitador magnético. Após 5 minutos de agitação, filtrou-se a solução e, o filtro, com as partículas não dissolvidas, secou-se em estufa a 70 °C durante 24 h. Calculou-se o percentual de solubilidade a partir da diferença entre o peso final e o inicial do material no pesa-filtro, de acordo com Equação 4.3:

$$\text{Solubilidade}(\%) = \frac{\text{Massa de pó no sobrenadante}}{\text{Massa de pó total}} \times 100 \quad (4.3)$$

4.2.3. Higroscopicidade

Determinou-se de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com modificações. 0,5 g dos pós foram pesados em cápsulas de alumínio, colocadas em um recipiente hermético, contendo uma solução saturada de NaCl, os quais foram levados a uma estufa BOD a 25 °C e UR $\pm 75\%$ por sete dias, com posterior pesagem dos pós. A higroscopicidade foi expressa em g de água adsorvida por 100 g de massa seca da amostra.

4.2.4. Densidade compactada

Para determinação da densidade compactada, pesou-se uma massa do extrato em pó até completar uma proveta graduada de 10 mL. Obteve-se a densidade compactada a partir da massa contida na proveta depois de ser batida manualmente 50 vezes sobre a superfície de uma bancada, conforme metodologia de Tonon et al. (2013) modificada e calculada, conforme Equação 4.4:

$$\rho_c = \frac{m_s}{V_c} \quad (4.4)$$

Em que:

ρ_c : densidade compactada, g/mL;

m_s : massa do sólido, g;

V_c : volume do sólido após compactação, mL.

4.2.5. Densidade aparente

Determinou-se segundo o método utilizado por Caparino et al. (2012) com modificações, em que 3 g do pó de moringa foram pesados em proveta graduada de 10 mL sem compactação, para determinação do volume total ocupado pelo sólido. Calculou-se a densidade aparente, conforme Equação 4.5:

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_t} \quad (4.5)$$

Em que:

ρ_a : densidade aparente, g/mL;

m_s : massa do sólido, g;

V_t : volume total, mL.

4.2.6. Densidade real

Pesou-se 1 g do pó de sementes de moringa em uma proveta graduada de 10 mL. Adicionou-se a uma bureta de 25 mL, óleo até que a proveta completasse 10 mL, fez-se a leitura da quantidade de óleo que sobrou na bureta e assim se determinou quanto do líquido foi necessário para completar 10 mL na proveta, de acordo com metodologia de Hawkes (2004) adaptada. Então, calculou-se a densidade real conforme Equação 4.6:

$$Dr = \frac{M}{V_p - V_a} \quad (4.6)$$

Em que:

Dr : densidade real, g/mL;

M : massa da amostra, g;

V_p : volume da proveta, mL;

V_a : volume de óleo gasto para completar a proveta, mL.

4.2.7. Índice de compressibilidade - IC

Calculou-se de acordo com Equação 4.7 de Yusof et al. (2012).

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (4.7)$$

Em que:

IC: Índice de compressibilidade, %;

ρ_c : densidade compactada, g/mL;

ρ_a : densidade aparente, g/mL.

4.2.8. Fator de Hausner - FH

Determinou-se a partir da densidade aparente (ρ_a) e de compactação (ρ_c), de acordo com a metodologia de Hausner (1967), Equação 4.8:

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (4.8)$$

Em que:

FH: Fator de Hausner;

ρ_c : densidade compactada, g/mL;

ρ_a : densidade aparente, g/mL.

4.2.9. Porosidade

Quantificou-se utilizando o método de Krokida e Maroulis (1997), Equação 4.9:

$$\varepsilon\% = 1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_r} \right) \times 100 \quad (4.9)$$

Em que:

$\varepsilon\%$: porosidade, %;

ρ_a : densidade aparente, g/mL;

pr: densidade real, g/mL.

4.2.10. Teor de água

Obteve-se pelo método de secagem das amostras em estufa a 105 °C durante 24 h (BRASIL, 2008).

4.2.11. Atividade de água

Analisou-se através de leitura direta das amostras na temperatura de 25 °C, em higrômetro Aqua-Lab, modelo 3TE marca Decagon Devices, Inc.

4.2.12. pH

Determinou-se por leitura direta da amostra homogeneizada em pHmetro digital.

4.2.13. Acidez total titulável

Obteve-se por titulometria conforme metodologia de Brasil (2008).

4.2.14. Cinzas

Determinaram-se as cinzas através da incineração das amostras em mufla aquecida a 550 °C (BRASIL, 2008).

4.2.15. Proteínas

Quantificou-se o teor de proteína total pelo método Micro-Kjeldahl, que consistiu na determinação do nitrogênio total. Para converter o resultado em proteína, utilizou-se o fator 6,25, recomendado para proteínas de vegetais, de acordo com a metodologia descrita por Brasil (2008).

4.2.16. Lipídios

Extraíram-se seguindo o método modificado de Bligh e Dyer (1959). Utilizaram-se 2,5 g da amostra que, depois de agitada por 30 min em agitador magnético, 5 mL da amostra foram levados à estufa por 2 h a 80 °C até evaporar o solvente. Posteriormente, as amostras foram postas para esfriar em dessecador e, em seguida, pesadas. A massa resultante desse processo foi a quantidade de lipídios, os quais se determinou pela Equação 4.10.

$$\frac{P \times 4}{g} \times 100 \quad (4.10)$$

Em que:

P: peso dos lipídios contidos nos 5 mL, g;

g: peso da amostra, g.

4.2.17. Carboidratos

Calculou-se por diferença, conforme Equação 4.11 (BRASIL, 2008).

$$\text{Carboidratos\%} = 100 - (\text{umidade \%} + \text{cinzas \%} + \text{proteínas \%} + \text{lipídios\%}) \quad (4.11)$$

4.3. Produção e caracterização física e físico-química do pó liofilizado

As sementes foram descascadas manualmente e trituradas em liquidificador doméstico. Para liofilização, utilizou-se um liofilizador de bancada modelo L101 (Figura 4.1). Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições, compostos pela adição de 20, 30, 40 e 50 mL de água destilada para formação das pastas a serem liofilizadas. Em seguida, acondicionaram-nas em formas plásticas e submeteram-nas a congelamento em freezer a -18 °C por 24 h (SANTOS et al., 2016). Depois, liofilizaram-se as amostras congeladas à temperatura de -54 °C por 72 h.



Figura 4.1. Liofilizador de bancada modelo L101.

Analisou-se o extrato liofilizado quanto às seguintes características físicas e físico-químicas: cor L*, a*, b*, Chroma C* e índice de escurecimento (subitem 4.2.1), solubilidade (subitem 4.2.2), higroscopicidade (subitem 4.2.3), densidade compactada (subitem 4.2.4), densidade aparente (subitem 4.2.5), densidade real (subitem 4.2.6), índice de compressibilidade (subitem 4.2.7), fator de Hausner (subitem 4.2.8), porosidade (subitem 4.2.9), teor de água (subitem 4.2.10), atividade de água (subitem 4.2.11), pH (subitem 4.2.12), acidez total titulável (subitem 4.2.13), cinzas (subitem 4.2.14), proteínas (subitem 4.2.15), lipídios (subitem 4.2.16) e carboidratos (subitem 4.2.17).

4.4. Obtenção da água de forma artificial

Para a obtenção da água artificial, avaliaram-se três parâmetros de qualidade: *pH* determinado adicionando-se 0,25 g de carbonato de sódio à água destilada a fim de obter valor superior ao permitido (9,5); *turbidez*, obtida de forma artificial com aplicação de 0,5 g de argila (5 NTU); *cor aparente* determinada a partir da água adicionada de 0,5 g de argila (15 *uH*). Os valores máximos permitidos foram os estabelecidos pela portaria n° 5 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017).

4.5. Teste de dosagem do coagulante

Utilizou-se o equipamento Jar Test nos ensaios de coagulação/floculação e sedimentação da água, em jarros de 1000 mL contendo 500 mL de água a ser tratada (Figura 4.2). Para determinação da dosagem do coagulante a ser usado no tratamento da água, aplicaram-se diferentes dosagens do pó (12, 16, 18 e 24 g).



Figura 4.2. Equipamento Jar Test.

Realizou-se o processo em dois tempos. O primeiro para a homogeneização da amostra ($T_1 = 3$ min) e o segundo, para a coagulação/floculação ($T_2 = 10$ min), a uma rotação de 160 rpm, conforme a metodologia de Pereira et al. (2015), adaptada. Após a coagulação/floculação, desligou-se o Jar Test e as amostras mantiveram-se em repouso por 45 min, para que ocorresse a sedimentação do material floculado. Em seguida, retiraram-se 50 mL de cada amostra para as análises em triplicata dos parâmetros:

4.5.1. pH

Obteve-se em leitura direta das amostras em pHmetro digital.

4.5.2. Turbidez

Determinou-se utilizando turbidímetro digital microprocessado modelo DLT-WV.

4.5.3. Cor aparente

Analisou-se em analisador de cor PCU HI727, método Platina-Cobalto, adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON et al., 2005).

4.6. Ensaio de sedimentação da água

Realizaram-se os ensaios dos tempos de sedimentação em 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 min com a melhor dosagem do coagulante.

O Jar Test foi ligado durante 3 e 10 min a uma velocidade de 160 rpm para que ocorresse o processo de coagulação/floculação, de acordo com metodologia descrita anteriormente. Em seguida, desligou-se o aparelho e as amostras mantiveram-se em repouso para que ocorresse a sedimentação do material floculado. Logo após cada tempo de estudo, retiraram-se 50 mL de cada amostra para as análises em triplicata dos parâmetros: pH (subitem 4.5.1), turbidez (subitem 4.5.2) e cor aparente (subitem 4.5.3).

4.7. Estudo de métodos de aplicação de coagulante à base de moringa no tratamento de água para consumo humano

Após os estudos da concentração do coagulante e do tempo de sedimentação estudaram-se quatro métodos de aplicação do coagulante obtido do pó liofilizado no tratamento de água: direto, líquido, filtro e sachê. Realizou-se a aplicação em ensaios no Jar Test.

4.7.1. Método direto

Na aplicação do método direto usaram-se amostras de águas destiladas preparadas artificialmente com o objetivo de proporcionar a quantidade máxima dos parâmetros analisados, conforme legislação brasileira para água potável. A dosagem do coagulante determinada em etapa anterior foi adicionada a 500 mL da água artificial de turbidez com valor máximo de pH 9,5, turbidez 5 NTU e cor aparente 15 uH (mg Pt Co/L), conforme Brasil (2017) (Figura 4.3). O Jar Test foi ligado a uma velocidade de 160 rpm durante 3 e 10 min, conforme metodologia descrita nos subitens 4.5, 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3.



Figura 4.3. Método direto de aplicação de coagulante.

4.7.2. Método líquido

A dosagem do coagulante determinada em etapa anterior foi adicionada a 100 mL de água destilada. Ela foi homogeneizada em agitador magnético por 1 min (Figura 4.4). Em seguida, adicionaram-nas aos jarros do Jar Test, conforme subitens 4.5, 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3.



Figura 4.4. Método líquido de aplicação de coagulante.

4.7.3. Método de filtro

Para esta aplicação, utilizou-se um filtro reutilizável e adicionaram-se ao pó 100 mL de água destilada (Figura 4.5). Posteriormente, homogeneizou-se a solução em agitador magnético por 1 min e em seguida filtrou-se dentro dos jarros do Jar Test. Depois, este foi ligado a uma velocidade de 160 rpm por 3 e 10 min, conforme metodologia referenciada nos subitens 4.5, 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3.



Figura 4.5. Método de aplicação de coagulante com filtro.

4.7.4. Método de sachê

Para cada parâmetro analisado, fixou-se no interior dos jarros do Jar Test um sachê, contendo o coagulante obtido do pó de moringa, com base na dosagem estudada em etapa anterior (Figura 4.6). Após a adição dos sachês aos jarros, ligou-se o Jar Test a uma velocidade de 160 rpm durante 3 e 10 min, seguindo as metodologias dos subitens 4.5, 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3.



Figura 4.6. Método de aplicação de coagulante com sachê.

4.7.5. Análise estatística

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos, correspondentes aos métodos de aplicação do coagulante: direto, líquido, filtro e sachê, com três repetições. Submeteram-se os dados à análise de variância e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

4.8. Armazenamento do pó liofilizado

No LAPPA, armazenou-se o pó por 180 dias em temperatura controlada de 25 °C fornecida por uma BOD, em três tipos de embalagens: laminada, sachê e embalagem mista, com avaliações a cada 60 dias (0, 60, 120 e 180 dias), em que foram estudadas: (a) análises físicas e físico-químicas do pó; (b) análises microbiológicas do pó liofilizado e (c) eficiência do coagulante no tratamento da água:

(a) avaliaram-se as características físicas e físico-químicas do pó: cor L^* , a^* , b^* e índice de escurecimento (subitem 4.2.1), solubilidade (subitem 4.2.2), higroscopicidade (subitem 4.2.3), densidade compactada (subitem 4.2.4), densidade aparente (subitem 4.2.5), índice de compressibilidade (subitem 4.2.7), fator de Hausner (subitem 4.2.8), teor de água (subitem 4.2.10), atividade de água (subitem 4.2.11), pH (subitem 4.2.12), acidez total titulável (subitem 4.2.13), cinzas (subitem 4.2.14), proteínas (subitem 4.2.15), lipídios (subitem 4.2.16) e carboidratos (subitem 4.2.17).

(b) realizaram-se as análises microbiológicas do pó (coliformes totais e termotolerantes, e *Escherichia coli*) no laboratório de Microbiologia de Alimentos do IFPB Campus Sousa;

(c) a eficiência do pó liofilizado no tratamento da água foi avaliada em função do tempo de armazenamento. Para a determinação da eficiência do coagulante, avaliaram-se o pH, a turbidez e a cor aparente, conforme metodologia descrita anteriormente (subitens 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3). A eficiência para cada parâmetro foi calculada de acordo com a Equação 4.12, adaptada de Fayos et al. (2016), em que os valores inicial e final foram substituídos pelo valor do respectivo parâmetro analisado.

$$\text{Eficiência do coagulante}(\%) = \frac{\text{Valor do parâmetro inicial} - \text{Valor do parâmetro final}}{\text{Valor do parâmetro inicial}} \times 100 \quad (4.12)$$

4.8.1. Coliformes totais e termotolerantes

Realizaram-se os testes confirmativos para coliformes totais em caldo Lactose Bile Verde Brilhante (VB) a 35 °C por 24-48 h e coliformes termotolerantes em caldo *Escherichia coli* (EC) a 45,5 °C por 24 h. Os valores de NMP.g⁻¹ foram calculados de acordo com APHA (2001).

4.8.2. *Escherichia coli*

Para confirmação da presença de *Escherichia coli*, uma alçada de tubos contendo caldo EC que apresentarem turbidez, com ou sem produção de gás no interior do tubo de Durhan, foi semeada em placas de Petri contendo Ágar Eosina Azul de Metileno (EMB). As placas foram incubadas a 35 °C por 24-48 h (APHA, 2001).

4.8.3. Análise estatística

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3, com três repetições; sendo quatro tempos de armazenamento (0, 60, 120 e 180 dias) e três tratamentos (embalagem laminada, sachê e mista). Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

5. REFERÊNCIAS

ABOULHASSAN, M. A.; SOUABI, S.; YAACOUBI, A.; BAUDU, M. Coagulation efficacy of a tannin coagulant agent compared to metal salts for paint manufacturing wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 41, p. 1-7, 2016.

AGUDELO, C.; IGUAL, M.; CAMACHO, M.; NAVARRETE, M, N. Effect of process technology on the nutritional, functional, and physical quality of grapefruit. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 1, p. 61-74, 2016.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 5, p. 83-91, 2014.

ANDRADE, T. M.; LIRA, K. G. Antibacterial activity of the white lily *Moringa oleifera* seed extract and its use in water treatment. **Brazilian Journal of Biological Sciences**, v. 5, n. 11, p. 699-707, 2018.

ANTOV, M. G.; ŠĆIBAN, M. B.; PETROVIĆ, N. J. Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 2167-2172, 2010.

APHA. American Public Health Association. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4. ed. Washington, p. 676, 2001.

ARANTES, C. C.; 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, C. C. **Aplicação de coagulante à base de pó de sementes de *Moringa oleifera* confinado em sachês no tratamento de água**. 2014. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

AWAD, M.; WANG, H.; LI, F. Preliminary study on combined use of moringa seeds extract and PAC for water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 2, n. 8, p. 52-55, 2013.

AWODELE, O.; OREAGBA, I. A.; ODOMA, S.; SILVA, J. A. T.; OSUNKALU, V. O. Toxicological evaluation of the aqueous leaf extract of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 139, p. 330-336, 2012.

BABU, R.; CHAUDHURI, M. Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. **Journal of Water and Health**, v. 3, p. 27-30, 2005.

BAYUS, J.; GE, C.; THORN, B. A preliminary environmental assessment of foil and metallized film centered laminates. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 115, p. 31-41, 2016.

BAPTISTA, A. T. A.; COLDEBELLA, P. F.; CARDINES, P. H. F.; GOMES, R. G.; VIEIRA, M. F.; BERGMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Coagulation-flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. **Chemical Engineering Journal**, v. 276, p. 166-173, 2015.

BATISTA, R. F.; FILHO, L. C. A. L.; SILVA, J. B. A.; DUTRA, I.; SANTOS, D. B. Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de água superficial no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 186-198, 2013.

BARRADO-MORENO, M. M.; BELTRAN-HEREDIA, J.; MATÍN-GALLARDO, J. Microalgae removal with *Moringa oleifera*. **Toxicon**, v. 110, p. 68-73, 2016.

BICHI, M. H. A review of the applications of *Moringa oleifera* seeds extract in water treatment. **Civil and Environmental Research**, v. 3, n. 8, p. 1-10, 2013.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Journal Biochemistry Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4 ed. Digital, São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 out. 2017.

BRILHANTE, R. S. N.; SALES, J. A.; PEREIRA, V. S.; CASTELO-BRANCO, D. S. C. M.; CORDEIRO, R. A.; SAMPAIO, C. M.S.; NETO PAIVA, M. A.; SANTOS, J. B. F.; SIDRIM, J. J. C.; ROCHA, M. F. G. Research advances on the multiple uses of *Moringa oleifera*: A sustainable alternative for socially neglected population. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v. 10, n. 7, p. 621-630, 2017.

BRITO, A. L. N. P.; LIMA, S. C. R. B.; HELLER, L.; CORDEIRO, B. S. Da fragmentação à articulação: a Política Nacional de Saneamento e seu legado histórico. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 1, p. 65-83, 2012.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spraydried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.

ÇALISKAN, G.; ERGÜN, K.; DIRIM, S. N. Freeze drying of kiwi (*Actinidia deliciosa*) Puree and the Powder Properties. **Italian Journal Food Science**, v. 27, p. 385-397, 2015.

CAMACHO, F. P.; SOUZA, V. S.; BERGAMASCO, R.; TEIXEIRA, M. R. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 303, p. 226-237, 2017.

CANGELA, G. L. C.; BENETTI, A. D. Otimização da clarificação de águas turvas com sementes de *Moringa oleifera*. **Revista DAE**, n. 212, v. 66, p. 5-15, 2018.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, n. 4, p. 420-428, 2005.

CARNEIRO, M. C. M. O.; AMARAL, D. S.; SANTOS, L. F. M.; GOMES JUNIOR, M. A.; PINHEIRO, T. M. A gestão do saneamento no brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos. **Journal of Engineering and Technology Innovation - INOVAE**, v. 6, p. 100-116, 2018.

CLASEN, T.; PRUSS-USTUN, A.; MATHERS, C.; CUMMING, O.; CAIRNCROSS, S.; COLFORD, J. Estimating the impact of unsafe water, sanitation and hygiene on the burden of disease: evolving and alternative methods. **Tropical Medicine & International Health**, v. 19, n. 8, p. 884-893, 2014.

CONCEIÇÃO, V. M.; UGRI, M. C. B. A.; SILVEIRA, C.; NISHI, L.; VIEIRA, M. F.; BASSETTI, F. J.; VIEIRA, A. M. S.; BERGAMASCO, R. Removal of excess fluoride from groundwater using natural coagulant *Moringa oleifera* Lam and microfiltration. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 93, p. 37-45, 2015.

CORTEZ, M. V.; SORIA, E. A. The effect of freeze-drying on the nutrient, polyphenol, and oxidant levels of breast milk. **Breastfeeding Medicine**, v. 11, p. 551-554, 2016.

COSTA, A. B. (org.). **Tecnologia Social e Políticas Públicas**. São Paulo: Instituto Pólis, Brasília: Fundação Banco do Brasil, 2013. 284 p.

DAVIS, A.; WILL, A. J.; COOK, S. M. The use of qualitative comparative analysis to identify pathways to successful and failed sanitation systems. **Science of the Total Environment**, v. 663, p. 507-517, 2019.

DOTTO, J.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; PALÁCIO, S. M.; BERGAMASCO, R. Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 656-665, 2019.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. L. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association- APHA, 2005, p.1274.

EGBUIKWEM, P. N.; SANGODOYIN, A. Y. Coagulation efficacy of *Moringa oleifera* seed extract compared to alum for removal of turbidity and *E. coli* in tree different water sources. **European International Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 7, p. 13-20, 2013.

ENDO, E.; BORGES. S. V.; DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P.; AMORIM, E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edullis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 382-386, 2007.

FAYOS, B. G.; ARNAL, J. M.; SANCHO, M.; RODRIGO, I. *Moringa oleifera* for drinking water treatment: Influence of the solvent and method used in oil extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 48, p. 1-8, 2016.

FERREIRA, R. S.; NAPOLEÃO, T. H.; SANTOS, A. F.; SÁ, R. A.; CUNHA, C. M. G.; MORAIS, M. M.; SILVA, R. A. L.; OLIVA, M. L.; COELHO, L. C.; PAIVA, P. M. Coagulant and antibacterial activities of the water-soluble seed lectin from *Moringa oleifera*. **Applied Microbiology**, v. 53, n. 2, p. 186-192, 2011.

FERREIRA, L. A. F.; RIBEIRO, P. S. C.; ANDRADE, I. C. M.; GUIDES, R. M.; SANTOS, L. O. L.; CRUZ, L. M. O.; SANTOS, M. R. R.; REZENDE, S. Saneamento rural no planejamento municipal: Lições a partir do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). **Revista DAE**, n. 220, v. 67, p. 36-51, 2019.

FRANCO, M.; SILVA, G. K.; PATERNIANI, J. E. S. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 989-997, 2012.

FREITAS, J. H.; SANTANA, K. V.; NASCIMENTO, A. C.; PAIVA, S. C.; MOURA, M. C.; COELHO, L. C. Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. **Chemosphere**, v. 163, p. 133-141, 2016.

GADE, W. K.; BUCHBERGER, S. G.; WENDELL, D.; KUPFERLE, M. J. Application of *Moringa oleifera* seed extract to treat coffee fermentation wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 17, n. 329, p. 102-109, 2017.

GHODSI, R.; SADEGHI, H. M.; ASGHARI, G.; TORABI, S. Identification and cloning of putative water clarification genes of *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori in *E. coli* X11 blue cells. **Advanced Biomedical Research**, v. 27, p. 3-57, 2014.

GHRIBI, A. M.; GAFSI, I. M.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Effect of drying methods on physic-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p. 179-188, 2015.

GOPALAKRISHNAN, L.; DORIYA, K.; KUMAR, D. S. *Moringa oleifera*: a review on nutritive importance and its medicinal application. **Food Science and Human Wellness**, v. 5, p. 49-56, 2016.

GREGORIO, P. M. R.; REGUEIRO, J.; BARREIRO, G. C.; RIALOTERO, R.; GÁNDARA, S. J. Changes in antioxidant flavonoids during freeze-drying of red onions and subsequent storage. **Food Control**, v. 22, p. 1108-1113, 2011.

GUPTA, R.; MATHUR, M.; BAJAJ, V. K.; KATARIYA, P.; YADAV, S.; KAMAL, R.; GUPTA, R. S. Evaluation of antidiabetic and antioxidant activity of *Moringa oleifera* in experimental diabetes. **Journal of Diabetes**, v. 4, n. 2, p. 164-171, 2012.

HAMEED, Y. T.; IDRIS, A.; HUSSAIN, S. A.; ABDULLAH, N.; MAN, H. C.; SUJA, F. A tanninbased agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater as a pretreatment for biofilm process. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 198-205, 2018.

HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; KHATOON, H.; JUSOH, A.; ENDUT, A. A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bioflocculation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 30, p. 1-8, 2016.

HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metallurgy**, v. 3, p. 7-13, 1967.

HAWKES, S. J. The concept of density. **Journal of Chemical Education**, v. 81, n. 1, p. 14-15, 2004.

HELLER, L.; REZENDE, S.; CAIRNCROSS, S. Water and sanitation in Brazil: the public-private pendulum. **Municipal Engineer**, v. 167, n.3, p. 137-145, 2014.

HENNING, E.; WALTER, O. M. C. F.; SOUZA, N. S.; SAMOHYL, R. W. Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 1, p. 2-13, 2014.

HEREDIA, B. J.; MARTÍN, S. J. Improvement of water treatment pilot plant with *Moringa oleifera* extract as flocculant agent. **Environmental Technology**, v. 30, p. 525-534, 2009.

HUANG, X.; BO, X.; ZHAO, Y.; GAO, Y.; WANG, Y.; SUN, S.; YUE, Q.; LI, Q. Effects of compound bioflocculant on coagulation performance and floc properties for dye removal. **Bioresource Technology**, v. 165, p. 116-121, 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.** Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 07. mai 2020.

JAHN, S. A. A. Using moringa seeds as coagulant in developing countries. **Journal of the American Water Works Association**, v. 80, n. 6, p. 43-50, 1988.

JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. **Drying of foods, vegetables and fruits**. [S.I.: s.n], v. 1. p. 232, 2010.

JIANG, G. H.; LEE, K. C.; AMEER, K.; EUN, J. B. Comparison of freeze-drying and hot air-drying on Asian pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai 'Niitaka') powder: changes in bioaccessibility, antioxidant activity, and bioactive and volatile compounds. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 6, p. 2836-2844, 2019.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MALADHI. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 2526-2534, 2014.

KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E. B.; SCHER, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 32-49, 2016.

KATAYON, S.; MEGAT MOHD NOOR, M. J.; ASMA, M.; ABDUL GHANI, L. A.; THAMER, A. M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B. C.; SULEYMAN, A. M. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1455-1460, 2006.

KATRE, U. V.; SURESH, C. G.; KHAN, M. I.; GAIKWAD, S. M. Structure-activity relationship of a hemagglutinin from *Moringa oleifera* seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 42, p. 203-207, 2008.

KAYSER, G. L.; AMJAD, U.; DALCANALE, F.; BARTRAM, J.; BENTLEYD, M. E. Drinking water quality governance: A comparative case study of Brazil, Ecuador, and Malawi. **Environmental Science & Policy**, v. 48, p. 186-195, 2015.

KEOGHA, M. B.; ELMUSHARAFB, K.; BORDEA, P.; MCGUIGANC, K. G. Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. **Solar Energy**, v. 158, p. 448-454, 2017.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, v. 15, n. 10, p. 2441-2458, 1997.

KRUMREICH, F.; D'AVILA, R. F.; FREDA, S. A.; CHAVES, F. C.; CHIM, J. F. Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica. **Revista Thema**, v. 13, n. 2, p. 4-17, 2016.

KUKIĆ, D. V.; ŠĆIBAN, M. B.; PRODANOVIĆ, J. M.; TEPIĆ, A.; N. VASIĆ, M. A. Extracts of fava bean (*Vicia faba* L.) seeds as natural coagulants. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 229-232, 2015.

KUMAR, A. R.; PRABHU, M.; PONNUSWAMI, V.; LAKSHMANAN, V.; NITHYADEVI, A. Scientific seed production techniques in moringa. **Agricultural Research Communication Centre**, v. 35, n.1, p. 69-73, 2014.

LASEKAN, O. Influence of processing conditions on the physicochemical properties and shelf-life of spraydried palm sugar (*Arenga pinnata*) powder. **Drying Technology**, v. 32, p. 398-407, 2014.

LAU, Y. Y.; WONG, Y. S.; TENG, T. T.; MORAD, N.; RAFATULLAH, M.; ONG, S. A. Coagulation-flocculation of azo dye acid orange 7 with green refined laterite soil. **Chemical Engineering Journal**, v. 246, p. 383-390, 2014.

LEONE, A.; FIORILLO, G.; CRISCUOLI, F.; RAVASENGHI, S.; SANTAGOSTINI, L.; FICO, G.; POZZI, F. Nutritional characterization and phenolic profiling of *Moringa oleifera* leaves grown in chad, Sahrawi Refugee Camps, and Haiti. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 8, p. 18923-18937, 2015.

LOO, S.; FANE, A. G.; KRANTZ, W. B.; LIN, T. Emergency water supply: a review of potential technologies and selection criteria. **Water Research**, v. 46, p. 2125-3151, 2012.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; PEREIRA, M. S.; EUSTÁQUIO-JÚNIOR, V.; BATISTA, A. P.; BAKER, S. A. A. Efeito da adição de diferentes substâncias químicas no extrato de sementes de moringa utilizado como coagulante no tratamento de esgoto sanitário. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 5, p. 1038-1048, 2013.

LOPES, E. C.; SANTOS, S. C. R.; PINTOR, A. M. A.; BOAVENTURA, R. A. R.; BOTELHO, C. M. S. Evaluation of a tannin-based coagulant on the decolorization of synthetic effluents. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, p. 1-8, 2019.

MACHADO, J. M. H.; MARTINS, W. J.; SOUZA, M. S.; FENNER, A. L. D.; SILVEIRA, M.; MACHADO, A. M. Territórios saudáveis e sustentáveis: contribuição para saúde coletiva, desenvolvimento sustentável e governança territorial. **Revista Comunicação em Ciência e Saúde**, v. 28, n. 2, p. 243-249, 2017.

MADRONA, G. S.; SCAPIM, M.; TONON, L. A. C.; REIS, M. H. M.; PARAISO, C. M.; BERGAMASCO, R. Use of *Moringa oleifera* in a combined coagulation-filtration process for water treatment. **Chemical Engineering Transactions**, v. 1, p. 1195-1200, 2017.

MELLA, B.; BARCELLOS, B. S. C.; COSTA, D. E. S.; GUTTERRES, M. Treatment of leather dyeing wastewater with associated process of coagulation-flocculation/adsorption/ozonation. **Ozone: Science & Engineering**, v. 40, n. 2, p. 133-140, 2018.

MENBERU, M. W.; MARTTILA, H.; TAHVANAINEN, T.; KOTIAHO, J. S.; HOKKANEN, R.; KLOVE, B.; RONKANEN, A. K. Changes in pore water quality after peatland restoration: Assessment of a large-scale, replicated before-after control-impact study in Finland. **Water Resources Research**, v. 53, n. 10, p. 8327-8343, 2017.

MENEGHEL, A. P.; GONÇALVES JR., A. C.; STREY, L.; RUBIO, F.; SCHWANTES, D.; CASARIN, J. Biosorption and removal of chromium from water by using moringa seed cake (*Moringa oleifera* Lam.). **Química Nova**, v. 36, p. 1104-1110, 2013.

MENEZES, C. C.; BORGES, S. V.; FERRUA, F. Q.; VILELA, C. P.; CARNEIRO, J. D. S. Influence of packaging and potassium sorbate on the physical, physicochemical and microbiological alterations of guava preserves. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 674-680, 2011.

MESQUITA, A. P.; FERREIRA, W. R. O município e o planejamento do território rural no Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, n. 58, p. 331-355, 2017.

MOHAMED, E. H.; MOHAMMAD, T. A.; NOOR, M. J. M. M.; GHAZALI, A. H. Influence of extraction and freeze-drying durations on the effectiveness of *Moringa oleifera* seeds powder as a natural coagulant. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, p. 3628-3634, 2015.

MOHAMMAD, T. A.; MOHAMED, E. H.; NOOR, M. J. M. M.; GHAZALI, A. H. Coagulation activity of spray dried salt extracted *Moringa oleifera*. **Desalination and Water Treatment**, v. 51, n. 7-9, p. 1941-1946, 2013.

MORAGA, G.; IGUAL, M.; MARTÍNEZ, E. G.; MOSQUERA, L. H.; NAVARRETE, N. M. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. **Journal of Food Engineering**, v. 112, n. 3, p. 191-199, 2012.

MORETI, L. O. R.; CAMACHO, F. P.; BONGIOVANI, M. C.; STROHER, A. P.; NISHI, L.; VIEIRA, A. M. S.; BERGAMASCO, R. Emprego das sementes de *Moringa oleifera* LAM, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis. **Revista E-xacta**, v. 6, n. 1, p. 153-165. 2013.

MUTHURAMAN, G.; SASIKALA, S. Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 20, p. 1727-1731, 2014.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 36-48, 2005.

NOOR, M. J. M. M.; MOHAMED, E. H.; MOHAMMAD, T. A.; GHAZALI, A. H. Effect of the packaging and storage conditions on the coagulation activity of spray-dried salt-extracted *Moringa oleifera*. **Desalination and Water Treatment**, v. 51, p. 1947-1953, 2013.

NOOR, M. J. M. M.; MOHAMED, E. H.; MOHAMMAD, T. A.; GHAZALI, A. H. Effectiveness of salt-extracted freeze-dried *Moringa oleifera* as a coagulant. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, n. 13, p. 3621-3627, 2014.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p. 172-178, 2015.

OLIVEIRA, L. M.; RIBEIRO, C. M. C.; MARACAJÁ, P. B.; SANTOS, C. G. Qualidade fisiológica de sementes de moringa em função do tipo de embalagem, ambiente e tempo de armazenamento. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 70-75, 2009.

OLIVEIRA, A. N.; RAMOS, A. M.; CHAVES, J. B. P.; VALENTE, M. E. R. Cinética de degradação e vida-de-prateleira de suco integral de manga. **Revista Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 172-177, 2013.

OLIVEIRA, Z. L.; LYRA, M. R. C. C.; ARRUDA, A. C. F.; BARROS, C. A. G.; NASCIMENTO, J. F.; FERREIRA, S. R. M. Avaliação da toxicidade de lixiviado do aterro sanitário CTR - Candeias antes e após tratamento com extratos de *Moringa oleifera* Lam em bioensaio com Alface - *Lactuca sativa* L. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2016, p. 1-10.

PALACIOS, I.; GUILLAMÓN, E.; LAFUENTE, A. G.; VILLARES, A. Effects of freeze-drying treatment on the aromatic profile of tuber spp. Truffles. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 36, n. 6, p. 1-6, 2012.

PARK, K. J.; PARK, P. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Secagem: Fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93-127, 2014.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 765-771, 2009.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO, A. A.; THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.; FIELIS, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 3010, 2015.

POTISATE, Y.; PHOUNGCHANDANG, S.; KERR, W. L. The Effects of pre-drying treatments and different drying methods on phytochemical compound retention and drying characteristics of moringa leaves (*Moringa oleifera* Lam.). **Drying Technology**, v. 32, n. 16, p. 1970-1985, 2014.

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. Contribution to the clarification of surface water from the *Moringa oleifera*: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 2346-2352, 2012.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A study of the parameters affecting the effectiveness of *Moringa oleifera* drinking water purification. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, p. 791-797, 2010a.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSONA, 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, 2010b.

REALINI, C. E.; MARCOS, B. Active and intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science**, v. 98, p. 404-419, 2014.

RHIM, J. W.; KOH, S.; KIM, J. M. Effect of freezing temperature on rehydration and water vapor adsorption characteristics of freeze-dried rice porridge. **Journal of Food Engineering**, v. 104, n. 4, p. 484-491, 2011.

RIBEIRO, T. B.; MOTA FILHO, C. R.; MOTA MELO, V. R.; BIANCHETTI, F. J.; CHERNICHARO, C. A. L. Planning for achieving low carbon and integrated resources recovery from sewage treatment plants in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 242, p. 465-473, 2019.

ROCHA, S. C. S.; SOUZA, J. S.; ALSINA, O. L. S.; MEDEIROS, M. F. D. Drying of tropical fruit pulps: spouted bed process optimization as a function of pulp composition. **Drying Technology**, v. 29, p. 1587-1599, 2011.

RODRIGUES, S. A.; BATISTELA, G. C. Uma revisão sobre a disponibilidade hídrica brasileira para geração de energia elétrica. **Geoambiente on line**, n. 21, p. 48-67, 2013.

RODRIGUES, L. A.; MUNIZ, T. A.; SAMARÃO, S. S.; CYRINO, A. E. Qualidade de mudas de *Moringa oleifera* Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 545-552, 2016.

ROLAND, N.; TRIBST, C. C. L.; SENNA, D. A.; SANTOS, M. R. R.; REZENDE, S. A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico. **Revista DAE**, n. 220, v. 67, p. 15-35, 2019.

ROLIM, L. A. D. M. M.; MACÊDO, M. F. S.; SISENANDO, H. A.; NAPOLEÃO, T. H.; FELZENSZWALB, I.; AIUB, C. A. F.; COELHO, L. C. B. B.; MEDEIROS, S. R. B.; PAIVA, P. M. Genotoxicity evaluation of *Moringa oleifera* seed extract and lectin. **Journal of Food Science**, v. 76, p. 53-58, 2011.

SALAZAR-G´AMEZ, L. L.; LUNA-DELRISCO, M.; CANO, R. E. Comparative study between *M. oleifera* and aluminum sulfate for water treatment: case study Colombia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 10, p. 668-677, 2015.

SALLES, P. V.; LIMA, S. C. R. B. Caracterização do atendimento por redes de abastecimento de água em áreas rurais do Ceará: evidências do impacto da implantação do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). **Revista DAE**, n. 208, v. 65, p. 108-121, 2017.

SAMOTICHA, J.; WOJDYLO, A.; LECH, K. The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. **Food Science and Technology**, v. 66, p. 484-489, 2016.

SANTOS, A. F. S.; LUZ, L. A.; ARGOLO, A. C. C.; TEIXEIRA, J. A.; PAIVA, P. M. G.; COELHO, L. C. B. B. Isolation of a seed coagulant *Moringa oleifera* lectin. **Process Biochemistry**, v. 44, p. 504-508, 2009.

SANTOS, A. A. O.; SANTOS, A. J. A. O.; SILVA, I. C. V.; LEITE, M. L. C.; SOARES, S. M.; MARCELLINI, P. S. Desenvolvimento de biscoitos de chocolate a partir da incorporação de fécula de mandioca e albedo de laranja. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 3, p. 469-480, 2010.

SANTOS, T. M.; PEREIRA, D. F.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando *Moringa oleifera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Revista E-xacta**, v. 9, n. 3, p. 317-321, 2011.

SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAUJO, G. T. Storage of ‘umbu-cajá’ pulp powder

produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1118-1123, 2016.

SANTOS, M. R. R.; RANIERI, V. E. L. Deficiências e desafios do planejamento territorial de áreas rurais no brasil. **Revista Rural & Urbano**, v. 3, n. 1, p. 02-21, 2018.

SCLAR, G. D.; GARN, J. V.; PENAKALAPATI, G.; ALEXANDER, K. T.; KRAUSS, J.; FREEMAN, M. C.; BOISSON, S.; MEDLICOTT, K. O.; CLASEN, T. Effects of sanitation on cognitive development and school absence: a systematic review. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 220, p. 917-927, 2017.

SHAKERARDEKANI, A.; KARIM, R. Effect of different types of plastic packaging films on the moisture and aflatoxin contents of pistachio nuts during storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 409-411, 2013.

SHOFIAN, N. M.; HAMID, A. A.; OSMAN, A.; SAARI, N.; ANWAR, F.; DEK, M. S. P.; HAIRUDDIN, M. R. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 7, p. 4678-4692, 2011.

SILVA, S. C.; BERNARDES, R. S.; RAMOS, M. L. G. Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 533-542, 2015.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, L. M. M.; ALMEIDA, F. A. C. Extratos em pó de amendoim liofilizado. In: ALMEIDA, F. A. C.; BARROS NETO, J. J. S.; ALBURQUEQUE, E. M. B.; MELO, B. A. **Tecnologias desenvolvidas para o aproveitamento do amendoim**. Campina Grande: AREPB, 2016. Cap. 3, p. 59-92.

SILVA, B. B.; NOGUEIRA, C. D.; ANDRADE, M.; SILVEIRA, R. B.; REZENDE, S. Evidenciando experiências positivas em saneamento básico: Visões do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). **Revista DAE**, n 220, v. 67, p. 69-86, 2019.

SILVA, B. B.; SALESA, B.; LANZAA, A. C.; HELLER, L.; REZENDE, S. Water and sanitation are not gender-neutral: Human rights in rural Brazilian communities. **Water Policy**, v. 22, p. 102-120, 2020.

SILVEIRA, A. B. G. Explorando o déficit em saneamento no Brasil: evidências da disparidade urbano-rural. **Revista Água & Sociedade**, v. 10, p. 37, 2013.

SILVENIUS, F.; GRÖNMAN, K.; KATAJAJUURI, J. M.; SOUKKA, R.; KOIVUPURO, H. K.; VIRTANEN, Y. The role of household food waste in comparing environmental impacts of packaging alternatives. **Packaging Technology Science**, v. 27, p. 277-292, 2014.

SIQUEIRA, A. P. S.; SILVA, C. N.; REZENDE, L. C. S. H.; MILANI, R. G.; YAMAGUCHI, N. U. Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 18-29, 2018.

SOTO, M. U. R.; POWERS, J. R.; ALLDREDGE, J. R. Effect of mixing time, freeze-drying and baking on phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity of raspberry juice during processing of muffins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 7, p. 1511-1518, 2012.

SOUSA, A. C. A.; COSTA, N. R. Política de saneamento básico no Brasil: discussão de uma trajetória. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, v. 23, n. 3, p. 615-634, 2016.

SYAMALADEVI, R. M.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; POWERS, J.; SWANSON, B. G. Stability of anthocyanins in frozen and freeze-dried raspberries during long-term storage: in relation to glass transition. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 6, p. 414-421, 2011.

TAIWO, A. S.; ADENIKE, K.; ADERONKE, O. Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. **Heliyon**, v. 6, p. 1-9, 2020.

TAVARES, F. O.; PINTO, L. A.; BASSETI, F. J.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. Environmentally friendly biosorbents (husks, pods and seeds) from *Moringa oleifera* for Pb(II) removal from contaminated water. **Environmental Technology**, v. 17, p. 1-11, 2017.

TAVARES, F. O.; PINTO, L. A. M.; VICENTINI, J. C. M.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Analysis of the influence of natural adsorbent functionalization (*Moringa oleifera*) for Pb(II) removal from contaminated water. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 1, p. 1-10, 2019.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p.70-76, 2013.

TRAN, N. H.; REINHARD, M.; KHAN, E.; CHEN, H.; NGUYEN, V. T.; LI, Y.; GOH, S. G.; NGUYEN, Q. B.; SAEIDI, N.; GIN, K. Y. H. Emerging contaminants in wastewater, stormwater runoff, and surface water: Application as chemical markers for diffuse sources. **Science of the Total Environment**, v. 676, p. 252-267, 2019.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; NISHI, L.; MADRONA, G. S.; CAMACHO, F. P.; SANTOS, T. R. T.; SANTOS, O. A. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação do tempo de degradação do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam em pó no tratamento de água superficial. **Revista E-xacta**, v. 7 n. 1, p. 75-82, 2014.

VALVERDE, K. C.; PACCOLA, E. A. S.; POMINI, A. M.; YAMAGUCHI, N. U.; BERGAMASCO, R. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 3, p. 1-11, 2018.

VERMA, M.; KUMAR, N. R. Can coagulation–flocculation be an effective pre-treatment option for landfill leachate and municipal wastewater co-treatment? **Perspectives in Science**, v. 8, p. 492-494, 2016.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.

YIN, C. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, 2010.

YUSOF, Y. A.; SALLEH, F. S. M.; CHIN, N. L.; TALIB, R. A. The drying and tableting of pitaya powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 35, n. 5, p. 763-771, 2012.

ZHANG, Z.; HALL, A.; PERFECT, E.; GURR, S. X. Differential expression of two *Blumeria graminis* chitin synthase genes. **Molecular Plant Pathology**, v. 1, p. 125-138, 2002.

ZHANG, X.; ZHANG, M.; LIU, H.; GU, J.; LIU, Y. Environmental sustainability: a pressing challenge to biological sewage treatment processes. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 12, p. 1-5, 2019.

ZORZI, L.; TURATTI, L.; MAZZARINO, J. M. O direito humano de acesso à água potável: uma análise continental baseada nos Fóruns Mundiais da Água. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, p. 954-971, 2016.

ZOTARELLI, M. F.; PORCIUNCULA, B. D. A.; LAURINDO, J. B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 4, p. 523-531, 2012.

ZUIN, V. G.; LORIATTI, M. C. S.; MATHEUS, C. E. O emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: Uma Proposta para a

Educação Química e Ambiental na Perspectiva CTSA. **Revista Química Nova na Escola**, v. 31, n. 1, 2009.

6. ARTIGO I - PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ IN NATURA E LIOFILIZADO DE SEMENTES DE MORINGA

Resumo: Por empregar baixas temperaturas, diferente de outros processos, manter a estrutura dos produtos e preservar melhor os componentes termossensíveis, a liofilização tem despertado a atenção de vários pesquisadores. Objetivou-se com a pesquisa produzir e caracterizar o pó in natura obtido das sementes de moringa, elaborar diferentes pastas com adição de 20, 30, 40 e 50 mL de água destilada, liofilizá-las, caracterizá-las físico e físico-quimicamente e selecionar a melhor. Conduziu-se o trabalho no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande. A liofilização deu-se em um liofilizador de bancada. Após secagem, determinou-se nos pós a densidade real, densidade aparente, densidade compactada, porosidade, índice de compressibilidade, fator de Hausner, higroscopicidade, solubilidade, cor, teor e atividade de água, cinzas, acidez total titulável, pH, proteínas, lipídios e carboidratos. O pó in natura foi classificado como não higroscópico, de alta solubilidade em água, baixo teor e atividade de água, alto teor de proteína, lipídios e carboidratos e de baixa acidez. A liofilização se apresentou para a moringa como um método adequado na preservação dos seus constituintes, sendo selecionada a formulação com adição de 50 mL de água.

Palavras-chave: constituintes, extrato, *Moringa oleifera*, secagem.

PRODUCTION AND PHYSICAL AND PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF NATURAL AND LYOPHILIZED POWDER OF MORINGA SEEDS

Abstract: By employing low temperatures, unlike other processes, maintaining the structure of the products and better preserving the thermosensitive components, freeze-drying has attracted the attention of several researchers. The purpose of the research was to produce and characterize the powder *in natura* obtained from the moringa seeds, to elaborate different pastes with the addition of 20, 30, 40 and 50 mL of distilled water, to freeze-dry them, to characterize them physically and chemically and to select the best one. The work was carried out at the Agricultural Products Processing and Storage Laboratory of the Federal University of Campina Grande. The freeze-drying took place

in a bench-top lyophilizer. After drying, the actual density, apparent density, compacted density, porosity, compressibility index, Hausner factor, hygroscopicity, solubility, color, water content and activity, ashes, total titratable acidity, pH, proteins, lipids and carbohydrates were determined. The powder *in natura* was classified as non-hygroscopic, high water solubility, low water content and activity, high protein content, lipids and carbohydrates and low acidity. Freeze-drying was presented to the moringa as an adequate method in the preservation of its constituents, being selected the formulation with the addition of 50 mL of water.

Keywords: constituents, extract, *Moringa oleifera*, drying.

6.1. Introdução

A *Moringa oleifera* é uma árvore de extrema importância, conhecida como a árvore da vida, devido as suas diferentes propriedades e aplicações (BICHI, 2013). As sementes são ricas em proteínas, cálcio, ferro, vitamina C e carboidratos, por isso vem encontrando aplicações na medicina, cosméticos, suplementos alimentares e, principalmente, como coagulante no tratamento de água (GHEBREMICHAEL et al., 2009).

As sementes da moringa apresentam o melhor potencial de coagulação/floculação do que as demais partes da planta. Um dos componentes ativos presentes nas sementes de moringa é uma proteína identificada como um polieletrólito, capaz de promover a coagulação da água (NWAIWU et al., 2012). A proteína das sementes de moringa é o composto de maior importância no processo de clarificação da água. Assim, a ação coagulante da moringa se baseia na presença de proteínas catiônicas encontradas nas sementes, sendo a adsorção e a neutralização de cargas, provavelmente, os principais mecanismos de coagulação da moringa (NDABIGENGESERE et al., 1995).

Considerando que as sementes de moringa apresentam melhor potencial no tratamento de água, faz-se necessário aplicar tecnologias que preservem seus constituintes. Dentre as tecnologias, destaca-se a liofilização por preservar grande parte das propriedades do material, devido à utilização de baixas temperaturas. A liofilização tem sido utilizada e recomendada para secar produtos de alto valor agregado, que possuam aromas ou texturas delicadas ou que apresentem sensibilidade ao uso do calor. Hamid et al. (2016) relatam que o processo de secagem da moringa deve ser assegurado para não exceder 60 °C evitando que o teor de proteína seja danificado.

Embora existam muitos trabalhos sobre o tratamento de água utilizando sementes de moringa, ainda não foram encontrados registros de trabalhos acerca da eficiência desse coagulante natural obtido a partir do pó liofilizado. Além disso, não se encontraram registros na literatura sobre a qualidade física e físico-química do extrato das sementes de moringa após liofilização. Sendo assim, teve-se como objetivo produzir e caracterizar o pó in natura obtido das sementes de moringa, elaborar diferentes pastas com adição de 20, 30, 40 e 50 mL de água destilada, liofilizá-las, caracterizá-las físico e físico-quimicamente e selecionar a melhor.

6.2. Material e Métodos

6.2.1. Local de condução da pesquisa

Conduziu-se o trabalho no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba.

6.2.2. Matéria-prima

As sementes utilizadas na pesquisa foram coletadas na UFCG Campus de Cajazeiras, PB. No LAPPA, elas foram selecionadas, descascadas e trituradas em liquidificador doméstico.

6.2.3. Elaboração das pastas para liofilização

Realizou-se a liofilização em liofilizador de bancada modelo L101. Adicionaram-se 20, 30, 40 e 50 mL de água destilada para formação das pastas. Em seguida, acondicionaram-nas em formas plásticas e submeteram-nas a congelamento em freezer a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h (SANTOS et al., 2016). Depois, liofilizaram-se as amostras congeladas à temperatura de $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 h.

6.2.4. Análises físicas e físico-químicas do pó in natura e liofilizado

No pó in natura e liofilizado, realizaram-se as análises físicas e físico-químicas de densidade real de acordo com metodologia de Hawkes (2004) adaptada; densidade aparente, segundo o método adaptado de Caparino et al. (2012); determinou-se a densidade compactada de acordo com Tonon et al. (2013); a porosidade pelo método de Krokida e Maroulis (1997); o índice de compressibilidade (IC), através da comparação entre a densidade aparente e a densidade compactada do pó, conforme Yusof et al.

(2012); o fator de Hausner a partir da densidade aparente e de compactação, Hausner (1967); calculou-se a higroscopicidade de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com modificações; determinou-se a solubilidade segundo a metodologia de Eastman e Moore (1984) modificada por Cano-Chauca et al. (2005); obteve-se a cor em colorímetro, com os dados de a^* e b^* calculou-se o Chroma (C^*), e com os parâmetros L^* , a^* e b^* obteve-se o índice de escurecimento, conforme metodologia adaptada de Palou et al. (1999).

As determinações a seguir, a exceção de lipídios, realizaram-se conforme metodologia proposta por Brasil (2008): o teor de água determinou-se pelo método de secagem das amostras em estufa a 105 °C; a atividade de água através de leitura direta em “Aqua-Lab”, modelo 3TE, marca Decagon Devices, Inc.; obtiveram-se as cinzas por incineração das amostras em mufla; a acidez total titulável por titulometria e o pH por leitura direta das amostras homogeneizadas em pHmetro digital; quantificou-se o teor de proteína total pelo método Micro-Kjeldahl; obteve-se a quantidade de lipídios pelo método modificado de Bligh e Dyer (1959) e quantificaram-se os carboidratos retirando-se de 100 a soma dos teores de água, lipídeos, proteínas e cinzas.

6.2.5. Análise estatística

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (20, 30, 40 e 50 mL) e três repetições. Submeteram-se os resultados à análise de variância e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO 2016).

6.3. Resultados e Discussão

Na Tabela 6.1, constam os resultados obtidos para as análises físicas do pó in natura obtido das sementes de moringa. Resultados semelhantes aos deste trabalho para a densidade foram reportados por Medeiros e Lannes (2010) ao verificarem as propriedades físicas de substitutos de cacau em pó obtendo valores de densidade variando entre 0,49 e 0,69 g/mL. Phomkaivon et al. (2018) ao avaliarem a farinha da batata doce roxa obtiveram valores de densidade aparente entre 0,276 e 0,389 g/cm³. Resultados similares para densidade compactada foram reportados por Lavoyer (2012) ao estudar o pó obtido do coco, com valores entre 0,58 e 0,62 g/mL. Outra característica muito importante de um pó é a sua porosidade, ou seja, a fracção do volume do pó que

não é ocupado por partículas. Nesta pesquisa verificou-se baixo valor para a porosidade do pó in natura.

Tabela 6.1. Caracterização física do pó in natura de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetros físicos	Média e desvio padrão
Densidade real (g/mL)	0,59 ± 0,006
Densidade aparente (g/mL)	0,48 ± 0,007
Densidade compactada (g/mL)	0,62 ± 0,004
Porosidade (%)	18,77 ± 0,85
Índice de compressibilidade (%)	21,44 ± 0,76
Fator de Hausner	1,27 ± 0,01
Higroscopicidade (%)	1,43 ± 1,98
Solubilidade (%)	74,03 ± 1,00
Luminosidade L*	67,63 ± 0,16
a*	2,84 ± 0,05
b*	20,37 ± 0,10
Chroma C*	20,57 ± 0,10
Índice de escurecimento	13,47 ± 0,59

As medidas indiretas da fluidez ou escoamento do pó in natura foram mensuradas através dos cálculos do índice de compressibilidade e Fator de Hausner. Na classificação de Santhalakshmy et al. (2015), o pó in natura enquadra-se como de fluidez pobre. A fluidez depende de vários fatores como morfologia, tamanho e distribuição das partículas, densidade, umidade, processo produtivo e composição química do material (LAVOIE et al., 2002). Para o fator de Hausner, o pó apresentou coesividade intermediária, conforme a classificação de Wells (2005), em que valores inferiores a 1,2 são classificados como de baixa coesividade; entre 1,2 a 1,4 são de coesividade intermediária; e >1,4 são considerados de alta coesividade.

Dependendo da sua utilização, a alta higroscopicidade constitui dificuldade de uso do produto pela alta afinidade por água e em razão da sua composição complexa (CARLOS et al., 2005). Possivelmente, isso não irá se configurar um problema para o pó da moringa, pois de acordo com a classificação de Gea Niro Research Laboratory (2003), o pó in natura foi considerado não higroscópico. O pó das sementes apresentou alta solubilidade em água e este parâmetro é fundamental para dissolução do pó em líquido. Oliveira et al. (2013) estudando a solubilidade de partículas de morango, obtiveram valores de solubilidade de 87,15 a 91,44%, portanto, superiores ao obtido nesta pesquisa.

Um dos atributos de qualidade e preferência do consumidor é a cor. Para os parâmetros de cor a amostra in natura apresentou-se clara, houve predominância da cor

amarela (+b*) sobre a vermelha (+a*), baixa intensidade ou saturação da cor. Este atributo é totalmente independente da tonalidade e da luminosidade; constatou-se ainda baixo índice de escurecimento.

Para as análises físico-químicas, pode-se verificar na Tabela 6.2, que o pó in natura das sementes de moringa apresentou baixo teor de água, apresentando-se conforme recomenda a legislação, que descreve o limite máximo de aceitação de 15% de umidade (BRASIL, 2005). Resultado semelhante foi observado por Fink et al. (2018) ao estudarem a farinha de folhas de moringa ao obterem umidade de 5,96%. Quanto à atividade de água, Ribeiro e Seravalli (2007), indicam que os alimentos podem ser classificados em função desta em três grupos: alimentos de baixa umidade (a_w até 0,6); umidade intermediária (a_w entre 0,6 e 0,9) e com alta umidade (a_w com valores acima de 0,9). Considerando o exposto, classificou-se a atividade de água do pó como intermediária, o que pode vir a dificultar o crescimento de fungos e bactérias.

Tabela 6.2. Caracterização físico-química do pó in natura de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetros físico-químicos	Média e desvio padrão
Teor de água (%)	5,24 ± 0,01
Atividade de água (a_w)	0,62 ± 0,006
Cinzas (%)	2,77 ± 0,004
Acidez total titulável (%)	0,24 ± 0,03
pH	6,67 ± 0,06
Proteínas (%)	31,92 ± 0,32
Lipídios (%)	31,46 ± 1,19
Carboidratos (%)	28,59 ± 1,43

Em estudo realizado por Passos et al. (2012) com o pó da moringa, os autores encontraram 0,95% de cinzas, valor muito inferior ao verificado nesta pesquisa. O pó apresentou baixa acidez, vindo a atender às exigências previstas pela legislação brasileira, que determina um mínimo de 0,8% de acidez em ácido cítrico (BRASIL, 2005). Passos et al. (2012), encontraram para o pH valor de 7,47%, apresentando-se muito superior ao obtido neste trabalho.

Teixeira et al. (2013) ao avaliarem hambúrguer elaborado com diferentes concentrações da farinha de folhas de moringa obtiveram valores de proteínas de 21,12, 20,68, 20,34 e 20,20%, já para lipídios os autores verificaram quantidades de 7,30, 6,73, 7,06 e 6,68%. Moyo et al. (2011) avaliando a composição química das folhas secas de moringa encontraram para proteína valor de 30,29%, semelhante ao obtido neste estudo para o pó das sementes. Passos et al. (2012) encontraram para o pó de moringa valores

inferiores aos deste trabalho para proteínas (23,29%) e lipídios (17,37%). Gandji et al. (2018) estudando a composição química do pó da folha seca de moringa verificaram 27,1% de proteínas e 38,2% de carboidratos. Segundo Zaku et al. (2015), todas as partes da planta moringa possuem nutrientes importantes para nosso organismo. As folhas, assim como as sementes, são ricas em proteínas, minerais, betacaroteno e compostos antioxidantes, que são frequentemente deficientes entre as dietas de população de países em desenvolvimento (LEONE et al., 2015).

Observou-se um padrão entre as formulações, a densidade real apresentou uma variação de 0,05 g/mL, sendo que os valores obtidos para a densidade aparente não apresentaram diferença estatística (Tabela 6.3). A densidade de um pó está diretamente ligada à estrutura das partículas e, conseqüentemente, à capacidade de fluxo e compressão, representando um parâmetro importante na etapa de desenvolvimento de uma formulação, no entanto, não há uma escala para determinação dos limites (MURAKAMI et al., 2009). Observou-se que a densidade compactada reduziu com a adição da água, sendo a adição de 20 mL a que apresentou maior valor e a de 50 mL menor compactação. Os pós apresentaram valores de densidade bem distintos aos obtidos por Zea et al. (2013) para o mix de goiaba e pitáia liofilizados (1,474 e 1,503 g/cm³), respectivamente. De acordo com Ceballos et al. (2012), a densidade é um dos fatores que interfere na molhabilidade de pós, característica importante por incidir na primeira fase da reconstituição de um produto em pó. A porosidade também aumentou com o acréscimo da água, observou-se que o pó liofilizado é mais poroso e com tendência a apresentar menores densidades, por apresentar poros de menor tamanho.

Quanto aos valores de índice de compressibilidade e fator de Hausner, a adição de 50 mL resultou em menor valor, diferindo estatisticamente das demais. Os pós liofilizados se enquadram na classificação de Santhalakshmy et al. (2015) como de fluidez pobre e ruim, respectivamente, uma vez que valores entre 15 e 20% indicam boa fluidez, 20-35% pobre fluidez, 35-45% fluidez ruim e maior que 45% fluidez muito ruim. Resultados distintos (15,89 a 25,02%) foram obtidos por Caliskan e Dirim (2016) ao estudarem o pó liofilizado de *Rhus coriaria*. A determinação das propriedades de fluxo de pós auxilia na projeção de equipamentos para armazenamento, transporte ou manipulação geral de sólidos a granel (STANIFORTH, 2005). Para o fator de Hausner, os pós apresentaram coesividade intermediária para a adição de 50 mL e alta coesividade para as demais adições, conforme a classificação de Wells (2005).

Tabela 6.3. Caracterização física do pó liofilizado de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetros físicos	Formação da pasta liofilizada				
	20 mL	30 mL	40 mL	50 mL	CV%
Densidade real (g/mL)	0,39b	0,44a	0,43ab	0,44a	3,91
Densidade aparente (g/mL)	0,34a	0,32a	0,31a	0,30a	0,4
Densidade compactada (g/mL)	0,54a	0,51b	0,49c	0,40d	1,18
Porosidade (%)	15,93c	24,49b	29,11ab	32,01a	3,80
Índice de compressibilidade (%)	37,19a	37,44a	37,15a	25,40b	2,57
Fator de Hausner	1,59a	1,61a	1,59a	1,34b	3,01
Higroscopicidade (%)	2,51a	2,74a	2,61a	2,60a	0,55
Solubilidade (%)	75,42a	74,64a	76,21a	73,88a	2,54
Luminosidade L*	73,14b	75,52a	75,36a	75,00a	0,12
a*	1,65a	1,64a	1,66a	1,61a	0,30
b*	19,49a	18,77b	17,86c	16,94d	1,02
Chroma C*	19,57a	18,77b	17,98c	17,11d	0,56
Índice de escurecimento	10,84a	9,82a	9,80a	8,64a	2,81

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os pós quanto à higroscopicidade e à solubilidade. A higroscopicidade dos pós está relacionada à capacidade de absorver a umidade do ambiente. De acordo com a classificação de Gea Niro Research Laboratory (2003), os pós podem ser classificados em não higroscópicos (<10); ligeiramente higroscópico (10,1-15,0); higroscópico (15,1-20,0); muito higroscópico (20,1-25,0); extremamente higroscópico (>25,0). Com base nesses valores de referência, os pós foram classificados como não higroscópicos. Cavalcante et al. (2017) avaliando os parâmetros de secagem da polpa de graviola em spray dryer verificaram que a higroscopicidade dos pós variou de 7,56 a 13,12%; portanto, ligeiramente higroscópicos. Quanto à solubilidade, ambos os pós apresentaram alta solubilidade, resultado promissor para o objetivo do trabalho, pois a solubilidade desempenha papel fundamental na dissolução de pós em água. Sogi et al. (2015) obtiveram valores semelhantes (66,80 a 78,69%) de solubilidade em estudo com diferentes processos de secagem de manga Tommy.

Os pós apresentaram alta luminosidade com valores acima de 70. Quanto às cores a* e b*, verificou-se que o pó in natura apresentou diferença estatística apenas para o parâmetro b*, mas ambos os pós apresentaram predominância do amarelo. Para o Chroma C* observaram-se decréscimos com a adição da água destilada na formação da pasta liofilizada, porém a adição de 50 mL foi a que apresentou menor valor. O índice de escurecimento dos pós foi baixo, indicando a provável não ocorrência de escurecimento enzimático ou não enzimático durante possível armazenamento. A cor do

pó pode ser afetada por inúmeras variáveis como: genótipo, processo de moagem, secagem, armazenamento, dentre outros fatores (PATHARE et al., 2013).

Na Tabela 6.4, estão descritos os valores médios obtidos para a caracterização físico-química do pó liofilizado. Os pós apresentaram baixo teor de água, logo, encontram-se dentro do estabelecido pela Agência de Vigilância Sanitária que permite o máximo de 5% para produtos liofilizados, (BRASIL, 1978).

Tabela 6.4. Caracterização físico-química do pó liofilizado de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetros físico-químicos	Formação da pasta liofilizada				CV%
	20 mL	30 mL	40 mL	50 mL	
Teor de água (%)	1,73a	1,82a	1,68a	1,76a	3,34
Atividade de água (a_w)	0,51a	0,53a	0,51a	0,51a	1,09
Cinzas (%)	2,90bc	3,02ab	2,82c	3,19a	2,38
Acidez total titulável (%)	0,48a	0,45a	0,54a	0,54a	3,80
pH	5,93	6,12	5,40	5,34	2,51
Proteínas (%)	33,96a	33,80a	34,22a	34,31a	1,68
Lipídios (%)	27,33b	27,14b	38,12a	30,96ab	2,05
Carboidratos (%)	34,06a	34,20a	23,14b	29,77ab	2,11

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto à atividade de água, os pós podem ser classificados como de atividade de água intermediária, conforme classificação de Ribeiro e Seravalli (2007). Ao analisarem o perfil de textura e caracterização físico-química de massas de tamarindo enriquecido com folhas de moringa, Andriambelo et al. (2015), verificaram valores de atividade de água variando entre 0,49 e 0,59. Ainda de acordo com os autores, para evitar o risco de deterioração química dos alimentos tais como oxidação lipídica, escurecimento enzimático e não enzimático, desenvolvimento de microrganismos durante a conservação de alimentos a temperatura ambiente, o valor da atividade de água deve ser entre 0,2-0,3.

Observou-se diferença estatística significativa para as cinzas. Em estudo sobre polpas comercializadas em Alagoas, Temóteo et al. (2012) observaram acidez de 0,94% em ácido cítrico para o pó da polpa de acerola liofilizada. Este valor está acima do encontrado neste estudo para o pó liofilizado de *Moringa oleifera*. Resultados diferentes (3,18%), também, foram encontrados por Oliveira (2012) ao secar por liofilização a polpa de cajá.

Para o pH, verificou-se diferença estatística significativa para os pós. Moreira et al. (2013) obtiveram valor inferior para o pH (3,75) e superior para acidez (3,28%) na

polpa de manga desidratada por liofilização. O pH é um dos fatores intrínsecos ao produto que está relacionado ao desenvolvimento de microrganismo, atividades enzimáticas, retenção do sabor, odor e da conservação geral do produto. Em função deste parâmetro, de acordo com Souza et al. (2008), os alimentos podem ser classificados em: pouco ácido (pH >4,5), ácidos (4,0 a 4,5) e muito ácidos (< 4,0). Diante desta classificação, os pós apresentaram-se pouco ácidos.

A quantidade de proteínas nas formulações não apresentou diferença significativa. Considerando a resolução - RDC nº 54, que Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar, a análise físico-química mostrou que os pós podem ser considerados com alto teor de proteína, visto que possui quantidade acima da estabelecida por esta RDC (mínimo de 12 g por 100 gramas), (BRASIL, 2012). Macambira et al. (2018) encontraram na composição química do farelo de folhas de moringa 18,31% de proteínas. Todas as partes da moringa são ricas em nutrientes e compostos favoráveis ao bom funcionamento do organismo.

O pó apresentou grandes quantidades de carboidratos. O alto teor em carboidrato é indicativo de vegetal potencialmente energético. Basso (2017) verificou, em seu estudo sobre a composição química da jaca, que o processo de liofilização não reduziu a quantidade de cinzas, proteínas e lipídios. Afirmativa, que em parte está de acordo com Ghribi et al. (2015), Oberoi e Sogi (2015) e Samoticha et al. (2016), que comprovaram em suas pesquisas a eficiência do processo de liofilização frente à preservação dos seus constituintes, citam como vantagens a concentração dos componentes nutricionais, aumentando o valor destes no produto.

Os pós podem ser considerados de qualidade, pois apresentaram baixo teor e atividade de água, não higroscópico, além de alta solubilidade. Tais características são comumente descritas como importantes para produtos em pós (BAKAR et al., 2013). Este trabalho é um dos pioneiros na produção, estudo e caracterização física e físico-química do pó liofilizado de sementes de moringa. Por esse motivo, ainda não há muitas fontes de comparação nesses aspectos.

6.4. Conclusão

O pó in natura foi classificado como não higroscópico, de alta solubilidade, baixo teor e atividade de água, alto teor de proteína, lipídios e carboidratos e baixa acidez. Para as análises físicas do pó liofilizado, a adição de 50 mL de água destilada promoveu menores valores de índice de compressibilidade e fator de Hausner e maior porosidade.

Classificaram-se os pós liofilizados como não higroscópicos e de alta solubilidade em água.

A liofilização provocou redução no teor e atividade de água, tornando os pós liofilizados mais estáveis e contribuindo para a manutenção de suas qualidades físico-químicas e nutricionais. A liofilização se apresentou para a moringa como um método adequado na preservação dos seus constituintes; e a formulação com adição de 50 mL de água a selecionada. Ela apresentou menor valor para densidade compactada, índice de compressibilidade e fator de Hausner.

6.5. Referências

ANDRIAMBELO, N. H.; LAFARGE, C.; SAUREL, R.; RAZANAMPARANY, L. J. Analyse du profil de texture (tpa) et caractérisation physicochimiques des pâtes de tamarin enrichies en feuilles de *Moringa oleifera*. **Afrique Science**, v. 11, n. 2, p. 66-75, 2015.

BAKAR, J.; EE, S. C.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. M.; ADZAHAN, N. Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 5, p. 1332-1342, 2013.

BASSO, A. M. **Estudo da composição química da jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) desidratada, in natura e liofilizada**. 2017. 118 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

BICHI, M. H. A Review of the applications of *Moringa oleifera* seeds extract in water treatment. **Civil and Environmental Research**, v. 3, n. 8, p. 1-11, 2013.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Journal Biochemistry Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução CNNPA n° 12, de 24 de julho de 1978. **Dispõe sobre normas técnicas especiais**. Disponível em: <www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 02 out. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. 2005. Resolução RDC nº 273, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico de Misturas para o Preparo de Alimentos e Alimentos Prontos para o Consumo**. 4p. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/e-legis>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz. São Paulo. v. 1, 2008. p. 1020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução - RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar**. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0054_12_11_2012.html>. Acesso em: 10 ago. 2018.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spraydried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CALISKAN, G.; DIRIM, N. S. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**, v. 287, n. 1, p. 308-314, 2016.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine* ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, n. 4, p. 420-428, 2005.

CARLOS, L. A.; RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J. Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares

constituintes de frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 2, p. 163-173, 2005.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-8, 2017.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 360-365, 2012.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.

FINK, S. R.; KONZEN, R. E.; VIEIRA, S. E.; ORDONEZ, A. M.; NASCIMENTO, C. R. B. Benefícios das Plantas Alimentícias não Convencionais-PANCs: Caruru (*Amaranthus viridis*), *Moringa oleífera* Lam. e Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill). **Revista Pleiade**, v. 12, p. 39-44, 2018.

GANDJI, K.; CHADARE, F. J.; IDOHOU, R.; SALAKO, V. K.; ASSOGBADJO, A. E.; GLÈLÈ KAKAI, R. L. Status and utilisation of *Moringa oleífera* Lam: A review. **African Crop Science Journal**, v. 26, n. 1, p. 137-156, 2018.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **Analytical methods dry milk products**. Soeborg: GEA Niro, 2003. p.103.

GHEBREMICHAEL, K.; ABALIWANO, J.; AMY, G. Combined natural organic and synthetic inorganic coagulants for surface water treatment. **Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA**, v. 58, n. 4, p. 267-276, 2009.

GHRIBI, A. M.; GAFSI, I. M.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Effect of drying methods on physic-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p. 179-188, 2015.

HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; KHATOON, H.; JUSOH, A.; ENDUT, A. A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bioflocculation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 30, p. 1-8, 2016.

HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metallurgy**, v. 3, p. 7-13, 1967.

HAWKES, S. J. The concept of density. **Journal of Chemical Education**, v. 81, n. 1, p. 14-15, 2004.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, v. 15, n. 10, p. 2441-2458, 1997.

LAVOIE, F.; CARTILIER, L.; THIBERT, R. New methods characterizing avalanche behavior to determine powder flow. **Pharmaceutical Research**, n. 19, p. 887-893, 2002.

LAVOYER, F. C. G. **Estudo da secagem de polpa de coco verde em leite de jorro e viabilidade de sua utilização na indústria**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2012.

LEONE, A.; SPADA, A.; BATTEZZATI, A.; SCHIRALDI, A.; ARISTIL, J.; BERTOLI, S. Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: An Overview. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 6, p. 12791-12835, 2015.

MACAMBIRA, G. M.; RABELLO, C. B. V.; NAVARRO, M. I. V.; LUDKE, M. C. M. M.; SILVA, J. C. R.; LOPES, E. C.; NASCIMENTO, G. R.; LOPES, C. C.; BANDEIRA, J. M.; SILVA, D. A. Caracterização nutricional das folhas de *Moringa oleifera* (MOL) para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 2, p. 570-578, 2018.

MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 243-253, 2010.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, E. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093-098, 2013.

MOYO, B.; MASIKA, P. J.; HUGO, A.; MUCHENJE, V. Nutritional characterization of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 60, p. 12925-12933, 2011.

MURAKAMI, F. S.; MENDES, C.; PEREIRA, R. N.; VALENTE, B. R.; FRANCHI, S. M.; SILVA, M. A. S. Estudo de estabilidade de comprimidos gastro-resistentes contendo 20 mg de Omeprazol. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 28, n. 5, p. 645-652, 2009.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; 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.

NWAIWU, N. E.; IBRAHIM, W. I.; RAUFU, I. A. Antiseptic and coagulation properties of crude extracts of *Moringa oleifera* seeds from north east of Nigeria. **Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation**, v. 1, n. 2, p. 51-59, 2012.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 165, 172-178, 2015.

OLIVEIRA, G. S. **Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.

PALOU, E.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J.; SWANSON, B. G. Polyphenol oxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal Food Science**, v. 64, n. 1, p. 42-45, 1999.

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

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A-J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n.1, p. 36-60, 2013.

PHOMKAIVON, N.; SUROJANAMETAKUL, V.; SATMALEE, P.; POOLPERM, N.; DANGPIUM, N. Thai purple sweet potato flours: Characteristic and application on puffed starch-based snacks. **Journal of Agricultural Science**; v. 10, n. 11, p.171-184, 2018.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A.G. **Química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SAMOTICHA, J.; WOJDYLO, A.; LECH, K. The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. **Food Science and Technology**, v. 66, p. 484-489, 2016.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.

SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAUJO, G. T. Storage of 'umbu-cajá' pulp powder

produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1118-1123, 2016.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **Food Science and Technology**, v. 62, p. 564-568, 2015.

SOUZA, J. M. L.; ÁLVARES, V. S.; LEITE, F. M. N.; REIS, F. S.; FELISBERTO, F. Á. V. Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no vale do Juruá, Acre. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 761-766, 2008.

STANIFORTH, J. Fluxo de Pós. In: AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 208-221.

TEIXEIRA, E. M. B.; CARVALHO, M. R. B.; NEVES, V. A.; LIMA, T. M. A.; PEREIRA, L. A. Hambúrguer elaborado com farinha de folhas de moringa. **Brazilian Society for Food and Nutrition**, v. 38, n. 3, p. 220-232, 2013.

TEMÓTEO, J. L. M.; GOMES, E. M. S.; SILVA, E. V. L.; CORREIA, A. G. S.; SOUSA, J. S. Avaliação de vitamina c, acidez e pH em polpas de acerola, cajá e goiaba de uma marca comercializada em Maceió-Alagoas. 2012. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., **Anais...** Palmas, 2012.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açai. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.

YUSOF, Y. A.; SALLEH, F. S. M.; CHIN, N. L.; TALIB, R. A. The drying and tableting of pitaya powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 35, n. 5, p. 763-771, 2012.

ZAKU, S. G.; EMMANUEL, S.; TUKUR, A. A.; KABIR, A. *Moringa oleifera*: An underutilized tree in Nigeria with amazing versatility: A review. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 9, p. 456-461, 2015.

ZEA, L. P.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; LING, C. N.; AMIN, N. A. M. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. **Powder Technology**, v. 247, p. 112-119, 2013.

WELLS, J. Pré-formulação farmacêutica. In: AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 124-148.

7. ARTIGO II - APLICAÇÃO DE COAGULANTE À BASE DE EXTRATO LIOFILIZADO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA*

Resumo: Apesar do desempenho e custo-eficácia comprovados dos coagulantes químicos, estão sendo estudados coagulantes naturais, dentre eles, a *Moringa oleifera* vem sendo investigada mais intensamente, por conter proteínas que são eficientes no tratamento alternativo de águas para consumo humano. Objetivou-se com a pesquisa utilizar água com pH, turbidez e cor aparente com níveis acima do permitido pela legislação brasileira e tratá-la com pó liofilizado de sementes de moringa em diferentes dosagens selecionando a melhor para cada parâmetro estudado. Conduziu-se o trabalho no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil. Obteve-se o pó pelo método de secagem por liofilização. Avaliaram-se três parâmetros de qualidade da água: pH, turbidez e cor aparente. Os valores máximos permitidos foram os estabelecidos pela portaria nº 5 do Ministério da Saúde. Utilizaram-se as dosagens de 12, 16, 18 e 24 g do coagulante obtido do extrato liofilizado de sementes de moringa. Realizou-se os ensaios em Jar Test, a uma rotação de 160 rpm. A aplicação de diferentes dosagens do extrato liofilizado resultou em pH de acordo com os limites exigidos pela legislação brasileira para água potável, sendo a dosagem de 24 g a que apresentou menor valor. Esta resultou em maior redução no nível de turbidez (60,66%) e a de 16 g apresentou maior eficiência na remoção da cor aparente da água (61,33%). Com base nas melhores eficiências no pH, redução de turbidez e cor selecionou-se as dosagens de 24 g para pH e turbidez e 16 g para a cor aparente.

Palavras-chave: coagulante natural, dosagem, secagem, sementes.

APPLICATION OF COAGULANT BASED ON FREEZE-DRIED EXTRACT OF *MORINGA OLEIFERA* SEEDS

Abstract: Despite the proven performance and cost-effectiveness of chemical coagulants, natural coagulants are being studied, among them *Moringa oleifera* has been investigated more intensively, as it contains proteins that are efficient in the alternative treatment of water for human consumption. The objective of the research was to use water with pH, turbidity and apparent color at levels above those allowed by

Brazilian legislation and to treat it with freeze-dried powder of moringa seeds in different dosages, selecting the best one for each parameter studied. The work was conducted in the Laboratory of Processing and Storage of Agricultural Products, Federal University of Campina Grande, Campina Grande, Brazil. The powder was obtained by freeze-drying method. Three water quality parameters were evaluated: pH, turbidity and apparent color. The maximum values allowed were those established by decree number 5 of the Ministry of Health. The dosages of 12, 16, 18 and 24 g of the coagulant obtained from freeze-dried extract of moringa seeds were used. The tests were performed in Jar Test, at a rotation of 160 rpm. The application of different dosages of freeze-dried extract resulted in a pH according to the limits required by Brazilian legislation for drinking water, with the dosage of 24 g being the lowest. This resulted in a greater reduction in the level of turbidity (60.66%) and that of 16 g showed greater efficiency in removing the apparent color from the water (61.33%). Based on the best efficiencies in pH, turbidity and color reduction, the dosages of 24 g for pH and turbidity and 16 g for apparent color were selected.

Keywords: natural coagulant, dosage, drying, seeds.

7.1. Introdução

O consumo de água potável para os seres humanos é vital para sua sobrevivência. Zhang et al. (2013) citam que, nos últimos anos, têm-se agravado os problemas relacionados à poluição dos mananciais os quais são fonte de captação de água de abastecimento, devido a lançamentos de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, que exigem técnicas apropriadas no tratamento de água destinada ao consumo humano.

Geralmente, a primeira etapa do tratamento de água é a coagulação a qual, provavelmente, influencia significativamente nas etapas seguintes de tratamento. O objetivo da coagulação e da floculação, como via de consequência, é o de elevar significativamente a velocidade de sedimentação dos coloides presentes na água (FRANCO et al., 2017). Sendo a coagulação amplamente afetada por fatores como turbidez, pH, dosagem de coagulante e condições de mistura, o que pode resultar em um processo não econômico e prejudicial, operado com alta dosagem de coagulante ou dosagem desnecessária de corretores de pH ou ainda com remoção de partículas insuficiente (MATEUS et al., 2017). Dada a importância deste processo de separação, é fundamental desenvolver estudos sobre o comportamento de dosagens de coagulantes naturais nesta etapa.

Muitos coagulantes químicos são amplamente utilizados nos processos de tratamento de água com base nas suas características de coagulação e floculação, porém geram lodos não biodegradáveis e podem ter ligação com algumas doenças, como o mal de Alzheimer o qual está relacionado ao alumínio residual presente nas águas (HAMID et al., 2014).

Ao longo dos anos, tem-se aumentado o interesse pelo uso de coagulantes naturais no tratamento de águas por apresentarem vantagens em relação aos agentes coagulantes químicos. Um destes coagulantes naturais é obtido a partir das sementes de *Moringa oleifera* Lam., a qual contém agentes ativos com excelente atividade e propriedades coagulantes (MUYIBI et al., 2013). A eficiência da semente de moringa, como coagulante natural para o tratamento de águas, já foi comprovada por autores como Madrona et al. (2010), Vieira et al. (2010), Nishi et al. (2011) e Schmitt et al. (2018). Além disso, a capacidade de a moringa tratar águas para abastecimento público, removendo turbidez e cor, também foi verificada por experiências práticas (MUNIZ et al., 2015).

Quando comparada com coagulantes químicos, a *M. oleifera* apresenta uma série de vantagens, dentre elas: não requer ajustes de pH e alcalinidade, não causa problemas de corrosão, é de baixo custo, biodegradável e produz baixo volume de lodo (BONGIOVANI et al., 2013; ADENIRAN et al., 2017). Além disso, vários estudos utilizando a solução da semente de moringa têm mostrado que suas sementes não são tóxicas a humanos e nem a animais (VAZ et al., 2010).

De acordo com trabalho desenvolvido por Muyibi e Evison (1995), a eficiência da moringa no tratamento de água foi encontrada com o aumento da dosagem do coagulante. O inverso foi observado por Santos et al. (2013) em que a utilização de semente de moringa em concentrações mais baixas juntamente com um processo de filtração resultaram em alta eficiência de remoção de turbidez. Já altas concentrações, como observado por Lo Monaco et al. (2012) são utilizadas em tratamento de águas residuárias, nas quais os valores de turbidez são significativamente mais altos que em águas naturais. Valverde et al. (2018) ao utilizarem maiores proporções de moringa nos processos de coagulação/floculação e sedimentação observaram menor eficiência para remoção de cor aparente e turbidez.

As proteínas denominadas lectinas, presentes nas sementes de moringa, responsáveis pelo processo de coagulação/floculação da água perde seu efeito em pouco tempo (KATAYON et al., 2006). Neste aspecto, devem-se adotar técnicas que

preservem este efeito por um longo período de tempo. Em materiais que são sensíveis ao calor, a exemplo da moringa, a seleção de um método de secagem adequado faz-se necessário (HAMID et al., 2016). Dentre os métodos de secagem, a liofilização é usada por garantir a estabilidade microbiológica, reduzir a deterioração devido a reações químicas, facilitar o armazenamento e reduzir os custos de transporte (SALAZAR et al., 2017).

Sendo assim, objetivou-se com a pesquisa utilizar água com pH, turbidez e cor aparente com níveis acima do permitido pela legislação brasileira e tratá-la com pó liofilizado de sementes de moringa em diferentes dosagens, selecionando a melhor para cada parâmetro estudado.

7.2. Material e Métodos

7.2.1. Obtenção do pó liofilizado

Conduziu-se o trabalho no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. As sementes de *M. oleifera* foram descascadas manualmente e trituradas em liquidificador doméstico. Obteve-se o extrato pelo método de secagem por liofilização, em um liofilizador de bancada à temperatura de -54 °C, pressão de 110 mmHg por 72 h.

7.2.2. Obtenção da água de forma artificial

Avaliaram-se três parâmetros de qualidade da água: pH obtido pela adição de 0,25 g de carbonato de sódio à água destilada a fim de obter valor superior ao permitido, turbidez e cor aparente obtidas com aplicação de 0,5 g de argila (Tabela 7.1). Os valores máximos permitidos correspondem aos estabelecidos pela portaria n° 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Tabela 7.1. Caracterização inicial da água.

Parâmetros	Valor médio inicial	VMP ¹
pH	11,2	9,5
Turbidez (NTU)	289	5
Cor aparente uH (mg Pt-Co/L)	500	15

¹Valor Máximo Permitido (BRASIL, 2017).

7.2.3. Teste de dosagem do coagulante

Utilizaram-se as dosagens de 12, 16, 18 e 24 g do coagulante obtido do pó liofilizado das sementes de moringa. Nos ensaios de coagulação/floculação e sedimentação da água, utilizou-se o Jar Test. O processo aconteceu em dois tempos ($T_1= 3$ min: homogeneização das amostras); ($T_2= 10$ min: coagulação/floculação), a uma rotação de 160 rpm de acordo com metodologia de Pereira et al. (2015), adaptada.

Após o término do processo de coagulação/floculação, desligou-se o Jar Test e as amostras mantiveram-se em repouso por 45 min, para que ocorresse a sedimentação do material. Em seguida, retiraram-se 50 mL de cada amostra para as análises dos parâmetros: pH em leitura direta das amostras em pHmetro digital; turbidez utilizando-se turbidímetro digital microprocessado modelo DLT-WV e cor aparente em analisador de cor pelo método Platina-Cobalto, adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON et al., 2005).

A eficiência do coagulante para cada parâmetro foi calculada de acordo com a metodologia adaptada de Fayos et al. (2016), em que os valores inicial e final foram substituídos pelo valor do respectivo parâmetro analisado, Eq. 7.1.

$$\text{Eficiência do coagulante}(\%) = \frac{\text{Valor do parâmetro inicial} - \text{Valor do parâmetro final}}{\text{Valor do parâmetro inicial}} \times 100 \quad (7.1)$$

7.2.4. Análise estatística

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições. Submeteram-se os dados à análise de variância e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

7.3. Resultados e Discussão

Pode-se observar na Figura 7.1 que, a partir do aumento da dosagem do coagulante, o valor do pH reduziu significativamente, sendo a concentração de 24 g a que apresentou menor valor (8,8). A partir da dosagem de 16 g o pH da água encontra-se dentro do permitido pela legislação brasileira para água potável, que estabelece um valor de pH de 6 a 9,5 (BRASIL, 2017). Portanto, das dosagens aplicadas apenas a de 12 g resultou em menor eficiência, pois apresentou resultado superior ao exigido.

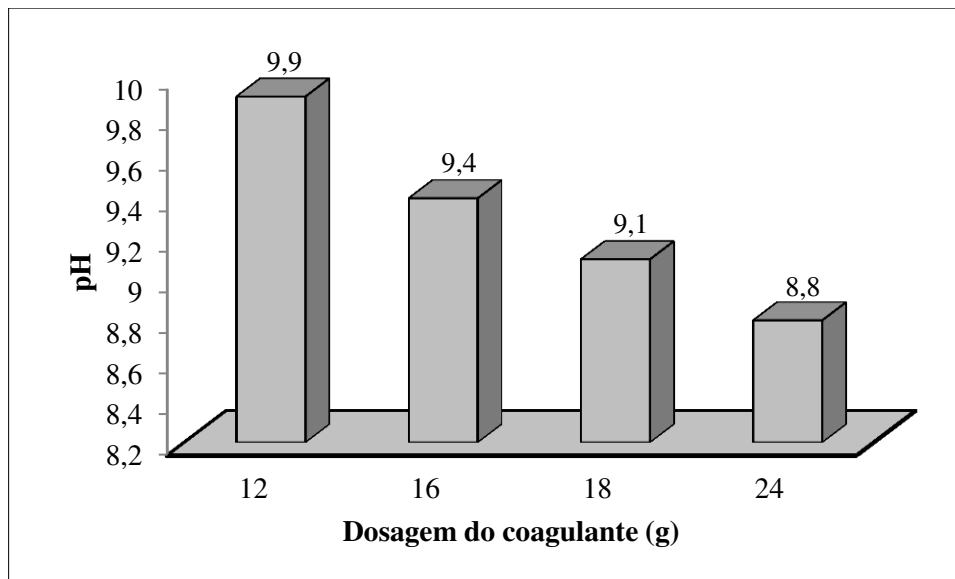


Figura 7.1. Representação gráfica da dosagem de coagulante à base de extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* para o pH.

Adeniran et al. (2017) ao estudarem o pH de água residuária obtiveram inicialmente pH 9,6 e após o tratamento com as dosagens controle, 2, 4 e 6 g de moringa o valor do pH reduziu para 9,21, 7,8, 7,57 e 7,1, respectivamente. De acordo com Santos et al. (2016), a faixa considerada ideal para o pH é entre 7,2 a 7,6 e valor limite de 8,0; o pH abaixo de 7,0 pode causar irritação na pele e nos olhos, bem como problemas de corrosão em equipamentos. Se a faixa estiver acima do ideal, reduz a eficácia do cloro e pode originar problemas como incrustações brancas, cinzentas ou marrons nos tubos e em outras partes do sistema de circulação de água, deixando a água turva, além de causar irritação nos olhos, ressecamento da pele e dos cabelos dos usuários.

Os resultados da aplicação de diferentes dosagens na remoção da turbidez da água constam na Figura 7.2. As dosagens apresentaram diferença significativa, sendo a de 24 g, a que apresentou maior eficiência na remoção da turbidez (60,66%), seguida da dosagem de 16 g (56,72%), as demais apresentaram eficiência de 46,20 e 51,08%. Dentre os resultados obtidos em pesquisa desenvolvida por Bongiovani et al. (2013), a análise estatística também indicou que as diferentes dosagens para o coagulante obtido de *M. oleifera* foram estatisticamente diferentes com dosagem ótima de 50 mg/L. Valores superiores ao obtido no presente estudo foram relatados por Nkurunziza et al. (2009), que ao utilizarem extrato salino para tratamento de água com turbidez de 50 NTU, encontraram percentual de remoção de turbidez de 87,5%.

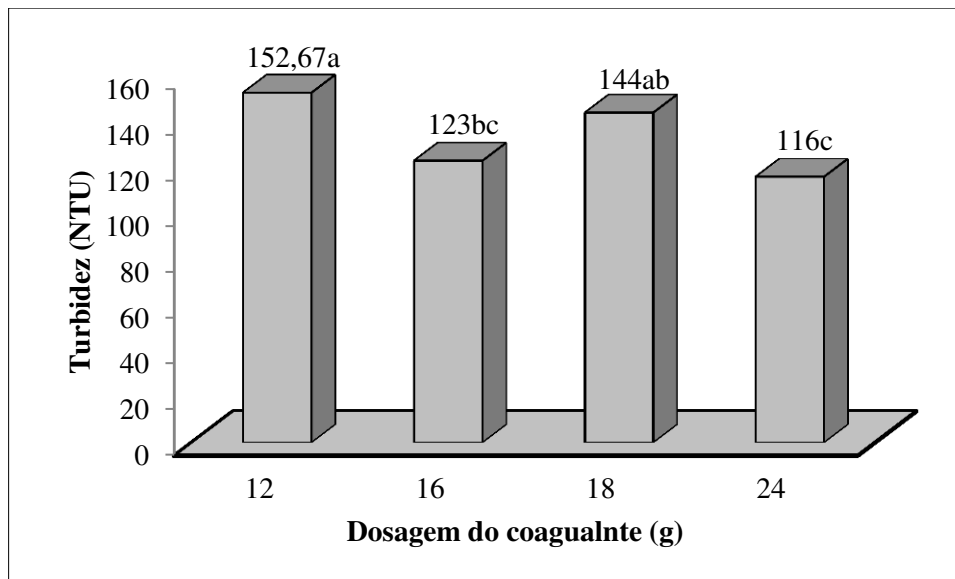


Figura 7.2. Representação gráfica da dosagem de coagulante à base de extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* para a turbidez.

A portaria n° 5/2017 do Ministério da Saúde estabelece valor máximo de 5,0 NTU para turbidez em água considerada potável (BRASIL, 2017). Deste modo, o uso de coagulante à base do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* mostrou-se eficiente na remoção de turbidez, mas não eficaz.

Muniz et al. (2015) ao avaliarem o efeito das sementes de moringa com casca e sem casca na redução da turbidez de águas com diferentes níveis de turbidez, observaram que a eficiência das sementes de moringa na remoção da turbidez variou em função dos níveis de turbidez inicial das amostras de água. As amostras com turbidez inicial de 70, 250 e 400 NTU sofreram, respectivamente, reduções maiores ou iguais a 89,5, 95,5 e 97,5% em relação à turbidez inicial, a partir da concentração de 200 mg/L de sementes de moringa.

Mangale et al. (2012) obtiveram uma dosagem ótima de 50 mg/L de *M. oleifera* em pó utilizando uma água de baixa turbidez (< 50 NTU) obtendo ao final turbidez abaixo de 5 NTU. Franco et al. (2012) avaliando a filtração com e sem pré-tratamento, observaram que a filtração com o pré-tratamento teve maior eficiência de remoção (89% de turbidez e 86% de cor) se comparadas com a filtração sem o recebimento do mesmo (62% de cor e turbidez). Vale salientar que a filtração é uma das etapas importantes no tratamento de água, mas não foi aplicada nesta pesquisa; portanto, faz-se necessário adicionar um estágio de filtração para melhorar a qualidade da água tratada.

Os resultados obtidos para a cor aparente da água estão apresentados na Figura 7.3. Diferentemente do que ocorreu com o pH e a turbidez, a dosagem que apresentou

maior eficiência na remoção da cor aparente foi a de 16 g. Esta dosagem apresentou uma redução de 61,33% quando comparada com a cor aparente inicial 500 (uH mg Pt Co/L).

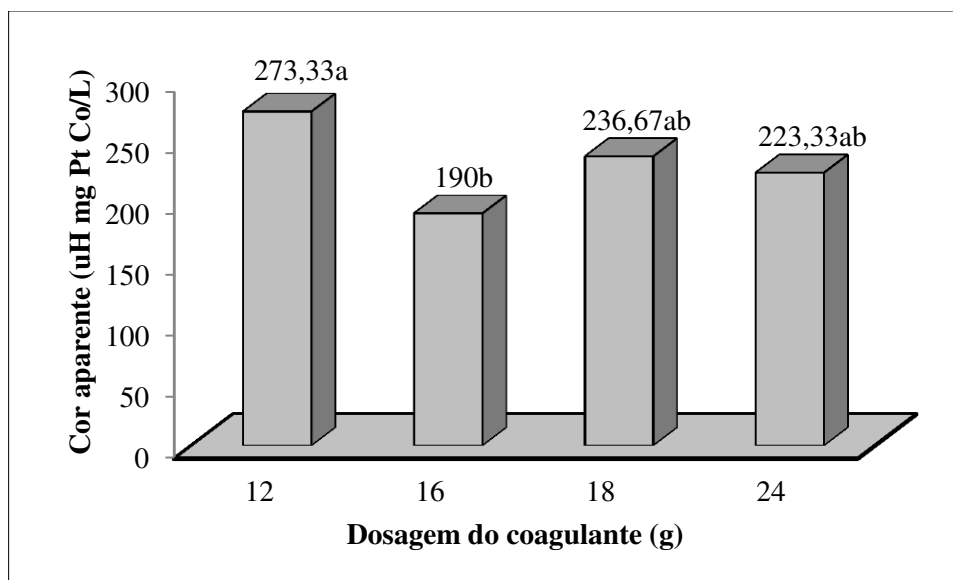


Figura 7.3. Representação gráfica da dosagem de coagulante à base de extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* para a cor aparente.

A dosagem de 12 g apresentou menor eficiência 45,33%; as demais dosagens, 18 e 24 g, apresentaram eficiência de 52,66 e 55,33%, respectivamente. Resultado semelhante foi verificado por Valverde et al. (2018) ao utilizarem maiores proporções de moringa como coagulante, o que acarretou em menor eficiência de remoção de cor aparente e turbidez, 70,1 e 56,7%, respectivamente.

Segundo Renault et al. (2009), os coagulantes naturais são mais vantajosos do que os compostos inorgânicos porque produzem flocos mais densos e compactos, reduzem a dosagem de coagulante inorgânico necessária e produzem quantidades menores de lodo. Esta afirmação corrobora com Mohamed et al. (2015), ao observarem que a secagem por liofilização e a extração da moringa por cloreto e nitrato de potássio diminuem as dosagens ótimas do coagulante em 28 e 18%, respectivamente.

7.4. Conclusão

A proposta de elevar os níveis de pH, turbidez e cor aparente acima do permitido pela legislação brasileira, aplicando diferentes dosagens do extrato liofilizado de moringa resultou em pH de acordo com os limites exigidos pela legislação brasileira para água potável. A partir da dosagem de 16 g, o pH apresentou-se dentro do

permitido; a dosagem de 24 g, a que resultou em menor valor, foi a escolhida por apresentar-se a mais próxima do pH ideal para água de consumo humano.

A dosagem de 24 g resultou em maior redução no nível de turbidez (60,66%) e a concentração de 16 g apresentou maior eficiência (61,33%) na remoção da cor aparente da água, apesar desta eficiência os parâmetros turbidez e cor aparente apresentaram ao final da pesquisa valores superiores ao exigido pela legislação brasileira para potabilidade de água.

7.5. Referências

ADENIRAN, K. A.; AKPENPUUN, T. D.; AKINYEMI, B. A.; WASIU, R. A. Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as a coagulant in domestic wastewater treatment. **African Journal of Science, Technology, Innovation and Development**, v. 9, p. 323-328, 2017.

BONGIOVANI, M. C.; VALVERDE, K. C.; BERGAMASCO, R. Utilização do processo combinado coagulação/floculação/UF como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a *Moringa oleifera* Lam. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 65-76, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 out. 2017.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. L. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: American Public Health Association- APHA, p. 1274, 2005.

FAYOS, B. G.; ARNAL, J. M.; SANCHO, M.; RODRIGO, I. *Moringa oleifera* for drinking water treatment: Influence of the solvent and method used in oil extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 48, p. 1-8, 2016.

FRANCO, M.; SILVA, G. K.; PATERNIANI, J. E. S. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 989-997, 2012.

FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulação com semente de *Moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 781-788, 2017.

HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; DIN, W. N. S.; LAM, S. S.; KHATOON, H.; ENDUT, A.; JUSOH, A. Harvesting microalgae, *Chlorella* sp. by bio-flocculation of *Moringa oleifera* seed derivatives from aquaculture wastewater phytoremediation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 95, p. 270-275, 2014.

HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; KHATOON, H.; JUSOH, A.; ENDUT, A. A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bioflocculation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 30, p. 1-8, 2016.

KATAYON, S.; NOOR, M. J. M. M.; ASMA, M.; GHANI, L. A. A.; THAMER, A. M.; AZNI, I. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1455-1460, 2006.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V. E.; NASCIMENTO, F. S.; PAIVA, E. C. R. Ação coagulante do extrato de sementes de moringa preparado em diferentes substâncias químicas. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 20, n. 5, p. 453-459, 2012.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. **Water Air and Soil Pollution**, v. 211, p. 409-415, 2010.

MANGALE, S. M.; CHONDE, S. G.; RAUT, P. D. Use of *Moringa oleifera* (drumstick) seed as natural absorbent and an antimicrobial agent for ground water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 1, n. 3, p. 31-40, 2012.

MATEUS, G. A. P.; PINTO, L. A. M.; BAPTISTA, A. T. A.; NISHI, L.; KLEN, M. R. F.; GOMES, R. G.; ARAÚJO, A. A.; BERGAMASCO, R. Evaluation of natural coagulant *Moringa oleifera* Lam. in the treatment of dairy wastewater at different pH. **Acta Horticulturae**, v. 1, p. 357-364, 2017.

MOHAMED, E. H.; MOHAMMAD, T. A.; NOOR, M. J. M. M.; GHAZALI, A. H. Influence of extraction and freeze-drying durations on the effectiveness of *Moringa oleifera* seeds powder as a natural coagulant. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, p. 3628-3634, 2015.

MUNIZ, G. L.; DUARTE, F. V.; OLIVEIRA, S. B. Uso de sementes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 454-463, 2015.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. **Water Research**, v. 29, n. 4, p. 1099-1105, 1995.

MUYIBI, S. A.; IDRIS, M. A.; JAMI, S.; JAMAL, P.; KARIM, M. I. A. Statistical optimization of process conditions for disinfection of water using defatted *Moringa oleifera* seed extract. **International Journal of Environmental**, v. 7, n. 9, p. 628-633, 2013.

NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J. B.; BANADDA, E. N.; NHAPI, I. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. **Water Science & Technology**, v. 59, n. 8, p. 1551-1558, 2009.

NISHI, L.; MADRONA, G. S.; GUILHERME, A. L. F.; VIEIRA, A. M. S.; ARAÚJO, A. A.; UGRI, M. C. B. A.; BERGAMASCO, R. Cyanobacteria removal by

coagulation/floculation with seeds of the natural coagulant *Moringa oleifera* Lam. **Chemical Engineering Transactions**, v. 24, p. 1129-1134, 2011.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO, A. A.; THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.; FIELIS, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 3010-3020, 2015.

RENAULT, F.; SANCEY, B.; BADOT, P. M.; CRINI, G. Chitosan forcoagulation/flocculation processes-an eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, v. 45, p. 1337-1348, 2009.

SALAZAR, N. A.; ALVAREZ, C.; ORREGO, C. E. Optimization of freezing parameters for freeze-drying mango (*Mangifera indica* L.) slices. **Drying Technology**, v. 36, n. 2, p. 192-204, 2017.

SANTOS, T. R. T.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R. Uso do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam no processo combinado de coagulação/floculação/adsorção para minimização da formação de trihalometanos. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 131-141, 2013.

SANTOS, R. D.; POLETTO, B. O.; MELO, E. J.; RIBEIRO, E. T.; RACOSKI, B. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas de piscinas localizadas no município de Ariquemes-RO. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 120-136, 2016.

SCHMITT, D. M. F.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; PALÁCIO, S. M.; TRIGUEROS, D. E. G.; BERGAMASCO, R.; MATEUS, G. A. P. Potential of the *Moringa oleifera* saline extract for the treatment of dairy wastewater: application of the response surface methodology. **Environmental Technology**, v. 1, p. 1-40, 2018.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

VALVERDE, K. C.; PACCOLA, E. A. S.; POMINI, A. M.; YAMAGUCHI, N. U.; BERGAMASCO, R. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 3, p. 1-11, 2018.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VIEIRA, A. M. S.; VIEIRA, M. F.; SILVA, G. F.; ARAÚJO, A. A.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. Use of *Moringa oleifera* seed as a natural adsorbent for wastewater treatment. **Water Air and Soil Pollution**, v. 206, p. 273-281, 2010.

ZHANG, G.; GUHATHAKURTA, S.; DAI, G.; WU, L.; YAN, L. The control of land-use patterns for storm water management at multiple spatial scales. **Environmental Management**, v. 51, p. 555-570, 2013.

8. ARTIGO III – SEDIMENTAÇÃO DE ÁGUA TRATADA COM EXTRATO LIOFILIZADO DE *MORINGA OLEIFERA*

Resumo: A crescente preocupação mundial com as questões ambientais tem despertado o interesse por pesquisas com coagulantes naturais. Eles são de baixo custo, possuem fonte abundante, são altamente biodegradáveis; apresentam baixa toxicidade, aumentando a eficiência do processo de coagulação. Destaca-se ainda seu comportamento favorável ao meio ambiente quando comparados com coagulantes químicos e polímeros sintéticos. Objetivou-se com o trabalho realizar estudo de sedimentação de água em diferentes tempos utilizando coagulante obtido do extrato liofilizado de sementes de moringa. Desenvolveu-se a pesquisa no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Brasil. Obteve-se o extrato em pó pelo método de secagem por liofilização. Estudou-se a sedimentação nos tempos de 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 min. Avaliaram-se três parâmetros de qualidade da água: pH, turbidez e cor aparente. Os tempos de sedimentação estudados para o pH apresentaram valores médios dentro do exigido pela legislação brasileira para água potável, sendo o tempo de 480 min o que apresentou melhor resultado. Os tempos de sedimentação influenciaram na remoção da turbidez e cor aparente. Por apresentar maior eficiência para o pH, seguido de maiores reduções na turbidez e cor aparente da água, escolheu-se o tempo de 480 min de sedimentação como o melhor.

Palavras-chave: coagulante, decantação, sementes, tratamento de água.

STUDY OF SEDIMENTATION OF WATER TREATED WITH FREEZE-DRIED EXTRACT OF *MORINGA OLEIFERA*

Abstract: The growing global concern with environmental issues has aroused interest in research with natural coagulants. They are low cost, abundant in source, highly biodegradable; low toxicity, increasing the efficiency of the coagulation process. Their favorable behavior to the environment when compared to chemical coagulants and synthetic polymers is also noteworthy. The objective of this study was to study water sedimentation at different times using coagulant obtained from freeze-dried extract of moringa seeds. The research was carried out in the Laboratory of Processing and Storage of Agricultural Products, Federal University of Campina Grande, Brazil.

Powdered extract was obtained by the freeze-drying method. Sedimentation was studied in 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 and 480 min. Three water quality parameters were evaluated: pH, turbidity and apparent color. The sedimentation times studied for the pH presented average values within the requirements of the Brazilian legislation for drinking water, and the time of 480 min presented the best result. The sedimentation times influenced the removal of turbidity and apparent color. For presenting greater efficiency for the pH, followed by greater reductions in the turbidity and apparent color of the water, the time of 480 min of sedimentation was chosen as the best.

Keywords: coagulant, decantation, seeds, water treatment.

8.1. Introdução

A água é fundamental para os seres vivos e para o desenvolvimento econômico. O uso sustentável da água não deve ser uma prioridade apenas do setor agrícola e das regiões onde já se observam a escassez de água, ele deve ser uma prioridade de todos os setores e regiões (TUKKI et al., 2016). Sendo assim, é necessário que a água seja tratada, a fim de torná-la potável e apta para ser distribuída à população. Desta forma, toda água destinada ao consumo humano deve obedecer aos padrões de potabilidade, portanto, os parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos devem ser atendidos (BRASIL, 2017).

A descoberta do uso das sementes de *Moringa oleifera* para a purificação de água, a um custo menor que do tratamento químico convencional, constitui uma alternativa de mais alta importância. Nkurunziza et al. (2009) explicam que as sementes possuem um composto ativo que atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas; esse processo é responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação. As sementes de moringa possuem polissacarídeos com poder aglutinante. Além disso, possuem também atividade antimicrobiana (JOSHUA; VASU, 2013).

Segundo Jennifer (2015), as soluções de sementes de moringa para tratamento de água podem ser preparadas a partir das sementes ou do resíduo que sobra após a extração do óleo. As sementes podem ser armazenadas por longos períodos, mas as soluções para o tratamento de água devem ser preparadas no momento do uso. Portanto, faz-se necessário adotar métodos que preservem, por um período de tempo maior, o princípio ativo presente nas sementes de moringa. Dentre os métodos que podem ser aplicados, destaca-se a liofilização, por ser um processo de desidratação, que preserva

materiais sensíveis ao calor e outros materiais biológicos, em longo prazo. É baseado no fenômeno da sublimação, que minimiza as mudanças estruturais e preserva os compostos do produto seco (SALAZAR et al., 2017).

Pesquisas com a aplicação de coagulantes naturais como a *M. oleifera*, apresentam resultados promissores quanto à clarificação de águas turvas, remoção de turbidez, cor e microrganismos (PATERNIANI et al., 2009). Diversos trabalhos relacionados à comparação de coagulantes químicos e naturais destacam a vantagem de utilização deste último por apresentar, especificamente, maior biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (SANTOS et al., 2011; VALVERDE et al., 2018a).

A coagulação e a floculação são amplamente utilizadas em unidades de tratamento de grande escala. A eficiência dos dois processos é afetada por fatores como turbidez, pH, dosagem de coagulante, condições de mistura e tem impacto substancial no desempenho da etapa seguinte, a sedimentação (LANCINÉ et al., 2008). A etapa de sedimentação constitui a última etapa de clarificação da água. Neste ponto do processo, a água anteriormente floculada está pronta para ser separada dos sólidos através da decantação deles pela força da gravidade (SCHOLZ, 2016). O processo de floculação utilizando o coagulante de moringa ocorre quando as proteínas se ligam às cargas negativas das partículas, produzindo flocos e juntando as impurezas presentes na água (VALVERDE et al., 2018b). No entanto, o mecanismo de coagulação e o tempo de sedimentação da água ainda não estão bem definidos entre os pesquisadores, fazendo-se necessário o desenvolvimento de novos estudos.

Com base no exposto, objetivou-se realizar estudo de sedimentação da água em diferentes tempos utilizando coagulante obtido do extrato liofilizado de sementes de moringa.

8.2. Material e Métodos

8.2.1. Condução da pesquisa

Realizou-se a pesquisa no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. Obteve-se o extrato em pó a partir da trituração das sementes de moringa em liquidificador doméstico, em seguida adicionou-se água destilada para formação da pasta a ser liofilizada. Realizou-se a secagem em liofilizador de bancada, modelo L101, à temperatura de -54 °C por 72 h.

8.2.2. Sedimentação da água

Nos tempos de 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 min realizou-se a sedimentação da água. Avaliaram-se três parâmetros de qualidade da água: pH adicionando-se 0,25 g de carbonato de sódio à água destilada a fim de obter valor superior ao permitido, turbidez e cor aparente obtidas com aplicação de 0,5 g de argila (Tabela 8.1). Os valores máximos permitidos obedeceram aos estabelecidos pela portaria nº 5 de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017). Aplicaram-se as dosagens de 24 e 16 g, respectivamente, para os parâmetros estudados.

Tabela 8.1. Caracterização inicial da água.

Parâmetros	Valor médio inicial	VMP ¹
pH	11,2	9,5
Turbidez (NTU)	340	5
Cor aparente uH (mg Pt-Co/L)	500	15

¹Valor Máximo Permitido (BRASIL, 2017).

Os ensaios foram realizados em Jar Test, com adoção de dois tempos: T₁ 3 min correspondeu à homogeneização das amostras e T₂: 10 min a coagulação/floculação da água, a 160 rpm, segundo metodologia de Pereira et al. (2015) modificada. Após a coagulação/floculação do material, desligou-se o Jar Test e mantiveram-se as amostras em repouso para que ocorresse a sedimentação. Após cada tempo de sedimentação, retiraram-se 50 mL de cada amostra para as análises de pH determinado em pHmetro digital, turbidez em turbidímetro digital modelo DLT-WV e cor aparente em analisador de cor, conforme o método Platina-Cobalto, adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON et al., 2005).

A eficiência do coagulante foi calculada conforme a metodologia de Fayos et al. (2016) adaptada, em que os valores inicial e final foram substituídos pelo valor do respectivo parâmetro analisado, Eq. 8.1.

$$Eficiência\ do\ coagulante(\%) = \frac{Valor\ do\ parâmetro\ inicial - Valor\ do\ parâmetro\ final}{Valor\ do\ parâmetro\ inicial} \times 100 \quad (8.1)$$

8.2.3. Análise estatística

Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com oito tratamentos compostos pelos tempos de 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420 e 480 min de

sedimentação e três repetições. Submeteram-se os resultados à análise de variância e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

8.3. Resultados e Discussão

Observa-se, na Tabela 8.2 e Figura 8.1, que os tempos de sedimentação apresentaram valores de pH dentro do permitido pela legislação brasileira. O tempo de 480 min destacou-se por apresentar maior eficiência com pH de 7,70 em temperatura de 25 °C.

Tabela 8.2. Valores médios dos tempos de sedimentação da água tratada com coagulante obtido do extrato liofilizado de *M. oleifera*.

Tempos de sedimentação (min)	Parâmetros		
	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uH mg Pt Co/L)
60	8,76	100,03a	208,33a
120	8,56	68,00b	130,00b
180	8,40	61,56b	103,33bc
240	8,20	59,06bc	96,66bc
300	8,03	51,13bc	105,00bc
360	7,90	45,70bc	103,33bc
420	7,80	36,93cd	106,66bc
480	7,70	18,83d	88,33c
CV (%)	ND*	8,79	7,54

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ND*: Não determinado.

De acordo com Santos et al. (2016), a faixa considerada ideal para o pH é de 7,2 a 7,6, ou seja, é recomendado o consumo de água com pH superior a 7,0, pois desta forma irá neutralizar os efeitos do consumo de alimentos ácidos, contribuindo, por exemplo, para a redução dos sintomas de refluxo gastroesofágico.

Oliveira et al. (2018) relatam que a *M. oleifera* não altera significativamente o pH da água a ponto de precisar corrigi-lo, mas reduz drasticamente o número de partículas suspensas e também reduz a quantidade de microrganismos. A semente possui agentes coagulantes que ajudam na remoção da turbidez, da cor e coliformes presentes na água. A Figura 8.1 mostra o coeficiente de determinação com R^2 de 97%. Isso indica o bom ajuste dos dados e explica a variação inerente ao pH da água durante os tempos de sedimentação, cuja equação pode ser utilizada para estimar o quanto os dados estão próximos da linha de regressão ajustada, a nível de confiança revelado pelo R^2 .

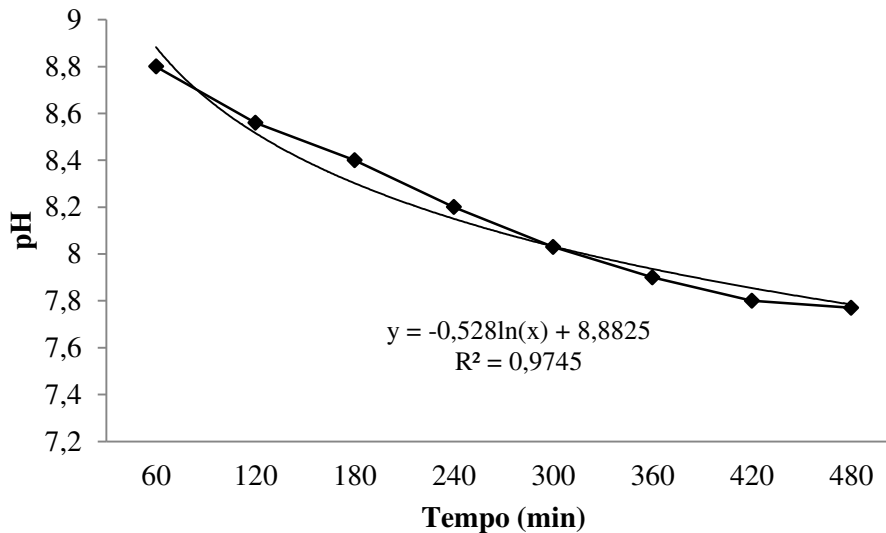


Figura 8.1. Representação gráfica da sedimentação da água em diferentes tempos para o pH.

Na Figura 8.2, constam os resultados obtidos para a turbidez da água. Observa-se um bom ajuste dos dados com R^2 superior a 90%. Quanto maior o R^2 , melhor o modelo de regressão poderá se ajustar aos seus dados, todavia, existem condições importantes para esta diretriz. Os valores obtidos para os tempos de sedimentação apresentaram diferença estatística e eficiência de remoção da turbidez entre 70 e 94%. Apesar de apresentarem alta eficiência, os valores para a turbidez encontram-se fora do permitido pela legislação vigente que estabelece 5 NTU como valor máximo para a turbidez de água para consumo humano (BRASIL, 2017).

A turbidez inicial foi de 340 NTU, ao final do tempo sedimentação de 480 min a mesma apresentou valor médio de 18,83 NTU, portanto, o tempo de 480 min apresentou maior eficiência na remoção da turbidez com 94%, ou seja, com maior tempo de sedimentação, a formação e decantação dos flocos tornam-se mais eficientes. Silva et al. (2018) ao compararem a eficiência do pó in natura com o liofilizado na remoção de turbidez obtiveram eficiência de 99,88% para o pó liofilizado no tempo de sedimentação de 24 h, onde ao final o valor da turbidez foi de 0,9 NTU, dentro do exigido pela legislação vigente. Este resultado evidencia a eficiência do pó liofilizado das sementes de moringa no tratamento da água. Muniz et al. (2015) observaram também que o tempo de sedimentação influenciou na remoção da turbidez, uma vez que essa diminuiu consideravelmente chegando à maior remoção de 98,73% no tempo máximo estudado de 120 min.

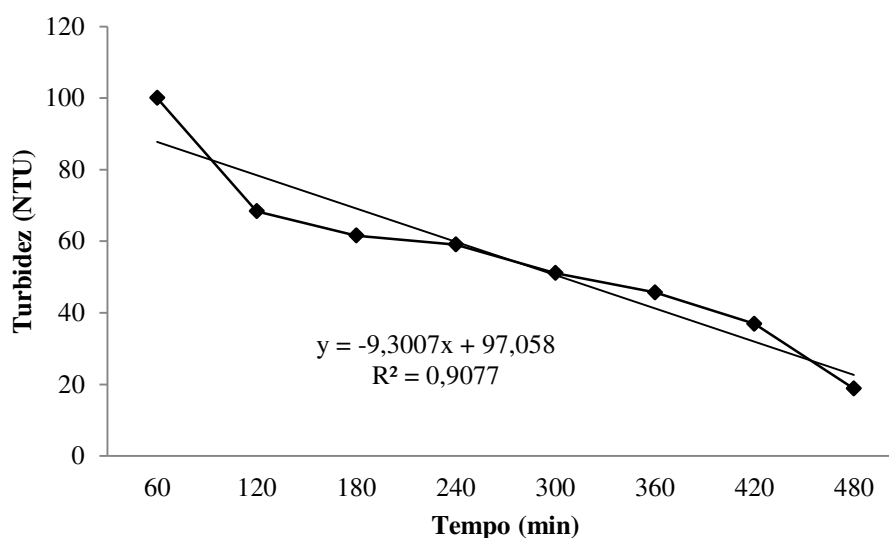


Figura 8.2. Representação gráfica da sedimentação da água em diferentes tempos para a turbidez.

Cardoso et al. (2008) estudando a otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta com sementes de moringa, encontraram o tempo de 90 min como o tempo ideal para a sedimentação, observando uma redução de 95,6% da turbidez. Ainda de acordo com os autores, quanto maior o tempo de repouso, maior a quantidade de partículas floculadas que decantarão. Lo Monaco et al. (2010) estudando os tempos de sedimentação de 2 e 24 h, verificaram que o tempo de 24 h proporcionou reduções maiores na turbidez de água.

Segundo Bongiovani et al. (2014) o tamanho do floco é um parâmetro crucial nos processos de tratamento de água. Os flocos formados com extrato de moringa são pequenos e frágeis, e o processo de sedimentação é lento. Desta forma, acredita-se que, para águas mais turvas, as quais apresentam maior quantidade de partículas sólidas em suspensão, um tempo menor de sedimentação como o de 60 min não é suficiente para a formação dos flocos. Siqueira et al. (2018) também constataram que houve maior variação ao longo do tempo de sedimentação, ao analisarem a performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água.

Na Figura 8.3, podem ser observados os resultados obtidos para a cor aparente. Verifica-se R^2 baixo inferior a 60%, o que indica uma maior dispersão entre os dados. É possível verificar que os tempos de sedimentação influenciaram na redução da cor, isso pode ter influenciado para o R^2 baixo. Semelhante ao que foi verificado com a turbidez,

o tempo de 480 min apresentou maior redução neste parâmetro com eficiência de 82,33%, houve diferença significativa entre os tempos estudados.

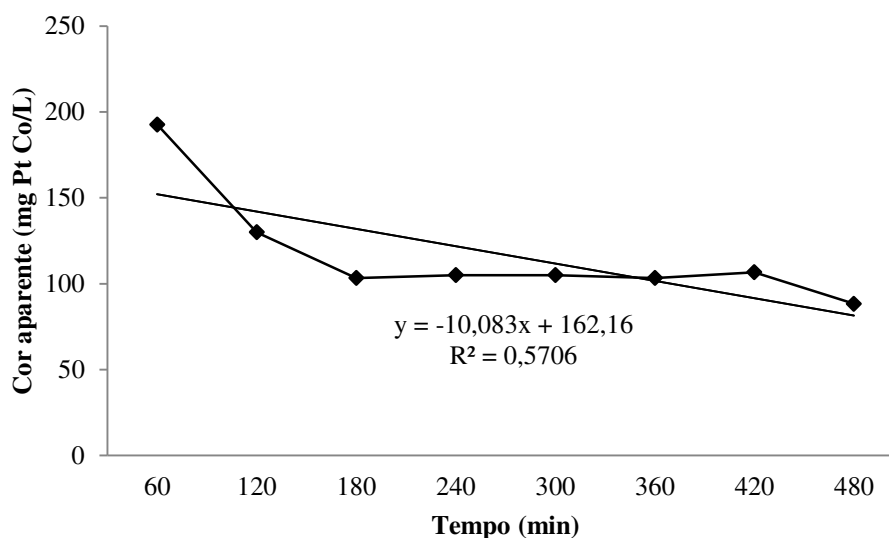


Figura 8.3. Representação gráfica da sedimentação da água em diferentes tempos para a cor aparente.

Os tempos de sedimentação apresentaram eficiência superior a 80%, entretanto, os valores para a cor aparente da água não se enquadram dentro do permitido pela legislação vigente que estabelece como valor máximo 15 uH. Por ser um produto biodegradável, a presença de moringa tende a aumentar o teor de matéria orgânica em água tratada, conforme foi observado por Vieira et al. (2010) e Awad et al. (2013), isso pode ter influenciado nos resultados, uma vez que o processo de filtração não foi aplicado.

Os parâmetros de turbidez e cor aparente não atenderam à qualidade exigida para a água destinada ao consumo humano, segundo a portaria nº 5/2017. No entanto, desde que a eficiência de remoção seja superior a 80%, o uso de moringa no tratamento de água não pode ser descartado. Além disso, a resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, alterada pelas resoluções nº 393/2007, nº 397/2008 e nº 410/2009 e nº 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (BRASIL, 2005). Em seu art. 14 as águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões: turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez; cor aparente: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e pH: 6,0 a 9,0. Considerando o que estabelece a referida resolução, os valores observados nesta pesquisa encontram-se dentro do estabelecido. Por isso, trabalhos com a moringa

indicam que a sua utilização pode reduzir o uso de coagulantes químicos, além de apresentar como vantagens a menor geração de lodo, boa remoção da cor e turbidez da água, remoção de algumas bactérias, em até 90% (OLIVEIRA et al., 2018).

8.4. Conclusão

Os tempos de sedimentação estudados para o pH apresentaram valores médios dentro do exigido pela legislação brasileira para água potável, e o tempo de 480 min apresentou melhor resultado com pH igual a 7,7. Os tempos de sedimentação influenciaram na remoção da turbidez e cor aparente, pois com o aumento gradativo do tempo de sedimentação, a turbidez e a cor diminuíram consideravelmente, sendo o tempo de 480 min o que resultou em melhores resultados para ambos os parâmetros.

Apesar de apresentarem alta eficiência, os parâmetros turbidez e cor aparente, quando comparados aos valores máximos permitidos pela portaria nº 5/2017, apresentaram-se fora do valor permitido pela legislação vigente para água potável, mas dentro do estabelecido quando comparados ao permitido pela resolução CONAMA nº 357 e suas alterações. A moringa apresentou-se eficiente na remoção de turbidez e cor aparente, sendo avaliada, então, como um processo promissor na etapa de coagulação/floculação e sedimentação de águas potáveis.

8.5. Referências

AWAD, M.; WANG, H.; LI, F. Preliminary study on combined use of moringa seeds extract and PAC for water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 2, n. 8, p. 52-55, 2013.

BONGIOVANI, M. C.; CAMACHO, F. P.; NISHI, L.; COLDEBELLA, P. F.; VALVERDE, K. C.; VIEIRA, A. M. Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of *Moringa oleifera* lam with anionic polymer in water treatment. **Environmental Technology**, v. 35, n. 17, p. 2227-2236, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 mar. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 out. 2017.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. L. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: American Public Health Association- APHA, p. 1274, 2005.

FAYOS, B. G.; ARNAL, J. M.; SANCHO, M.; RODRIGO, I. *Moringa oleifera* for drinking water treatment: Influence of the solvent and method used in oil extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 48, p. 1-8, 2016.

JENNIFER, S. **Researchers study inexpensive process to clean water in developing nations**. Nigeria: Development Council in Abuja. 2015.

JOSHUA, R.; VASU, V. Characteristics of stored rain water and its treatment technology using moringa seeds. **International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research**, v. 2, n. 1, p. 155-174, 2013.

LANCINÉ, G. D.; BAMORY, K.; RAYMOND, L.; JEAN-LUC, S.; CHRISTELLE, B.; JEAN, B. Coagulation-flocculation treatment of a tropical surface water with alum for dissolved organic matter (DOM) removal: Influence of alum dose and pH adjustment. **Journal of International Environmental Application & Science**, v. 3, n. 4, p. 247-257, 2008.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. S.; SARMENTO, A. P. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente

coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

MUNIZ, G. L.; DUARTE, F. V.; OLIVEIRA, S. B. Uso de sementes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 454-463, 2015.

NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J. B.; BANADDA, E. N.; NHAPI, I. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. **Water Science & Technology**, v. 59, n. 8, p. 1551-1558, 2009.

OLIVEIRA, N. T.; NASCIMENTO, K. P.; GONÇALVES, B. O.; LIMA, F. C.; COSTA, A. L. N. Tratamento de água com *Moringa oleifera* como coagulante/floculante natural. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente. Ariquemes: FAEMA**, v. 9, n. 1, p. 373-382, 2018.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 765-771, 2009.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO, A. A.; THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.; FIELIS, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 3010-3020, 2015.

SALAZAR, N. A.; ALVAREZ, C.; ORREGO, C. E. Optimization of freezing parameters for freeze-drying mango (*Mangifera indica* L.) slices. **Drying Technology**, v. 36, n. 2, p. 192-204, 2017.

SANTOS, T. M.; PEREIRA, D. F.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando *Moringa oleifera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Revista E-xacta**, v. 9, p. 317-321, 2011.

SANTOS, R. D.; POLETTO, B. O.; MELO, E. J.; RIBEIRO, E. T.; RACOSKI, B. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas de piscinas localizadas no município de Ariquemes-RO. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 120-136, 2016.

SCHOLZ, M. Coagulation and flocculation. **Wetlands for Water Pollution Control**, v. 2, p. 37- 46, 2016.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, S. N.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P.; SILVA, P. B.; MELO, B. A.; MORAES, J. S. Eficiência na remoção da turbidez de água com aplicação de pó in natura e liofilizado de sementes de moringa. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 7., 2018, Salvador. **Anais...** Salvador, 2018. p. 1-5.

SIQUEIRA, A. P. S.; SILVA, C. N.; REZENDE, L. C. S. H.; MILANI, R. G.; YAMAGUCHI, N. U. Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 18-29, 2018.

TUKKI, O. H.; BARMINAS, J. T.; OSEMEAHON, S. A.; ONWUKA, J. C.; DONATUS, R. A. Adsorption of colloidal particles of *Moringa oleifera* seeds on clay for water treatment applications. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 65, n. 1, p. 75-86, 2016.

VALVERDE, K. C.; PACCOLA, E. A. S.; POMINI, A. M.; YAMAGUCHI, N. U.; BERGAMASCO, R. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, p. 1-11, 2018a.

VALVERDE, C. K.; FERRI, C. P.; SILVA, F. M.; NISHI, L.; BONGIOVANI, C. M.; BERGAMASCO, R. *Moringa oleifera* Lam. and its potential association with

aluminium sulphate in the process of coagulation/flocculation and sedimentation of surface water. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 1, p. 1-6, 2018b.

VIEIRA, A. M. S.; VIEIRA, M. F.; SILVA, G. F.; ARAÚJO, Á. A.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. Use of *Moringa oleifera* seed as a natural adsorbent for wastewater treatment. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 206, n. 1, p. 273-281, 2010.

9. ARTIGO IV – MÉTODOS ALTERNATIVOS DE APLICAÇÃO DE COAGULANTE À BASE DE EXTRATO LIOFILIZADO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA* NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Resumo: A *Moringa oleifera* é um coagulante natural eficaz que pode ser usado no tratamento alternativo de água, representando uma alternativa viável para comunidades rurais que não dispõem de tratamento de água. Objetivou-se com a pesquisa estudar e definir o método mais eficiente para aplicação do coagulante obtido do extrato liofilizado de sementes de *Moringa oleifera* Lam., no tratamento alternativo de água. Desenvolveu-se o trabalho no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Brasil. Realizou-se a secagem em liofilizador modelo L101, à temperatura de -54 °C durante 72 h. Estudaram-se os métodos de aplicação: direto, líquido, filtro e sachê. Prepararam-se amostras de águas destiladas artificialmente com o objetivo de proporcionar a quantidade máxima dos parâmetros pH, turbidez e cor aparente, conforme legislação brasileira para água potável. Para o tratamento das águas aplicaram-se as dosagens de 24 g para o pH e a turbidez e 16 g para a cor aparente. A aplicação do coagulante pelos métodos direto e líquido resultaram em menores valores de pH, apresentando-se dentro do estabelecido pela legislação brasileira. O coagulante aplicado pelos métodos de filtro e sachê apresentaram potencialidades de usos, quando se considerou não só a redução de turbidez, mas também da cor aparente. Os métodos de aplicação selecionados com base nos melhores resultados de cada parâmetro estudado foram o direto, filtro e o sachê.

Palavras-chave: coagulantes naturais, filtro, liofilização, sachê, qualidade de água.

ALTERNATIVE METHODS OF APPLYING COAGULANT BASED ON FREEZE-DRIED EXTRACT OF *MORINGA OLEIFERA* SEEDS IN WATER TREATMENT

Abstract: *Moringa oleifera* is an effective natural coagulant that can be used in alternative water treatment, representing a viable alternative for rural communities without water treatment. The objective of the research was to study and define the most efficient method for applying the coagulant obtained from freeze-dried extract of *Moringa oleifera* Lam., seeds in the alternative water treatment. Work was carried out

in the Laboratory of Processing and Storage of Agricultural Products, Federal University of Campina Grande, Brazil. Drying was carried out in a model L101 freeze-dryer, at a temperature of -54 °C during 72 hours. The application methods were studied: direct, liquid, filter and sachet. Artificially distilled water samples were prepared in order to provide the maximum amount of pH, turbidity and apparent color parameters, according to Brazilian drinking water legislation. For water treatment, 24 g for pH and turbidity and 16 g for apparent color were applied. The application of coagulant by the direct and liquid methods resulted in lower pH values, within the limits established by Brazilian legislation. The coagulant applied by the filter and sachet methods presented potential uses, when not only the reduction of turbidity but also the apparent color was considered. The application methods selected based on the best results of each parameter studied were the direct, filter and sachet.

Keywords: natural coagulants, filter, freeze-drying, sachet, water quality.

9.1. Introdução

A disponibilidade e qualidade de água sempre desempenharam um papel importante na determinação não só de onde as pessoas podem viver, mas também da sua qualidade de vida. Embora sempre tenha havido muita água na terra, esta nem sempre esteve disponível quando e onde é necessário, tampouco em qualidade adequada para todos os usos (ABIYU et al., 2018).

A realidade de países em desenvolvimento como o Brasil leva a situações em que muitas pessoas captam e consomem águas superficiais sem nenhum tipo de tratamento. Essas águas possivelmente contaminadas pelas próprias condições sanitárias do local ou pelas atividades antrópicas irregulares, colocam em risco a vida de milhões de pessoas que poderão ser vítimas de doenças de veiculação hídrica (SEIFU, 2015).

A coagulação é considerada a etapa mais crítica do tratamento de água para abastecimento, pois é caracterizada, geralmente, pela adição de coagulantes químicos. Tais coagulantes, como o sulfato de alumínio, amplamente utilizado, muitas vezes podem trazer riscos à saúde da população devido ao alumínio remanescente na água tratada e da grande quantidade de lodo produzido, tornando o uso de coagulantes naturais, de origem vegetal como a *Moringa oleifera*, uma alternativa viável e acessível (MADRONA et al., 2010). Além disso, o uso de coagulantes naturais de origem vegetal é de grande significação ecológica e ambiental, considerando que a presença das plantas

sempre contribui com a ecologia e a melhoria do ambiente, tornando-o mais agradável e ainda produzindo oxigênio, indispensável à respiração dos seres vivos.

A moringa é uma árvore de multiuso, resistente à seca e tolerante à salinidade (KUMAR et al., 2012). O uso de coagulantes naturais para tratamento de água em países em desenvolvimento é uma área que está ganhando interesse por parte de pesquisadores. Diversos trabalhos foram realizados com o objetivo de melhorar a eficiência na remoção de turbidez e cor, tais como a utilização da moringa em pó por Mangale et al. (2012), preparação da solução por extração aquosa por Pise e Halkude (2012) e preparação da solução por extração salina (MADRONA et al., 2012; MARTÍN et al., 2012). No entanto, estudos sobre métodos alternativos de aplicação do coagulante no tratamento de água ainda são escassos.

Diversos estudos estão sendo conduzidos para melhorar a qualidade da água e, assim, possibilitar o seu uso. Porém, muitas das técnicas desenvolvidas são caras e sofisticadas, não sendo acessíveis a uma parcela da população que compõe pequenas comunidades com menor poder aquisitivo. Tendo em vista essa questão, alternativas mais simples de tratamento e aplicação de coagulante, mas não menos eficientes, também vêm sendo estudadas. Apesar do comprovado potencial do coagulante à base de sementes de *M. oleifera*, Arantes (2010) sugere que tal tecnologia seja aprimorada a fim de reduzir a carga de sólidos da solução coagulante.

Considerando a necessidade de desenvolver métodos alternativos para a aplicação da solução coagulante, que reduzam a adição de possíveis resíduos não interessantes à água a ser tratada, objetivou-se com a pesquisa estudar e definir o método mais eficiente para aplicação do coagulante obtido do extrato liofilizado de sementes de *Moringa oleifera* Lam., no tratamento alternativo de água.

9.2. Material e Métodos

9.2.1. Obtenção do coagulante

No Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, trituraram-se as sementes de moringa em liquidificador doméstico, em seguida adicionou-se água destilada para formação da pasta a ser liofilizada, e ela foi congelada a -18 °C por 24 h (SANTOS et al., 2016). Realizou-se a secagem em liofilizador modelo L101, à temperatura de -54 °C durante 72 h.

9.2.2. Métodos de aplicação do coagulante

Estudaram-se os métodos de aplicação: direto, líquido, filtro e sachê. Prepararam-se amostras de águas destiladas artificialmente com o objetivo de proporcionar a quantidade máxima dos parâmetros pH, turbidez e cor aparente, conforme legislação brasileira para água potável (Tabela 9.1). Aplicaram-se as dosagens de 24 g para pH e turbidez e 16 g para cor aparente.

Tabela 9.1. Caracterização inicial da água.

Parâmetros	Valor médio inicial	VMP ¹
pH	11,2	9,5
Turbidez (NTU)	341	5
Cor aparente uH (mg Pt-Co/L)	500	15

¹Valor Máximo Permitido (BRASIL, 2017).

Na aplicação do método direto, adicionou-se o pó diretamente à água a ser tratada. No método líquido, adicionaram-se 100 mL de água destilada ao coagulante, e homogeneizou-se por 1 min em agitador magnético. No método de aplicação do coagulante utilizando filtro, empregou-se um filtro de material reutilizável, adicionaram-se para a diluição do pó 100 mL de água destilada. Em seguida, em agitador, homogeneizou-se a solução por 1 min. Para o método de sachê, fixou-se no interior dos jarros do Jar Test um sachê de material biodegradável, contendo o coagulante obtido do pó liofilizado de moringa.

O Jar Test, utilizado na pesquisa, foi ligado a uma velocidade de 160 rpm durante dois tempos: T₁: 3 min homogeneização e T₂: 10 min coagulação/floculação. Posteriormente, desligou-se o aparelho e as amostras mantiveram-se em repouso durante 480 min para que ocorresse a sedimentação do material floculado. Após este processo, retiraram-se 50 mL de cada amostra para as análises dos parâmetros: pH determinado em pHmetro digital, turbidez em turbidímetro modelo DLT-WV e cor aparente em analisador de cor, de acordo com o método Platina-Cobalto, adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON et al., 2005).

A eficiência do coagulante foi calculada para cada parâmetro estudado conforme a metodologia adaptada de Fayos et al. (2016), em que os valores inicial e final foram substituídos pelo valor do respectivo parâmetro analisado, Eq. 9.1.

$$Eficiência\ do\ coagulante(\%) = \frac{Valor\ do\ parâmetro\ inicial - Valor\ do\ parâmetro\ final}{Valor\ do\ parâmetro\ inicial} \times 100 \quad (9.1)$$

9.2.3. Análise estatística

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos, correspondentes aos métodos de aplicação do coagulante: direto, líquido, filtro e sachê, com três repetições. Submeteram-se os dados à análise de variância e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

9.3. Resultados e Discussão

Os métodos de aplicação do coagulante à base de extrato liofilizado de moringa influenciaram no pH da água apresentou valor de pH de 9,6, ou seja, acima do permitido pela legislação brasileira (Figura 9.1).

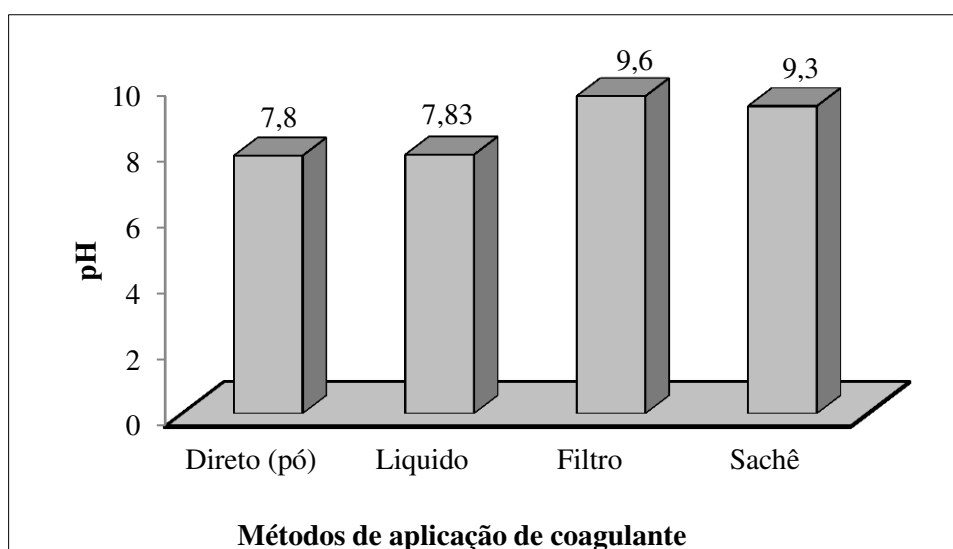


Figura 9.1. Métodos de aplicação de coagulante no tratamento de água para o pH.

Trabalhando com água bruta, Arantes et al. (2015), obtiveram valores de pH na faixa de 7,1 a 8,6. Após o tratamento com moringa, os valores observados variaram entre 6,1 e 8,6. Neste estudo, evidenciaram-se para os métodos estudados valores entre 7,80 e 9,3 para o pH; a exceção do método de filtro que apresentou pH 9,6, essas alterações não tornariam a água imprópria para o consumo humano, pois de acordo com a portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde, o pH da água deve ser mantido entre 6,0 e 9,5 (BRASIL, 2017). Considerando o que estabelece a referida portaria os métodos de aplicação: direto, líquido e sachê apresentaram-se adequados para aplicação do coagulante.

Para o parâmetro turbidez, foram observadas diferenças significativas entre os métodos de aplicação, sendo que os métodos de filtro e sachê resultaram em maiores reduções nos valores de turbidez, 93,18 e 89,65%, respectivamente (Figura 9.2). Apesar da alta remoção da turbidez, os valores encontram-se fora do permitido pela legislação vigente que estabelece valor máximo de 5 NTU. Resultado diferente para a aplicação do método direto foi obtido por Franco et al. (2017) ao utilizarem diferentes métodos de aplicação do coagulante obtido da moringa. Eles verificaram que o método direto apresentou melhor desempenho, com eficiência máxima de 87,0%.

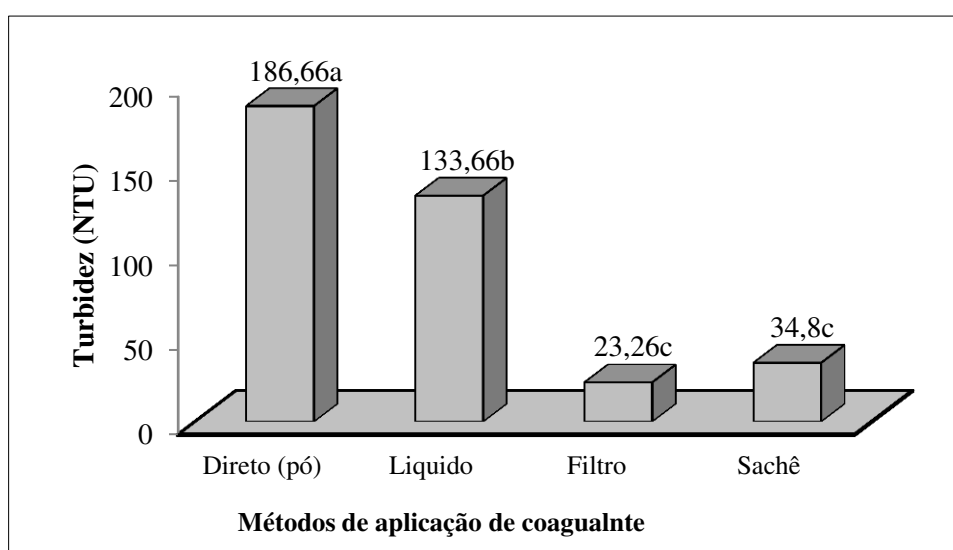


Figura 9.2. Métodos de aplicação de coagulante no tratamento de água para a turbidez.

O mecanismo de ativação da moringa, como coagulante, ainda é indefinido (VALVERDE et al., 2018). Sabe-se também que os flocos grandes tendem a apresentar melhores eficiências de remoção (WANG et al., 2009). O tamanho do floco aumenta significativamente com a adição de coagulantes no tratamento da água. Outro problema ocasionado pelo uso da moringa é a adição de matéria orgânica no meio. Por causa desse inconveniente, testou-se a utilização do pó da semente da moringa em filtro e sachê para diminuição da turbidez sintética obtendo resultados positivos, pois neste estudo o método de aplicação com filtro mostrou-se mais eficiente com remoção de 93,18% de turbidez, seguido do método de sachê com 89,65% de eficiência.

O uso de filtro e sachê na aplicação do coagulante torna-se uma alternativa promissora, visto que os dois podem atuar como filtros, reduzindo a quantidade de matéria orgânica adicionada à água pelo pó das sementes de moringa deixando dentro

do permitido pela resolução CONAMA n° 357 e alterações (BRASIL, 2005). Cremasco (2014) explica que, no processo de filtração, ocorre a separação mecânica entre a fase particulada e fluida de uma suspensão, utilizando o meio poroso (filtro) que retém a fase particulada e é permeável à fase líquida (fluida) que, ao ultrapassar o filtro, passa a ser chamado de filtrado.

Para a água tratada Arantes et al. (2015), observaram que os valores de turbidez com o uso dos sachês são inferiores aos verificados com a aplicação do coagulante líquido, observando-se diferença significativa entre o uso de sachês e o coagulante líquido. Pritchard et al. (2010) obtiveram, utilizando sementes de moringa confinadas em sachês com turbidez de 146 NTU, redução de turbidez de aproximadamente 85%. Os autores observaram ainda que a aplicação do coagulante tanto na forma de sachê como na solução líquida, implicou em aumento da turbidez da água, porém com o uso dos sachês este aumento foi em menor proporção. Recomenda-se, portanto, a adoção do processo de filtração que garanta melhor qualidade da água tratada.

Pode ser observado, na Figura 9.3, que os métodos de aplicação do coagulante influenciaram na remoção da cor aparente, ambos apresentaram diferença estatística, sendo o método de aplicação por sachê o que apresentou melhor resultado, com eficiência de 70% na remoção da cor.

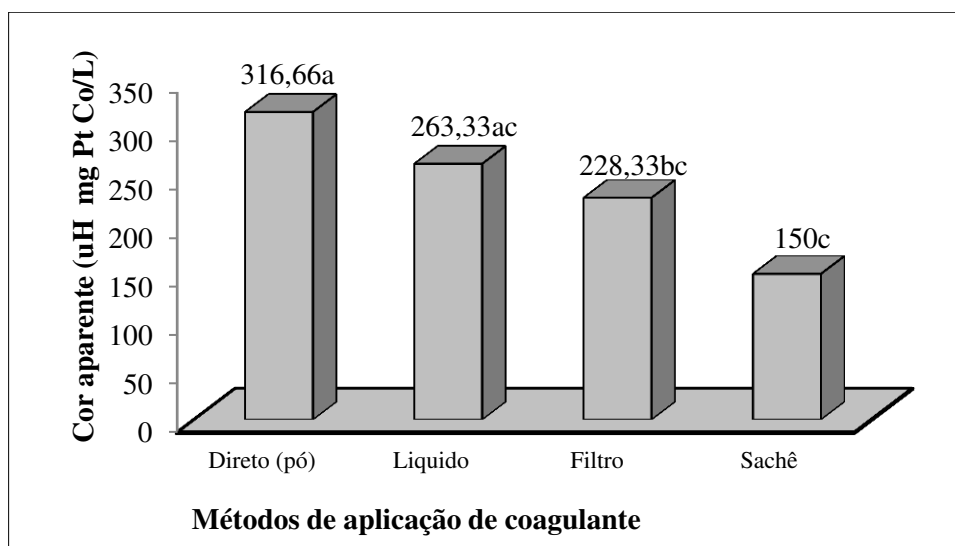


Figura 9.3. Métodos de aplicação de coagulante no tratamento de água para a cor aparente.

O comportamento para a cor aparente foi semelhante ao observado para a turbidez, com tendência de valores mais elevados para aplicação direta e líquida, e

menores valores com uso de filtro e sachê. Em pesquisa realizada por Pereira et al. (2015), o coagulante líquido de *M. oleifera* apresentou melhor desempenho quando comparado com esse estudo para a cor aparente, em que a remoção alcançou 94,04%. Para tratamentos com uso de sachês, foram observados por Arantes et al. (2015) percentuais médios de redução de cor aparente de 77 e 79% e, para o coagulante líquido, tais valores foram de 84 e 86%, sendo diferente do que foi observado neste estudo, principalmente, para a aplicação do coagulante pelo método líquido. Tais resultados também diferem do que foi observado por Franco et al. (2012), que verificaram redução de cor aparente na faixa de 89 a 91%; portanto, superiores aos verificados nesta pesquisa para a cor aparente da água.

Paterniani et al. (2010) verificaram que as maiores médias de turbidez e cor aparente apresentaram redução de 90 e 96% em ensaios de filtração lenta, demonstrando ao final que os procedimentos de purificação de água usando o coagulante natural de moringa no tratamento alternativo de água é viável para uso prático e com baixos custos. Desta forma, torna-se uma alternativa aos coagulantes químicos, pois a ingestão progressiva do alumínio é um dos fatores que pode contribuir para a doença de Alzheimer (JOE et al., 2015). Outros estudos também mencionam que além de agravar o mal de Alzheimer, o excesso de alumínio pode causar raquitismo, anorexia e constipação intestinal (ABOULHASSAN et al., 2016).

Cabe ressaltar que nesse estudo realizaram-se somente as três primeiras etapas do tratamento de água para fins de potabilidade. Restam ainda as etapas de filtração e desinfecção, o que deixariam as amostras que se encontraram acima do permitido aptas quanto aos quesitos turbidez e cor aparente conforme portaria nº 5/2017. A etapa de filtração, em que as partículas são retidas, reduziria a turbidez e a cor da água, principalmente, para os métodos de aplicação direto e líquido.

9.4. Conclusão

A aplicação do coagulante pelos métodos direto e líquido resultaram em menores valores de pH, seguido pelo método de sachê. Ambos apresentaram valores dentro do estabelecido pela legislação brasileira para água potável. O método de sachê apresentou maior valor para o pH (9,6) deixando-o acima do permitido pela legislação, indicando que ele se mostrou menos eficiente quando comparado aos demais métodos.

O coagulante aplicado pelos métodos de filtro e sachê apresentaram potencialidades de usos para a redução de turbidez e cor aparente, apresentando

reduções de 93,18 e 70%. Mesmo com estas eficiências, os resultados finais encontram-se fora do valor máximo exigido pela legislação brasileira para turbidez e cor aparente. Os métodos de aplicação selecionados, com base nos melhores resultados de cada parâmetro estudado, foram o direto, filtro e o sachê.

9.5. Referências

ABOULHASSAN, M. A.; SOUABI, S.; YAACOUBI, A.; BAUDU, M. Coagulation efficacy of a tannin coagulant agent compared to metal salts for paint manufacturing wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 41, p. 1-7, 2016.

ABIYU, A.; YAN, D.; GIRMA, A.; SONG, X.; WANG, H. Wastewater treatment potential of *Moringa stenopetala* over *Moringa oleifera* as a natural coagulant, antimicrobial agent and heavy metal removals. **Cogent Environmental Science**, v. 4, p. 1-13, 2018.

ARANTES, C. C. **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas**. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ARANTES, C. C.; PATERNIANI, J. E. S.; RODRIGUES, D. S.; HATORI, P. S.; PIRES, M. S. G. Diferentes formas de aplicação da semente de *Moringa oleifera* no tratamento de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 266-272, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 mar. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 out. 2017.

CREMASCO, M. A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014. 423p.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. L. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: American Public Health Association- APHA, p. 1274, 2005.

FAYOS, B. G.; ARNAL, J. M.; SANCHO, M.; RODRIGO, I. *Moringa oleifera* for drinking water treatment: Influence of the solvent and method used in oil extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 48, p. 1-8, 2016.

FRANCO, M.; SILVA, G. K.; PATERNIANI, J. E. S. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 989-997, 2012.

FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulação com semente de *Moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22 n. 4, p. 781-788, 2017.

JOE, B. M.; GIWA, S. O.; IBRAHIM, M.; RAJI, Y.O.; GIWA, A. Optimization of the operating conditions of turbidity removal from synthesized dairy wastewater using pumpkin seed as a coagulant. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 6, n. 2, p. 1266-1277, 2015.

KUMAR, K. V.; RUBHA, M. N.; MANIVASAGAN, M.; RAMESH BABU, N. G.; BALAJI, P. *Moringa oleifera* - The nature's gift. **Universal Journal of Environmental Research and Technology**, v. 2, n. 4, p. 203-209, 2012.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. **Water Air and Soil Pollution**, v. 211, p. 409-415, 2010.

MADRONA, G. S.; BRANCO, I. G.; SEOLIN, V. J.; ALVES FILHO, B. A.; KLEN, M. R. F.; BERGAMASCO, R. Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. **Acta Scientiarum Technology**, v. 34, n. 3, p. 289-293, 2012.

MANGALE, S. M.; CHONDE, S. G.; RAUT, P. D. Use of *Moringa oleifera* (drumstick) seed as natural absorbent and an antimicrobial agent for ground water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 1, n. 3, p. 31-40, 2012.

MARTÍN, J. S.; HEREDIA, B.; J.; PERES, J. A. Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 29, p. 495-501, 2012.

PATERNIANI, J. E. S.; RIBEIRO, T. A. P.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Water treatment by sedimentation and slow fabric filtration using *Moringa oleifera* seeds. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 11, p. 1256-1263, 2010.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO, A. A.; THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.; FIDELIS, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 3010-3020, 2015.

PISE, C. P.; HALKUDE, S. A. Blend of natural and chemical coagulant for removal of turbidity in water. **International Journal of Civil Engineering & Technology**, v. 3, n. 2, p. 188-197, 2012.

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.

SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAUJO, G. T. Storage of 'umbu-cajá' pulp powder

produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1118-1123, 2016.

SEIFU, E. Actual and potential applications of *Moringa stenopetala*, underutilized indigenous vegetable of Southern Ethiopia: A review. **International Journal of Agricultural and Food Research**, v. 3, n. 4, p. 8-19, 2015.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

VALVERDE, K. C.; PACCOLA, E. A. S.; POMINI, A. M.; YAMAGUCHI, N. U.; BERGAMASCO, R. Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 3, p. 1-11, 2018.

WANG, Y.; GAO, B. Y.; XU, X. M.; XU, W. Y.; XU, G. Y. Characterization of floc size, strength and structure in various aluminum coagulants treatment. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 332, n. 2, p. 354-359, 2009.

10. ARTIGO V - ARMAZENAMENTO DE EXTRATO LIOFILIZADO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA*

Resumo: Como todos os materiais biológicos, o extrato liofilizado de sementes de moringa pode ser afetado pela umidade e temperatura, e normalmente, ocorre o processo de biodegradação, por isso, é importante estudar o armazenamento e o tipo de embalagem a ser usada, a fim de monitorar a perda de qualidade. Por isso, objetivou-se armazenar o pó liofilizado obtido de sementes de *Moringa oleifera* por 180 dias em diferentes embalagens e avaliar os parâmetros físico-químicos, físicos e microbiológicos durante o armazenamento. A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Brasil. O extrato foi obtido pelo método de secagem por liofilização à temperatura de -54 °C por 72 h. Armazenou-se o pó por 180 dias em três tipos de embalagens: laminada, sachê e mista, e a cada 60 dias, o pó liofilizado foi submetido a avaliações físico-químicas, físicas e microbiológicas. As embalagens laminada, sachê e mista foram eficientes na conservação das características físico-químicas do extrato liofilizado de sementes de moringa. Quando armazenado nas três embalagens o pó apresentou alta solubilidade e baixa higroscopicidade. O índice de compressibilidade do extrato armazenado nas embalagens laminada e sachê foi classificado como de fluidez pobre e o extrato armazenado na embalagem mista como de fluidez ruim. Para o fator de Hausner o pó foi classificado como de fluidez pobre e muito pobre e apresenta alta coesividade. O extrato liofilizado durante os 180 dias de armazenamento não apresentou contaminação microbiológica.

Palavras-chave: conservação, embalagens, pó, secagem.

STORAGE OF FREEZE-DRIED EXTRACT OF *MORINGA OLEIFERA* SEEDS

Abstract: Like all biological materials, freeze-dried extract of moringa seeds can be affected by moisture and temperature, and usually the process of biodegradation occurs, so it is important to study the storage and type of packaging to be used in order to monitor the loss of quality. Therefore, it was aimed to store the freeze-dried powder obtained from *Moringa oleifera* seeds for 180 days in different packages and to evaluate the physical-chemical, physical and microbiological parameters during storage. The research was developed in the Laboratory of Processing and Storage of Agricultural

Products, Federal University of Campina Grande, Brazil. The extract was obtained by freeze-drying at -54 °C for 72 hours. The powder was stored for 180 days in three types of packaging: laminated, sachet and combined, and every 60 days, the freeze-dried powder was submitted to physical-chemical, physical and microbiological evaluations. The laminated, sachet and combined packages were efficient in preserving the physicochemical characteristics of freeze-dried extract of moringa seeds. When stored in the three packages the powder showed high solubility and low hygroscopicity. The compressibility index of the extract stored in the laminate and sachet packages was classified as poor fluidity and the extract stored in the combined package as poor fluidity. For Hausner factor the powder was classified as poor and very poor fluidity and presents high cohesiveness. The freeze-dried extract during the 180 days of storage did not present microbiological contamination.

Keywords: conservation, packaging, powder, drying.

10.1. Introdução

A *Moringa oleifera* Lam é uma planta nativa do norte da Índia e tem sido utilizada por pessoas de todo o mundo por apresentar muitos benefícios para a saúde. Partes da árvore moringa têm sido utilizadas para tudo, desde a purificação da água até o tratamento de doenças crônicas (KHAN et al., 2017). Pachimalla et al. (2020) relatam que ela tem propriedades antidiabéticas e anticancerígenas. É utilizada tradicionalmente pela sua eficácia contra hiperglicemia, hipertensão arterial, infecções virais microbianas, fúngicas, inflamação, febre e asma (INGALE; GANDHI, 2016). A *M. oleifera* cresce em regiões tropicais e climas subtropicais; é resistente à seca e pode ser cultivada numa grande variedade de solos pobres, incluindo solos áridos, com pH entre 4,5 e 9,0 (KOU et al., 2018).

Além do seu uso em tratamento de água, a moringa tem enormes potenciais de usos na alimentação para seres humanos e para animais. As folhas são ricas em nutrientes e servem como uma excelente fonte de proteínas, vitaminas, minerais e por isso, diversos produtos têm sido desenvolvidos a partir da planta (ZAVALA et al., 2016). De acordo com Masum et al. (2020), as características físico-químicas dos pós são afetadas pela composição do produto, principalmente hidratos de carbono e proteínas, e pelas condições de armazenagem, manuseamento e transporte (umidade relativa e temperatura). As características físicas e físico-químicas do pó liofilizado de sementes de moringa ainda não foram estudadas durante o armazenamento.

A secagem é conhecida como uma das técnicas de conservação mais importantes para prolongar a vida útil de produtos perecíveis, com o objetivo de melhorar a estabilidade do produto reduzindo o teor de umidade, o crescimento microbiano e minimizando a deterioração química (BRASIELLO et al., 2017). Para Önal et al. (2019), a secagem por ar quente é um método rentável e proporciona uma distribuição uniforme de produtos secos com ótimas condições de secagem. Por outro lado, leva a um processo físico-químico degradativo, por exemplo, cor e composição química, estruturais como retração e textura; e nutricionais (perda de alto valor dos componentes) que influenciam a qualidade geral do produto seco e, portanto, a aceitabilidade do consumidor. A liofilização é uma alternativa para a secagem de materiais sensíveis ao calor como a *Moringa oleifera*, devido a sua capacidade de manter bem a forma do material após a secagem e, por ser capaz de manter nutrientes, cor e sabor do produto (DUAN et al., 2016).

A embalagem possui três funções básicas: conter, proteger e comercializar. Ela fornece proteção para o produto contra contaminação, perda e danos ou degradação devido à ação microbiana, exposição ao calor, à luz, à umidade, ao oxigênio, à evaporação, dentre outros processos (CHAUHAN; PATIL, 2013). Desse modo, novos métodos de processamento e embalagem estão sendo desenvolvidos para satisfazer a crescente procura por produtos com maior estabilidade de prateleira, integridade nutricional e garantia de segurança (JIN et al., 2018).

A preservação das características originais dos produtos por maior tempo possível após sua transformação é um dos objetivos da indústria. Por isso, as condições de armazenamento e o tipo de material da embalagem utilizado são aspectos que devem ser avaliados e controlados, visando à manutenção da qualidade dos produtos durante a sua vida de prateleira (BOBBA et al., 2020). Como todos os materiais biológicos, os produtos naturais obtidos a partir da *M. oleifera* são afetados pela umidade e pela temperatura, pois normalmente, ocorre o processo de biodegradação. Por isso, é importante estudar o armazenamento e o tipo de embalagem a ser usada no armazenamento do pó liofilizado obtido a partir das sementes de moringa, a fim de monitorar a perda de qualidade. Portanto, a realização deste estudo ajudará a entender melhor o comportamento do pó durante o armazenamento.

Considerando o exposto, objetivou-se armazenar o pó liofilizado obtido de sementes de *Moringa oleifera* por 180 dias em diferentes embalagens e, a fim de

monitorar a perda de qualidade, avaliar os parâmetros físico-químicos, físicos e microbiológicos durante o armazenamento.

10.2. Material e Métodos

10.2.1. Obtenção do pó liofilizado

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil. As sementes foram descascadas e trituradas em liquidificador doméstico. Adicionaram-se aos 50 mL de água destilada para formação das pastas a serem liofilizadas. Em seguida, acondicionaram-nas em formas plásticas e submeteram-nas a congelamento em freezer a -18 °C por 24 h (SANTOS et al., 2016). Posteriormente, liofilizaram-se à temperatura de -54 °C por 72 h em liofilizador de bancada modelo L101.

10.2.2. Armazenamento do pó liofilizado

Armazenou-se o pó por 180 dias em temperatura controlada a 25 °C fornecida por uma BOD, em três tipos de embalagens: laminada, sachê e embalagem mista. A cada 60 dias (0, 60, 120 e 180 dias), o pó liofilizado foi submetido a avaliações físicas, físico-químicas e microbiológicas.

10.2.2.1. Análises físico-químicas

À exceção de lipídios, as análises de teor de água (%); atividade de água; cinzas (%); acidez total titulável (%); pH; proteínas (%) e carboidratos (%) determinaram-se segundo a metodologia de Brasil (2008); determinou-se a quantidade de lipídios (%) pelo método modificado de Bligh e Dyer (1959).

10.2.2.2. Análises físicas

De acordo com Caparino et al. (2012), determinou-se a densidade aparente; a densidade compactada segundo Tonon et al. (2013); obteve-se o índice de compressibilidade (IC), por meio da comparação entre a densidade aparente e a densidade compactada, seguindo metodologia proposta por Yusof et al. (2012). Determinou-se o fator de Hausner a partir da densidade aparente e de compactação, Hausner (1967); calculou-se a higroscopicidade, conforme Cai e Corke (2000), com

adaptações. Já a solubilidade foi determinada, segundo a metodologia de Eastman e Moore (1984) modificada por Cano-Chauca et al. (2005); obteve-se a cor em colorímetro, a partir dos dados de L*, a* e b* obteve-se o índice de escurecimento (PALOU et al., 1999).

10.2.2.3. Análises microbiológicas

As análises de coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli* do pó liofilizado, realizaram-se no laboratório de Microbiologia de Alimentos do Instituto Federal da Paraíba Campus Sousa, de acordo com a metodologia de APHA (2001).

10.2.3. Análise estatística

Empregou-se o experimento fatorial distribuído num delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 4, totalizando 12 tratamentos com três repetições; sendo três embalagens (laminada, sachê e mista) e quatro tempos de armazenamento (0, 60, 120 e 180 dias). Submeteram-se os resultados à análise de variância e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se do software estatístico Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

10.3. Resultados e Discussão

10.3.1. Análises físico-químicas do extrato liofilizado

Na Tabela 10.1 constam os resultados referentes à interação das embalagens com os tempos de armazenamento para o teor e atividade de água do extrato liofilizado de sementes de moringa.

Tabela 10.1. Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para o teor e atividade de água do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
Teor de água (%)	Laminada	1,38aC	1,83cB	1,95cAB	2,32bA
	Sachê	1,37aB	2,88aA	3,0aA	3,22aA
	Mista	1,37aC	2,40bB	2,51bB	2,97aA
Atividade de água (a _w)	Laminada	0,05bD	0,27bC	0,32cB	0,35cA
	Sachê	0,06bD	0,22cC	0,45aB	0,48aA
	Mista	0,07aC	0,28aB	0,39bA	0,45bA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os parâmetros estudados foram significativos ($P < 0,01$); logo os tratamentos apresentaram efeitos diferentes sobre o teor e a_w . Entretanto, quando o pó foi armazenado em embalagem de sachê, os tempos de armazenamento 60, 120 e 180 dias não diferiram quanto ao teor de água e os tempos de 60 e 120 dias para o pó armazenado em embalagem mista também não apresentaram diferença estatística. Para a a_w , o pó armazenado em embalagem mista nos tempos de 120 e 180 dias não diferiram estatisticamente.

Verificou-se pela representação gráfica ilustrada na Figura 10.1, que os dados se ajustaram bem à regressão linear com R^2 superior a 90% para os dois parâmetros, pois as diferenças entre os valores observados e os valores previstos forem pequenas e não tendenciosas. Observou-se assim, o aumento do teor e da atividade de água do pó, à medida que o tempo de armazenamento avançou. O extrato armazenado na embalagem de sachê apresentou os maiores valores para ambos os parâmetros, e a embalagem laminada resultou em menor teor de água e a_w do pó. No entanto, para as três embalagens, o teor de água apresentou ao final do armazenamento resultado dentro do que preconiza a legislação para produtos liofilizados, com teor de água não superior a 5% Brasil (1978), assim como baixa atividade de água durante todo o período do armazenamento, sendo os valores desejáveis para conservação e comercialização de produtos. Esses resultados se devem, além da qualidade das sementes e condições de processamento, à permeabilidade da embalagem em manter a umidade do produto, uma vez que a embalagem laminada é classificada na categoria impermeável e a de sachê semipermeável (LICCIARDELLO et al., 2017).

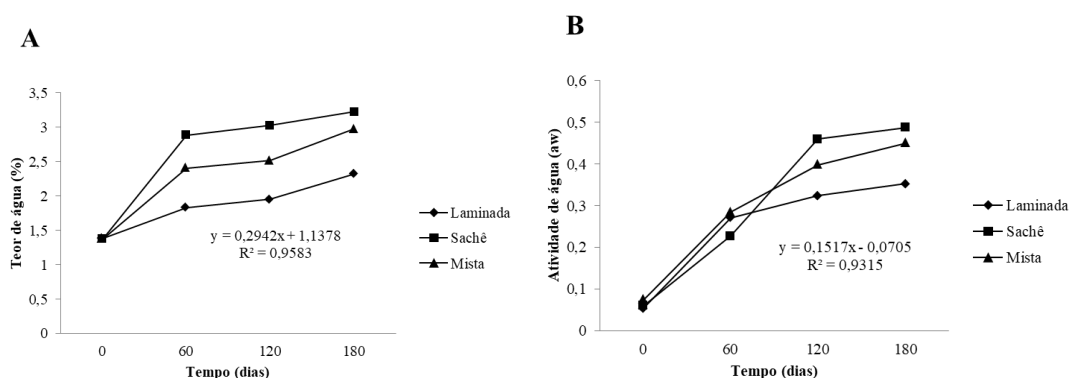


Figura 10.1. Teor de água (A) e atividade de água (B) do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante o armazenamento em diferentes embalagens.

Vários estudos evidenciaram a eficácia de embalagens na manutenção das características de qualidade dos produtos (LICCIARDELLO et al., 2014; COZMUTA et al., 2015). Para o pó do mandacaru após 50 dias de armazenamento, Oliveira et al. (2015) obtiveram para a_w resultados médios de 0,333 com maltodextrina DE10 e de 0,335 com maltodextrina DE14. Verificou-se ainda que os pós armazenados nas três embalagens apresentaram valores de atividade de água inferiores a 0,5 indicando, possivelmente, que não haverá crescimento de microrganismos deteriorantes ou patogênicos sob essas condições (CHAUHAN; PATIL, 2013). Loureiro et al. (2013) observaram para o buriti em pó armazenado em embalagem laminada, que o teor de água permaneceu estatisticamente inalterado, com um aumento percentual de 4,30% no período de 0 a 90 dias de armazenamento.

Uma questão essencial nos dias de hoje é a seleção de sistemas de embalagem que não sejam apenas eficazes em manter características de qualidade dos produtos, mas também eficiente, ou seja, capaz de conter impacto ambiental e custos gerados pela produção e eliminação de embalagens. Por essa razão, resolveu-se avaliar a embalagem de sachê por ser confeccionado a partir de material biodegradável. Mesmo apresentando os maiores valores para o teor de água e a_w , o seu uso não deve ser descartado, uma vez que os seus resultados, também, se encontram dentro do que é estabelecido pela legislação para ambos os parâmetros avaliados.

O extrato liofilizado obtido a partir de sementes de moringa não apresentou diferença estatística ($P > 0,05$) para os dois fatores estudados, quando se avaliou a percentagem de cinzas (Tabela 10.2). Por isso, a quantidade de cinzas contidas no extrato liofilizado independe das embalagens utilizadas e do período de armazenamento.

Tabela 10.2. Médias das cinzas contidas no extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante armazenamento em diferentes embalagens.

Embalagem	Tempo (dias)			
	0	60	120	180
Laminada	3,58aA	3,52aA	3,52aA	3,42aA
Sachê	3,49aA	3,46aA	3,50aA	3,49aA
Mista	3,46aA	3,39aA	3,42aA	3,56aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Calderón et al. (2019) ao elaborarem tortilhas, uma espécie de pão folha, com folhas de moringa verificaram que o teor de cinzas das tortilhas adicionadas com farinha de moringa não revelaram diferenças estatísticas em relação à tortilha controle.

Mgbemena e Obodo (2016) encontraram teor de cinzas de 8,24% nas sementes de moringa, indicando um valor significativamente elevado dos minerais. Caliskan e Dirim (2013) relataram que o conteúdo de cinzas dos pós liofilizados de sumagre com diferentes concentrações de maltodextrina variavam entre 1,15 e 3,37%. Breda et al. (2013) verificaram variação no teor de cinzas para o umbu liofilizado de 2,54 a 2,60%, valores inferiores ao verificado para o pó liofilizado de sementes de moringa.

O pH do extrato liofilizado apresentou redução durante o armazenamento, enquanto a acidez total titulável aumentou (Tabela 10.3 e Figura 10.2). O pH passou de 5,73 para 5,13 quando o pó foi armazenado em embalagem laminada e de 5,5 para 5,3 e 5,2 quando armazenado, respectivamente, nas embalagens de sachê e mista. Em função deste parâmetro, conforme Souza et al. (2008), os alimentos podem ser classificados quanto à acidez em três categorias: pouco ácidos (pH > 4,5), ácidos (4,5 a 4,0) e muito ácidos (< 4,0). Considerando a classificação, o extrato liofilizado de sementes de moringa é considerado pouco ácido.

Tabela 10.3. Médias do pH e acidez total titulável do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante armazenamento em diferentes embalagens.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
pH	Laminada	5,73	5,47	5,33	5,13
	Sachê	5,50	5,57	5,10	5,30
	Mista	5,50	5,50	5,00	5,20
Acidez total titulável (%)	Laminada	0,68aC	0,69aC	0,82aB	0,90bA
	Sachê	0,66aC	0,63bC	0,82aB	0,95aA
	Mista	0,66aC	0,63bC	0,82aB	0,92abA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tendo em vista que o pH mínimo para o desenvolvimento da maioria das bactérias é maior que 4,5, os resultados poderiam não favorecer a segurança microbiológica do pó, no entanto, Batista et al. (2013) relatam que a moringa possui constituintes como o pterigospermina e ramnosil-oxibenzil-isotiocianato que têm ação antimicrobiana sobre *Bacillus subtilis*, *Mycobacterium phei*, *Serratia maarcenses*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosas*, *Shigela* e *Streptococcus*. Conforme explicam Barroso et al. (2019), as alterações por vezes encontradas nos produtos liofilizados estão geralmente ligadas à qualidade da matéria-prima, natureza e grau de maturação, e às condições de processamento, tais como pressão de funcionamento, temperatura de aquecimento, congelamento e controle do processo de liofilização.

O armazenamento do extrato nas três embalagens não apresentou diferença significativa ($P>0,05$) para a acidez quando foi armazenado nas diferentes embalagens. As diferenças que podem ser observadas ocorreram ao longo do período de armazenamento. Abd El Baky e El-Baroty (2013) ao realizarem a caracterização de sementes de *Moringa peregrine* encontraram acidez variando de 0,01 a 1,33%. As equações apresentadas na Figura 10.2 mostram um coeficiente de determinação com R^2 de 98 e 92%. Esse resultado indica o bom ajuste dos dados e explica a variação inerente ao pH e à acidez do extrato liofilizado, cujas equações podem ser utilizadas para estimar o quanto os dados estão próximos da linha de regressão ajustada, a nível de confiança revelado pelo R^2 da regressão.

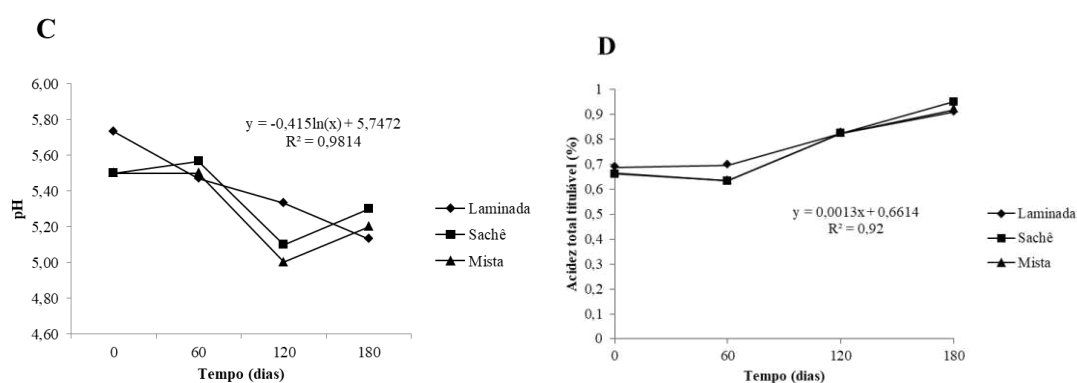


Figura 10.2. pH (C) e acidez total titulável (D) do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante o armazenamento em diferentes embalagens.

Apesar do grande potencial de uso da moringa, ainda não existem estudos sobre as características físico-químicas do pó liofilizado; portanto, este trabalho é pioneiro na produção, caracterização e armazenamento do pó liofilizado obtido de suas sementes. Por mais que o uso de embalagens traga diversos benefícios como conservação, praticidade, armazenamento e transporte, seu uso desordenado gera um grande volume de resíduos sólidos, gerando impacto ambiental (LANDIM et al., 2016). Dessa forma, novas embalagens estão sendo desenvolvidas, como as biodegradáveis do tipo sachê.

Pode-se observar na Tabela 10.4, que ao longo do armazenamento, o extrato liofilizado apresentou variação ($P<0,01$) na quantidade de proteínas e lipídios, fato que pode ter contribuído para um R^2 inferior a 90% (Figura 10.3).

Tabela 10.4. Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para as proteínas e lipídios do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
Proteínas (%)	Laminada	31,99aA	29,45bB	28,29bB	28,16aB
	Sachê	32,00aA	29,76bB	29,31abB	28,57aB
	Mista	30,54aAB	30,49aA	30,31aAB	29,08aB
Lipídios (%)	Laminada	43,80aA	43,04aA	38,43aB	38,85aB
	Sachê	44,89aA	41,22bB	36,33bC	36,12bC
	Mista	42,59abC	41,12bA	34,97bC	37,76abB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comprovou-se nesta pesquisa que as sementes de moringa são ricas em proteínas e lipídios. Contudo, a conservação de tais constituintes depende do tempo de armazenamento. O extrato liofilizado apresentou comportamento similar ao ser armazenado nas três embalagens para o teor de proteínas. Nesse contexto, ambas as embalagens mostraram-se eficientes para conservação dos conteúdos de proteínas durante os 180 dias do armazenamento. Porém, isso não aconteceu para os lipídios uma vez que a sua preservação depende, além do tempo de armazenamento, da embalagem em que o pó é armazenado. Apesar das reduções, o extrato apresentou alto conteúdo lipídico. O prazo de conservação dos alimentos, definido como o período de tempo durante o qual a perda de qualidade não excede um nível tolerável, pode ser decisivamente influenciado pelas embalagens (ERIKSSON et al., 2016). Além disso, o prazo de validade tem grande influência nos resíduos alimentares e deve, portanto, ser orientada para medidas eficientes de redução de resíduos.

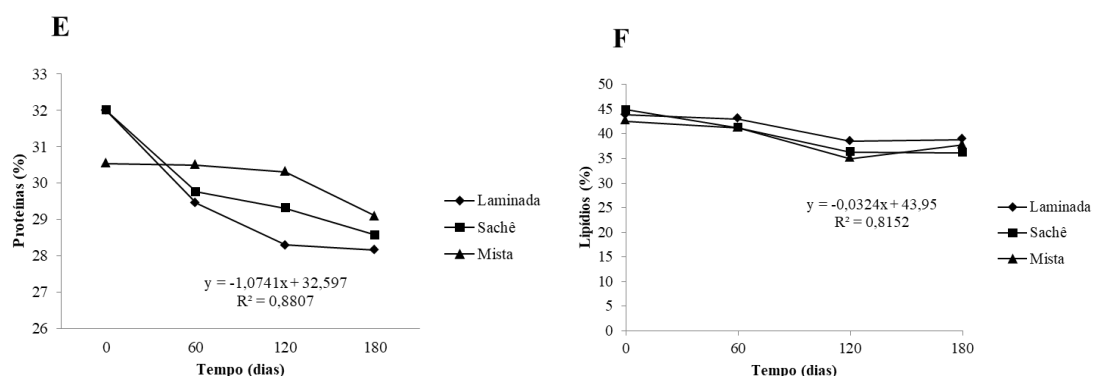


Figura 10.3. Proteínas (E) e lipídios (F) do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante o armazenamento em diferentes embalagens.

Abd El Baky e El-Baroty (2013) verificaram para as sementes de moringa valores de proteínas entre 7,8 e 37,6%, sendo esse último superior aos valores verificados no presente estudo. As variações nutricionais podem ser devidas às condições climáticas ou genéticas da planta, tais como cultivar, idade ou estágio de maturação das sementes (MALLILLIN et al., 2014). Os lipídios são um dos principais componentes dos alimentos, portanto, são boa fonte de energia. Sendo assim, a moringa tem uma percentagem apreciável de energia (MGBEMENA; OBODO, 2016). A *M. oleifera* é uma das plantas mais ricas em nutrientes conhecida pela ciência, pois contém mais de 90 nutrientes, 46 antioxidantes, 18 amino ácidos, incluindo 8 aminoácidos essenciais (ASANTE et al., 2014). As características apresentadas pelo pó sugerem potencial de utilização na nutrição e na tecnologia de alimentos, devido à elevada porcentagem de proteínas e lipídios (BELHADI et al., 2013).

Quando se analisaram os carboidratos, o extrato liofilizado de sementes de moringa não apresentou interação significativa ($P > 0,05$) entre os fatores embalagem e tempo, por isso, a sua conservação utilizando diferentes embalagens independe do tempo de armazenamento, assim como o inverso (Tabela 10.5 e Figura 10.4). O tempo de armazenamento foi significativo ($P < 0,01$), então, os efeitos sobre os carboidratos foram diferentes durante os 180 dias.

Tabela 10.5. Médias dos carboidratos contidos no extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante armazenamento em diferentes embalagens.

Embalagem	Tempo (dias)			
	0	60	120	180
Laminada	19,22bB	22,14aB	27,61aA	27,23aA
Sachê	18,95bB	22,66aB	27,81aA	28,60aA
Mista	22,22aB	22,57aB	28,77aA	26,60aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nota-se que a partir dos 120 dias do armazenamento, houve aumento na sua quantidade. Do ponto de vista nutricional, o aumento é devido à concentração e à não desnaturação de compostos, tais como proteínas e lipídios, por ter sido desidratada a frio (BREDA et al., 2013). Samoticha et al. (2016) comprovaram em sua pesquisa a eficiência do processo de liofilização frente à preservação dos constituintes de chokeberry ou arônia. Damiani et al. (2013) ao avaliarem alterações físico-químicas de polpa de araçá durante o armazenamento observaram aumento de 8,27 para 9,78% na quantidade de carboidratos.

Observou-se na Figura 10.4 R^2 superior a 90%. Em geral, quanto maior o R^2 , melhor o modelo de regressão irá se ajustar aos seus dados. Todavia, existem condições importantes para esta diretriz, pois durante o armazenamento processos físicos e físico-químicos podem acontecer e esses são difíceis de prever, principalmente, porque não existem trabalhos anteriores sobre o pó liofilizado de sementes de moringa para serem comparados com o presente.

Korsor et al. (2017) encontraram valores médios de carboidratos para sementes de moringa entre 10,59 e 18,0%, sendo inferiores aos resultados obtidos para o pó liofilizado das sementes de moringa durante armazenamento em diferentes embalagens. Gandji et al. (2018) ao analisarem a composição química do pó da folha de moringa verificaram 38,2% de carboidratos. Assim como as sementes, as folhas de *M. oleifera* também são ricas em nutrientes.

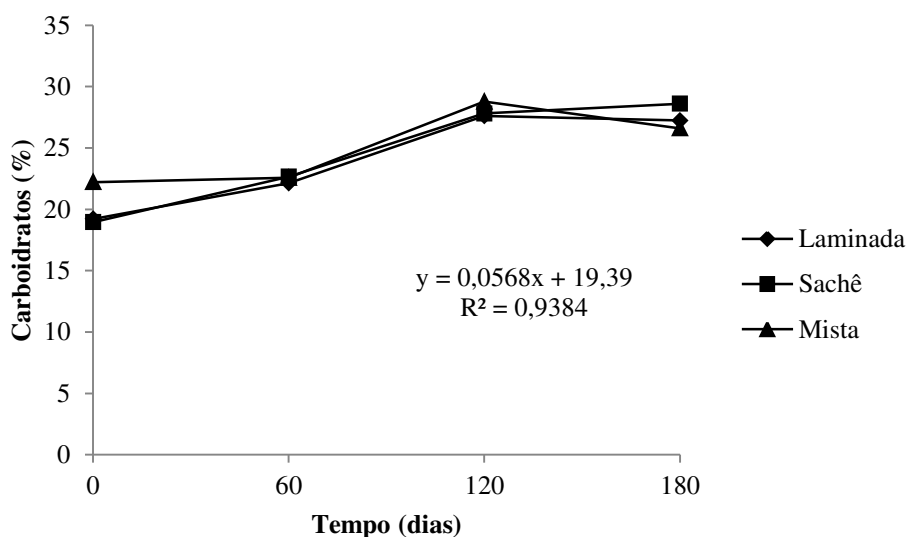


Figura 10.4. Carboidratos presentes no extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante o armazenamento em diferentes embalagens.

Há o risco de que a preservação tradicional e fatores externos durante o armazenamento possam levar à perda de componentes nutricionalmente benéficos e, conseqüentemente, a uma diminuição da atratividade final dos produtos (NUNES et al., 2016). Então, a embalagem é uma forma eficaz de evitar a deterioração dos alimentos e aumentar o prazo de validade do produto. Um dos principais objetivos da embalagem é proteger os alimentos de sujidade, do oxigênio, da luz, da umidade, dos microrganismos e de outras substâncias nocivas que possam afetar a qualidade e a segurança dos alimentos (BIJI et al., 2015).

10.3.2. Análises físicas do extrato liofilizado

A solubilidade e a higroscopicidade diferiram estatisticamente ($P < 0,01$) durante o armazenamento do extrato liofilizado (Tabela 10.6 e Figura 10.5). A embalagem laminada conseguiu manter a alta solubilidade do pó durante os 180 dias, apresentando as maiores médias. Embora a embalagem laminada tenha se sobressaído das demais, o pó armazenado em todas as embalagens apresentou solubilidade superior a 75%. Essa porcentagem revela seu potencial como possível ingrediente em produtos alimentícios por ser altamente solúvel em água, uma das razões para ser utilizado no tratamento de água com elevada turbidez, sua principal aplicação.

O extrato apresentou valores baixos para a higroscopicidade, sendo classificado como não higroscópico de acordo com a classificação de Gea Niro Research Laboratory (2003). O extrato armazenado na embalagem laminada apresentou as maiores médias, seguida da embalagem de sachê e da embalagem mista cujos valores apresentaram-se menores ao final do armazenamento.

Tabela 10.6. Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para solubilidade e higroscopicidade do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
Solubilidade (%)	Laminada	82,15aA	82,53aA	81,31aA	80,39aA
	Sachê	82,46aA	81,89aAB	80,61aB	79,19bC
	Mista	83,09aA	80,24bB	80,24aB	79,41bB
Higroscopicidade (%)	Laminada	2,94aC	2,98aBC	3,25aAB	3,34aA
	Sachê	2,38bB	2,60cB	3,18aA	3,23aA
	Mista	2,26aA	2,64bC	2,94aBC	3,05bAB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A alta solubilidade do pó pode estar relacionada ao processo de congelamento e à aplicação de vácuo durante o processo de liofilização, gerando produtos amorfos. Os sólidos amorfos apresentam alta solubilidade e alta velocidade de dissolução em comparação com o estado cristalino. Além disso, eles podem ter quebrado a estrutura celular, fazendo com que grandes quantidades de sólidos se dissolvam e se tornem parte do sobrenadante (RIBEIRO et al., 2016). A solubilidade é uma das avaliações mais práticas da qualidade do pó, uma vez que descreve o comportamento dos pós em solução aquosa. A menor solubilidade pode estar ligada a uma menor porosidade e a uma maior densidade aparente, pois este último parâmetro pode ser utilizado para

melhorar a solubilidade de pós (MICHALSKA et al., 2016). Ribeiro et al. (2016) ao caracterizarem o pó da polpa de acerola obtido por liofilização alcançaram solubilidade de 94,08%, valor superior ao extrato liofilizado de sementes de moringa.

A desnaturação das proteínas resulta numa diminuição da solubilidade dos produtos em pó. O teor de lipídios de qualquer produto em pó tem uma influência significativa na sua capacidade de solubilidade ou taxa de dissolução. Normalmente, a gordura apresenta um comportamento hidrofóbico e dificulta a capacidade de absorção de água dos pós (MASUM et al., 2020). Apesar de o pó apresentar elevado conteúdo lipídico, isso não aconteceu no extrato liofilizado durante o armazenamento. Masum et al. (2020) observaram que a solubilidade do leite em pó permaneceu inalterada durante armazenamento. Segundo os autores, o pó apresentou maior solubilidade (90,0%) devido às suas propriedades físico-químicas que foram bem preservadas durante armazenagem. Esse fato também foi verificado nessa pesquisa: a liofilização conseguiu preservar os constituintes físico-químicos do extrato de *M. oleifera*.

Verificaram-se na Figura 10.5 que as equações utilizadas apresentaram R² superior a 90%, podendo ser utilizadas para estimar a solubilidade e a higroscopicidade do extrato liofilizado armazenados ou a serem armazenados nas mesmas condições de realização dessa pesquisa.

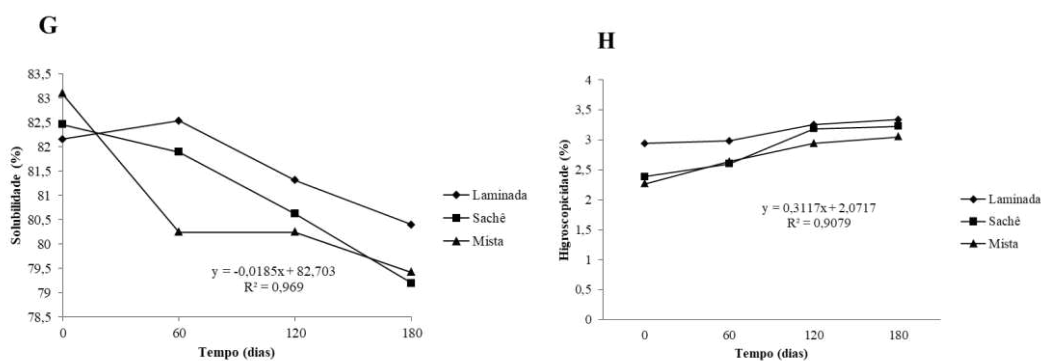


Figura 10.5. Solubilidade (G) e higroscopicidade (H) do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante o armazenamento em diferentes embalagens.

Segundo Ribeiro et al. (2016), o teor de umidade tem influência sobre o estado físico e a taxa de reconstituição do pó. Uma das razões para o aumento do teor de umidade de um produto qualquer em pó pode ser devido à higroscopicidade, o que facilita a absorção da umidade do ar. Esse evento não ocorreu nesta pesquisa, uma vez que o pó manteve baixa umidade e higroscopicidade durante todo o período de armazenamento. Oliveira et al. (2013) obtiveram higroscopicidade de 12,53% para

macaúba liofilizada e 8,51%, quando foi adicionada maltodextrina. Para secagem das sementes de moringa, não é necessário adicionar coadjuvante de secagem como a maltodextrina, pois o pó in natura já apresenta baixa umidade e facilidade em perder água.

Para as densidades aparente e compactada, não houve diferença estatística entre as embalagens laminada e sachê durante os 180 dias de armazenamento do extrato (Tabela 10.7). A embalagem mista foi a única que apresentou diferença estatística das demais, na qual houve redução desse parâmetro físico aos 180 dias de armazenamento. Para a densidade compactada, o pó armazenado na embalagem mista no tempo 0 diferiu dos demais, observando assim a manutenção dessas propriedades durante o armazenamento.

Tabela 10.7. Médias da densidade aparente e compactada do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante armazenamento em diferentes embalagens.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
Densidade aparente (g/mL)	Laminada	0,26aA	0,26aA	0,26aA	0,25aA
	Sachê	0,26aA	0,26aA	0,26aA	0,26aA
	Mista	0,26aA	0,27aA	0,26aA	0,23bB
Densidade compactada (g/mL)	Laminada	0,38aA	0,39aA	0,40aA	0,39aA
	Sachê	0,38aA	0,39aA	0,39aA	0,38aA
	Mista	0,34bB	0,38aA	0,38aA	0,37aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme explica Otutu et al. (2014), a densidade aparente implica que menos quantidades das amostras de alimentos seriam embaladas em volume constante, garantindo assim uma embalagem econômica. Os autores estudaram a densidade de amido de variedades de milho e observaram que a densidade compactada do milho roscados foi de 0,38 g/mL e para o milho maltado 0,31 g/mL durante 3 e 7 dias, sendo que o amido do milho roscado apresentou densidade compactada semelhante ao extrato liofilizado de sementes de moringa. Chang et al. (2018) verificaram que a densidade compactada inicial do pó de graviola seco por spray-dryer foi de 1,44 g/cm³ e houve aumento com a armazenagem de 6,3 e 6,7% para a armazenagem em temperatura ambiente e temperatura elevada, respectivamente. Zea et al. (2013) encontraram densidade compactada de 1,50 g/cm³ para o mix de pitaia liofilizado.

O índice compressibilidade indica a fluidez do produto. Quanto menor for o valor maior será a fluidez. O fator de Hausner FH mede o atrito entre as partículas do pó. Foi

observada interação significativa ($P < 0,01$) para as embalagens e os tempos de armazenamento (Tabela 10.8).

Tabela 10.8. Médias da interação das embalagens com os tempos de armazenamento para o IC e fator de Hausner do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera*.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
IC (%) [*]	Laminada	31,85aA	33,59aA	34,94aA	35,04aA
	Sachê	31,89aA	33,40aA	33,06aA	31,56bA
	Mista	23,65aB	29,40aB	31,50aB	37,20aA
Fator de Hausner	Laminada	1,46aA	1,50aA	1,53aA	1,56aA
	Sachê	1,46aA	1,50aA	1,50aA	1,46aA
	Mista	1,31aB	1,41aB	1,46aB	1,59aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *IC: Índice de compressibilidade.

Quanto à fluidez do pó, de acordo com Santhalakshmy et al. (2015) valores entre 15 e 20% indicam boa fluidez, 20-35% pobre fluidez, 35-45% fluidez ruim e maior que 45% fluidez muito ruim. Com base nessa classificação, o extrato liofilizado armazenado nas embalagens laminada e sachê se enquadra na classificação de fluidez pobre e o extrato armazenado na embalagem mista apresentou fluidez ruim.

Um índice compressibilidade mais baixo implica uma melhor fluidez dos pós. A compressibilidade do fluxo tem grande influência sobre o transporte, a formulação e mistura, a compressão e a embalagem (MURUGKAR et al., 2013). Caliskan e Dirim (2016) ao estudarem o pó liofilizado de *Rhus coriaria* obtiveram valores entre 15,89 e 25,02%, abaixo das médias obtidas para o extrato liofilizado de sementes de moringa.

Para Saifullah et al. (2016), a fluidez é um parâmetro importante para um material em pó medido pelo índice de compressibilidade e fator de Hausner. A fluidez geralmente depende das propriedades do tamanho da partícula e forma, e da densidade aparente das partículas. A composição do pó, como teor de lipídios, proteína, teor de água também afeta a fluidez de um pó. Então, a variação observada na fluidez do pó de sementes de moringa, possivelmente, deveu-se à morfologia das partículas, tais como diferentes tamanhos e formas do pó, pois quando o pó contém partículas de diferentes tamanhos, então as partículas menores preenchem os espaços vazios criados pelas partículas maiores, isto causa um aumento na resistência ao fluxo e reduz a fluidez que pode ser devida a um aumento do atrito entre as partículas (SAIFULLAH et al., 2016).

De acordo com a classificação de Lebrun et al. (2012), o pó foi classificado como de fluidez pobre e muito pobre e apresenta alta coesividade. A alta coesividade dos pós

causa dificuldades no fluxo do pó e, por conseguinte, no índice de coesividade. Majid e Nanda (2017) ao estudarem as propriedades físicas e de fluidez do pó de cebola obtido por liofilização, obtiveram valores entre 1,03 e 1,27 para o fator de Hausner e valores de 2,55 a 34,33% para o índice de compressibilidade.

A embalagem laminada destacou-se por conservar por mais tempo a luminosidade do pó. O L^* indica a luminosidade com valores entre preto (0) e branco (100), indicando neste trabalho uma luminosidade alta, próxima à escala do branco (Tabela 10.9). Apesar da alta luminosidade, essa reduziu ao longo do armazenamento. A redução desses valores é justificada pelo processamento, já que o extrato foi submetido a congelamento para posterior liofilização, levando a uma possível degradação de pigmentos, assim como pelo tempo de armazenamento (DAMIANI et al., 2013).

Tabela 10.9. Médias dos parâmetros de cor e índice de escurecimento do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante armazenamento em diferentes embalagens.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
Luminosidade L^*	Laminada	82,73aA	81,26aA	68,72aB	70,14aB
	Sachê	82,08aA	80,54bA	68,69aB	63,04cC
	Mista	82,61aA	80,90bB	68,17aC	68,48bC
Intensidade de vermelho (+a [*])	Laminada	0,97abA	0,49aB	0,28aBC	0,13aC
	Sachê	0,84bA	0,31bBC	0,42aB	0,15aC
	Mista	1,10aA	0,34abB	0,20bB	0,15aB
Intensidade de amarelo (+b [*])	Laminada	22,00aA	20,27aA	19,98aA	21,66aA
	Sachê	22,18aA	20,60aA	20,64aA	20,74aA
	Mista	21,94aA	20,81aA	20,43aA	21,16aA
Índice de escurecimento	Laminada	11,39aBC	10,21aC	12,54aAB	13,75aA
	Sachê	11,61aBC	10,21aC	13,07aAB	14,68aA
	Mista	11,50aAB	10,27aB	12,91aA	13,42aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se também redução da cor para o parâmetro a^* , se aproximando da cor verde ao final do armazenamento. Segundo Pathare et al. (2013), a cor do pó pode ser afetada por inúmeras variáveis tais como: genótipo da planta, processo de moagem das sementes, secagem e armazenamento do pó. Não houve diferença estatística ($P > 0,05$) para a cor b^* do extrato armazenado nas três embalagens ao longo dos 180 dias de armazenamento, havendo predominância da cor amarela ($+b^*$) em relação à vermelha ($+a^*$).

Os dados mostram que a cor amarela do pó foi mantida durante o armazenamento, ou seja, as alterações sofridas pelo pó não foram suficientes para alterar a sua cor. Logo, as embalagens foram eficientes em manter a cor do extrato. Nunes et al. (2016) observaram ao final da sua pesquisa sobre armazenamento e uso de embalagens para conservação de alimentos funcionais, smoothies, os parâmetros de cor não sofreram alterações significativas.

Resultados distintos em relação às coordenadas cromáticas a^* e b^* foram obtidos por Alves et al. (2014) ao estudarem as propriedades físico-químicas da farinha de casca de jabuticaba armazenada à temperatura ambiente. Os autores observaram que houve aumento desses parâmetros durante o armazenamento e uma redução nos valores de L^* . O índice de escurecimento reflete a pureza da cor marrom e indica possíveis reações de escurecimento enzimáticas ou não enzimáticas durante o armazenamento. Embora o extrato armazenado nas embalagens laminada, sachê e mista não apresentaram diferença significativa entre si ($P>0,05$), verificou-se aumento para esse parâmetro durante o tempo de armazenamento, principalmente, no pó armazenado na embalagem de sachê, possivelmente por essa ser semipermeável. Todavia, para os alimentos embalados, o material de embalagem deve ser suficientemente permeável para permitir a saída de vapor do produto, para que o arrefecimento possa ser alcançado (FENG; LI, 2015).

García et al. (2018) explicam que a cor é a primeira propriedade que um cliente avalia durante a compra de um alimento, porque ela é um indicador da qualidade dele e trata-se de um atributo com o qual os consumidores se preocupam muito. O escurecimento não enzimático, a destruição de pigmentos ou outras reações que causam a alteração da cor do produto pode afetar a aceitabilidade dos consumidores (TAN; SULAIMAN, 2019). Além disso, a cor é um parâmetro importante para o pó liofilizado de sementes de moringa, quando usado no tratamento de água.

10.3.3. Microbiologia do extrato liofilizado

Conforme resolução nº 331 Brasil (2019), o extrato liofilizado ao longo dos 180 dias de armazenamento não apresentou contaminação microbiológica por coliformes fecais, termotolerantes e *Escherichia coli* (Tabela 10.10). O tipo de embalagem e a temperatura de armazenamento podem ter influência significativa no resultado. O baixo teor e a baixa atividade da água no pó associada à natureza antibacteriana de alguns compostos químicos libertados pela moringa, também, podem ter contribuído.

Forooq e Koul (2019) produziram extratos hidroalcoólicos das sementes e folhas de *M. oleifera* e avaliaram seu efeito sobre células de *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *E. coli* e *Staphylococcus aureus*. Todas as concentrações avaliadas (25, 50, 75 e 100 µg/mL) inibiram o desenvolvimento de todas as bactérias. Essa atividade foi associada à presença dos compostos benzilamina, piterigosperma e benzil isotiocianato. Othman e Ahmed (2017) explicam que os compostos bioativos presentes, na moringa, possivelmente exercem ação antimicrobiana, ao provocar alterações na parede celular e nas proteínas celulares dos microrganismos. Silveira et al. (2020) ao realizarem a aplicação de proteínas fracionadas de *M. oleifera* comprovaram a inativação de *Escherichia coli* em água.

Tabela 10.10. Resultados microbiológicos do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* durante armazenamento em diferentes embalagens.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)			
		0	60	120	180
Coliformes totais 35° (*NMP.g ⁻¹)	Laminada	<3	<3	<3	<3
	Sachê	<3	<3	<3	<3
	Mista	<3	<3	<3	<3
Coliformes termotolerantes 45° (*NMP.g ⁻¹)	Laminada	<3	<3	<3	<3
	Sachê	<3	<3	<3	<3
	Mista	<3	<3	<3	<3
<i>Escherichia coli</i> (*NMP.g ⁻¹)	Laminada	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
	Sachê	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
	Mista	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência

*NMP.g⁻¹: Número mais provável por grama.

Pesquisadores têm investido na prospecção de sementes de *M. oleifera* como alternativa promissora e de baixo custo para reduzir e/ou eliminar microrganismos indesejáveis sob o ponto de vista ambiental, alimentar ou clínico (ALO et al., 2012; VIEIRA et al., 2010; ABALAKA et al., 2012). Saadabi e Zaid (2011) observaram que extratos metanólicos e aquosos de sementes da moringa foram capazes de inibir *E. coli*, *S. aureus* e *P. aeruginosa*. Lin et al. (2019) produziram nanofibras a partir de *Moringa oleifera* e aplicaram-nas em queijos. Os autores verificaram que elas possuíam elevada atividade antibacteriana contra *L. monocytogenes* e *S. aureus* a 4 °C e 25 °C durante 10 dias, sem qualquer efeito na qualidade organoléptica do queijo. Para os autores, todas as partes da moringa possuem atividade antibacteriana, e as nanofibras poderiam ser material promissor no desenvolvimento de embalagem para a conservação de alimentos.

10.4. Conclusões

As embalagens laminada, sachê e mista foram eficientes na conservação das características físico-químicas do extrato liofilizado de sementes de moringa. O extrato armazenado nas embalagens manteve durante o período de armazenamento o teor e a atividade de água dentro do estabelecido pela legislação vigente. Não houve influência das embalagens e dos tempos de armazenamento na quantidade de cinzas. O pH apresentou-se como pouco ácido durante todo o período do armazenamento. Já a acidez aumentou e a embalagem de sachê apresentou os maiores valores. As embalagens estudadas mostraram-se eficientes para conservação dos conteúdos de proteínas, lipídios e carboidratos, com aumento para esse último a partir dos 120 dias de armazenamento.

O pó armazenado em todas as embalagens apresentou alta solubilidade e baixa higroscopicidade, e classificou-se como não higroscópico. A densidade aparente e compactada do pó armazenado nas embalagens laminada e sachê não sofreram alterações durante o armazenamento. O extrato liofilizado apresentou alta luminosidade durante o armazenamento para as três embalagens, houve predominância da cor amarela em relação à vermelha. Mesmo apresentando os maiores valores para o teor de água, atividade de água, acidez, higroscopicidade, índice de escurecimento e os menores para lipídios e luminosidade, o uso da embalagem de sachê não deve ser descartado. O extrato liofilizado durante os 180 dias de armazenamento não apresentou contaminação microbiológica por coliformes fecais, termotolerantes e *Escherichia coli*.

10.5. Referências

ABALAKA, M. E.; DANİYAN, S. Y.; ADEYEMO, S. O. The antibacterial evaluation of *Moringa oleifera* leaf extracts on selected bacterial pathogens. **Journal of Microbiology Research**, v. 2, n. 2, p. 1-4, 2012.

ABD EL BAKY, H. H.; EL-BAROTY, G. S. Characterization of Egyptian *Moringa peregrina* seed oil and its bioactivities. **International Journal of Management Science and Business Research**, v. 2, p. 98-108, 2013.

ALVES, A. P. C.; CORRÊA, A. D.; LINO, J. B. R.; MARQUES, T. R. Physicochemical properties of jaboticaba skin flour stored at room temperature. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 32, n. 2, p. 271-280, 2014.

APHA. American Public Health Association. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4. ed. Washington, p. 676, 2001.

ASANTE, W. J.; NASARE, I. L.; DERY, D. T.; OCHIRE-BOADU, K.; KENTIL, K. B. Nutrient composition of *Moringa oleifera* leaves from two agro ecological zones in Ghana. **African Journal of Plant**, v. 8, p. 65-71, 2014.

BARROSO, A. J. R.; ALMEIDA, F. A. C.; CASTRO, D. S.; MELO, B. A.; MORAIS, J. S.; GOMES, J. P.; SILVA, L. M. M.; SILVA, W. P. Maltodextrin effect on the parameters of physicochemical quality of the umbu powder for characterization of the selected encapsulation. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 17, p. 7-11, 2019.

BATISTA, R. F.; FILHO, L. C. A. L.; SILVA, J. B. A.; DUTRA, I.; SANTOS, D. B. Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de água superficial no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 186-198, 2013.

BELHADI, B.; DJABALI, D.; SOUILAHA, R.; YOUSFIC, M.; NADJEMI, B. Three small-scale laboratory steeping and wet-milling procedures for isolation of starch from sorghum grains cultivated in Sahara of Algeria. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 3, p. 225-232, 2013.

BIJI, K. B.; RAVISHANKAR, C. N.; MOHAN, C. O.; GOPAL, T. K. S. Smart packaging systems for food applications: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 6125-6135, 2015.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Journal Biochemistry Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BOBBA, S.; HARGUINDEGUY, M.; COLUCCI, D.; FISSORE, D. Diffuse interface model of the freeze-drying process of individually frozen products. **Drying Technology**, v. 38, p. 758-774, 2020.

BRASIELLO, A.; IANNONE, G.; ADILETTA, G.; PASQUALE, S.; RUSSO, P.; MATTEO, M. Mathematical model for dehydration and shrinkage: Prediction of eggplant's MRI spatial profiles. **Journal of Food Engineering**, v. 203, p. 1-5, 2017.

BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4. ed. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz. São Paulo. v. 1, 2008. p. 1020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978**. Dispõe sobre normas técnicas especiais. Disponível em: <www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 07 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019**. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Disponível em: <www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2020.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ ARGANDOÑA, E. J. Efeito da desidratação foammat na retenção da vitamina C. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v.24, n. 2, p. 189-193, 2013.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spraydried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CALDERÓN, D. E. P.; SAGUILÁN, A. A.; CRUZ, A. A.; AHUMADA, J. C.; URIBE, J. P. H.; TELLO, S. A.; UCO, J. G. T. Tortilla added with *Moringa oleífera* flour: Physicochemical, texture properties and antioxidant capacity. **Food Science and Technology**, v. 100, p. 409-415, 2019.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The Effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin added during the spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, p. 539-548, 2013.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, n. 4, p. 420-428, 2005.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine* 'Carabao' var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.

CHANG, L. S.; KARIM, R.; ABDULKARIM, S. M.; YUSOF, Y. A.; GHAZALI, H. M. Storage stability, color kinetics and morphology of spray-dried soursop (*Annona muricata* L.) powder: effect of anticaking agents. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 1937-1954, 2018.

CHAUHAN, A. K.; PATIL, V. Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. **Powder Technology**, v. 239, p. 86-93, 2013.

COZMUTA, A. M.; PETER, A.; COZMUTA, L. M.; NICULA, C.; CRISAN, L.; BAIU, L.; TURILA, A. Active packaging system based on AG/TiO₂ nanocomposite used for extending the shelf life of bread. Chemical and microbiological investigations. **Packaging Technology and Science**, v. 28, p. 271-284, 2015.

DAMIANI, C.; LAGE, M. E.; SILVA, F. A.; PEREIRA, D. E. P.; BECKER, F. S.; VILAS BOAS, E. V. B. Changes in the physicochemical and microbiological properties of frozen araçá pulp during storage. **Food Science and Technology**, v. 33, p. 19-27, 2013.

DUAN, X.; YANG, X.; REN, G.; PANG, Y.; LIU, L.; LIU, Y. Technical aspects in freeze drying of foods. **Drying Technology**, v. 34, p. 1271-1285, 2016.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.

ERIKSSON, M.; STRID, I.; HANSSON, P. A. Food waste reduction in supermarkets – Net costs and benefits of reduced storage temperature. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 107, p. 73-81, 2016.

FAROOQ, B.; KOUL, B. Comparative analysis of the antioxidant, antibacterial and plant growth promoting potential of five Indian varieties of *Moringa oleifera* L. **South African Journal of Botany**, v. 10, p. 1-9, 2019.

FENG, C. H.; LI, C. Immersion vacuum-cooling as a novel technique for cooling meat products: research advances and current state-of-the art. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, 785-795, 2015.

GANDJI, K; CHADARE, F. J.; IDOHOU, R.; SALAKO, V. K.; ASSOGBADJO, A. E.; GLÈLÈ KAKAÏ, R. L. Status and utilisation of *Moringa oleifera* Lam: A review. **African Crop Science Journal**, v. 26, n. 1, p. 137-156, 2018.

GARCÍA, J. M.; GIUFFRIDA, D.; DUGO, P.; MONDELLO, L.; OSORIO, C. Development and characterisation of carotenoid-rich microencapsulates from tropical fruit by-products and yellow tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). **Powder Technology**, v. 339, p. 702-709, 2018.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **Analytical methods dry milk products**. Soeborg: GEA Niro, 2003. p.103.

HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metallurgy**, v. 3, p. 7-13, 1967.

INGALE, S. P.; GANDHI, F P. Effect of aqueous extract of *Moringa oleifera* leaves on pharmacological models of epilepsy and anxiety in mice. **International Journal of Epilepsy**, v. 03, n. 01, p. 012-019, 2016.

JIN, J.; YURKOW, E. J.; ADLER, D.; LEE, T. C. Improved freeze drying efficiency by ice nucleation proteins with ice morphology modification. **Food Research International**, v. 106, p. 90-97, 2018.

KHAN, W.; PARVEEN, R.; CHESTER, K.; PARVEEN, S.; AHMAD, S. Hypoglycemic potential of aqueous extract of *Moringa oleifera* leaf and in vivo GC-MS metabolomics. **Frontiers in pharmacology**, v. 8, p. 1-16, 2017.

KORSOR, M.; NTAHONSHIKIRA, C.; BELLO, M. H.; KWAAMBWA, H. M. Comparative proximate and mineral composition of *Moringa oleifera* and *Moringa ovalifolia* grown in central Namibia. **Sustainable Agriculture Research**, v. 6, n. 4, p. 31-44, 2017.

KOU, X.; LI, B.; OLAYANJU, J. B.; DRAKE, J. M.; CHEN, N. Nutraceutical or pharmacological potential of *Moringa oleifera* Lam. **Nutrients**, v. 10, n. 3, p. 1-12, 2018.

LANDIM, A. P. M.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I. B. A.; FRANCISCO, M. R.; SANTOS, M. B.; MELO, N. R. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, p. 82-92, 2016.

LEBRUN, P.; KRIER, F.; MANTANUS, J.; GROHGANZ, H.; YANG, M.; ROZET, E. BOULANGER, B.; EVRARD, B.; RANTANEN, J.; HUBERT, P. Design space approach in the optimization of the spray-drying process. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 80, p. 226-234, 2012.

LICCIARDELLO, F.; CIPRI, L.; MURATORE, G. Influence of packaging on the quality maintenance of industrial bread by comparative shelf life testing. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 1, p. 19-24, 2014.

LICCIARDELLO, F.; GIANNONE, V.; NOBILE, M. A. D.; MURATORE, G.; SUMMO, C.; GIARNETTI, M.; CAPONIO, F.; PARADISO, V. M.; PASQUALONE, A. Shelf life assessment of industrial durum wheat bread as a function of packaging system. **Food Chemistry**, v. 224, p. 181-190, 2017.

LIN, L.; GU, Y.; CUI, H. Moringa oil/chitosan nanoparticles embedded gelatin nanofibers for food packaging against *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* on cheese. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 19, p. 86-93, 2019.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: Efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1092-1100, 2013.

MAJID, I.; NANDA, V. Effect of sprouting on the physical properties, morphology and flowability of onion powder. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 4, p. 2033-2042, 2017.

MALLILLIN, A. C.; TRINIDAD, T. P.; SAGUM, R. S.; LEON, M. P.; BORLAGDAN, M. P.; BAQUIRAN, A. F. P.; AVILES, T. F. Mineral availability and dietary fiber characteristics of *Moringa oleifera*. **Food and Public Health**, v. 4, n. 5, p. 242–246, 2014.

MASUM, K. M.; CHANDRAPALA, J.; HUPPERTZ, T.; ADHIKARI, B.; ZISU, B. Effect of storage conditions on the physicochemical properties of infant milk formula powders containing different lactose-to-maltodextrin ratios. **Food Chemistry**, v. 319, p. 1-9, 2020.

MGBEMENA, N. M.; OBODO, G. A. Comparative analysis of proximate and mineral composition of *Moringa oleifera* root, leave and seed obtained in Okigwe Imo State, Nigeria. **Journal of Molecular Studies and Medicine Research**, v. 1, n. 2, p. 57-62, 2016.

MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; ŁYSIAK, G.; FIGIEL, A. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. **Food Chemistry**, v. 207, p. 223-232, 2016.

MURUGKAR, D. A.; GULATI, P.; GUPTA, C. Effect of sprouting on physical properties and functional and nutritional components of multi-nutrient mixes. **International Journal of Food and Nutritional Science**, v. 2, p. 2320-7876, 2013.

NUNES, A. M.; COSTA, A. S. G.; BARREIRA, J. C. M.; VINHA, A. F.; ALVES, R. C.; ROCHA, A. How functional foods endure throughout the shelf storage? Effects of packing materials and formulation on the quality parameters and bioactivity of smoothies. **Food Science and Technology**, v. 65, p. 70-78, 2016.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of lyophilized powder of grugru palm (*Acrocomia aculeata*). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 4, p. 1-7, 2013.

OLIVEIRA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p.147-153, 2015.

ÖNAL, B.; ADILETTAA, G.; CRESCITELLI, A.; DI MATTEO, M.; RUSSOC, P. Optimization of hot air drying temperature combined with pre-treatment to improve physico-chemical and nutritional quality of ‘Annurca’ apple. **Food and Bioproducts Processing**, v. 115, p. 87-99, 2019.

OTHMAN, A. S.; AHMED, N. Antibacterial effect of the ethanol leaves extract of *Moringa oleifera* and *camellia sinensis* against multi drug resistant bacteria. **International Journal of Pharmacokinetics**, v. 13, p. 156-165, 2017.

OTUTU, O. L.; IKUOMOLA, D. S.; OLORUNTOBA, R. O. Effect of sprouting days on the chemical and physicochemical properties of maize starch. **American Journal of Research Communication**, v. 2, p. 131-149, 2014.

PACHIMALLAA, P. R.; MISHRAB, S. K.; CHOWDHARY, R. Evaluation of hydrophilic gel made from Acemannan and *Moringa oleifera* in enhancing osseointegration of dental implants. A preliminary study in rabbits. **Journal of Oral Biology and Craniofacial Research**, v. 10, n. 2, p. 13-19, 2020.

PALOU, E.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J.; SWANSON, B. G. Polyphenol oxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal Food Science**, v. 64, n. 1, p. 42-45, 1999.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A-J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n.1, p. 36-60, 2013.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269-274, 2016.

SAADABI, A. M.; ZAID, I. E. A. An in vitro antimicrobial activity of *Moringa oleifera* L. seed extracts against different groups of microorganisms. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, n. 5, p. 129-134, 2011.

SAIFULLAH, M.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; AZIZ, M. G. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder Technology**, v. 301 p. 396-404, 2016.

SAMOTICHA, J.; WOJDYLO, A.; LECH, K. The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. **Food Science and Technology**, v. 66, p. 484-489, 2016.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.

SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAUJO, G. T. Storage of 'umbu-cajá' pulp powder produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1118-1123, 2016.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat software version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVEIRA, F. M. R.; BERGAMASCO, R.; DUTRA, T. V.; GOMES, R. G.; ABREU FILHO, B. A.; BAPTISTA, A. T. A. Application of *Moringa oleifera* Lam. fractionated proteins for inactivation of *Escherichia coli* from water. **Water Science and Technology**, v. 1, p. 766-817, 2020.

SOUZA, J. M. L.; ÁLVARES, V. S.; LEITE, F. M. N.; REIS, F. S.; FELISBERTO, F. Á. V. Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no vale do Juruá, Acre. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 761-766, 2008.

TAN, S. L.; SULAIMAN, R. Color and rehydration characteristics of natural red colorant of foam mat dried *Hibiscus sabdariffa* L. powder. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, p. 89-105, 2019.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70-76, 2013.

VIEIRA, G. H. F.; MOURÃO, J. A.; ÂNGELO, A. M.; COSTA, R. A.; VIEIRA, R. H. S. F. Antibacterial effect (in vitro) of *Moringa oleifera* and *Annona muricata* against gram positive and gram negative bacteria. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 52, n. 3, p. 129-132, 2010.

YUSOF, Y. A.; SALLEH, F. S. M.; CHIN, N. L.; TALIB, R. A. The drying and tableting of pitaya powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 35, n. 5, p. 763-771, 2012.

ZAVALA, M. V.; ESCALANTE, I. E. P.; BAUTISTA, R. Z.; ARELLANES, M. A. J. *Moringa (Moringa oleifera lam.)*: Potential uses in agriculture, industry and medicine. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v. 22, n. 2, p. 95-116, 2016.

ZEA, L. P.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; LING, C. N.; AMIN, N. A. M.
Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava
and pitaya fruit powders. **Powder Technology**, v. 247 p. 112-119, 2013.

11. ARTIGO VI - EFICIÊNCIA DE COAGULANTE OBTIDO DE PÓ LIOFILIZADO DE SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA* DURANTE ARMAZENAMENTO

Resumo: Realizaram-se muitos estudos para avaliar a eficiência da moringa como coagulante natural no tratamento de água de qualidade inferior, no entanto, não foram estabelecidas pesquisas sobre os efeitos das condições de armazenamento do pó liofilizado em seu desempenho. Por isso, objetivou-se verificar se o poder coagulante do pó liofilizado obtido de sementes de *Moringa oleifera*, em termos de eficiência de remoção de pH, turbidez e cor aparente, é alterado em relação ao tempo de armazenamento. Conduziu-se o trabalho no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande, Brasil. O pó foi obtido pelo processo de secagem por liofilização. Armazenou-se o pó durante 180 dias em três tipos de embalagens: laminada, sachê e mista. A cada 60 dias (0, 60, 120 e 180 dias), a eficiência do pó liofilizado no tratamento de água foi avaliada em função do tempo de armazenamento para os parâmetros de qualidade da água: pH, turbidez e cor aparente. O pH da água manteve-se dentro do permitido pela legislação brasileira. As embalagens foram eficientes na conservação do coagulante. A conservação do princípio ativo das sementes responsável pela remoção da turbidez depende da embalagem utilizada e do tempo de armazenamento. A embalagem de sachê apresentou os menos valores e a maior eficiência de eliminação da cor aparente e o pó armazenado na embalagem laminada em menor eficiência. Mesmo apresentando elevada eficiência na remoção da cor, os valores encontram-se acima do exigido. Recomenda-se a aplicação da etapa de filtração da água.

Palavras-chave: embalagem, extrato, remoção, secagem, tratamento de água.

COAGULANT EFFICIENCY OBTAINED FROM FREEZE-DRIED POWDER OF *MORINGA OLEIFERA* SEEDS DURING STORAGE

Abstract: Many studies have been carried out to evaluate the efficiency of the moringa as a natural coagulant in the treatment of inferior quality water; however, no research has been established on the effects of freeze-dried powder storage conditions on its performance. Therefore, the objective was to verify if the coagulant power of the freeze-dried powder obtained from *Moringa oleifera* seeds, in terms of efficiency of pH

removal, turbidity and apparent color, is altered in relation to the storage time. Work was conducted at the Agricultural Products Processing and Storage Laboratory of the Federal University of Campina Grande, Brazil. The powder was obtained by the freeze-drying process. The powder was stored for 180 days in three types of packaging: laminated, sachet and mixed. Every 60 days (0, 60, 120 and 180 days), the efficiency of the freeze-dried powder in water treatment was evaluated according to the storage time for the water quality parameters: pH, turbidity and apparent color. The pH remained within the limits allowed by Brazilian legislation. The packages were efficient in conserving the coagulant. The conservation of the active principle of the seeds responsible for the removal of turbidity depends on the packaging used and the storage time. The sachet packaging had the lowest values and the highest efficiency in eliminating the apparent color and the powder stored in the laminated package in lower efficiency. Even with high color removal efficiency, the values are above the required. The application of the water filtration step is recommended.

Keywords: packaging, extract, removal, drying, water treatment.

11.1. Introdução

A água é recurso natural indispensável ao ser humano e aos demais seres vivos, além de ser suporte essencial aos ecossistemas. No Brasil, a falta de água no semiárido nordestino devido às irregularidades pluviométricas, tem feito com que os profissionais busquem alternativas para tornar a escassez algo reversível e alternativo, reaproveitando a água de modo mais eficiente, econômico, sustentável, viável e acessível (GUALBERTO et al., 2014). A população de algumas comunidades rurais do Brasil é obrigada a percorrer grandes distâncias para a obtenção de água a qual, na maioria das vezes, é de qualidade inferior e de turbidez muito elevada. Nesse caso, faz-se necessária uma remoção da maior quantidade possível desses materiais antes de usá-la para consumo. Normalmente, isso é obtido pela adição de coagulantes químicos, a exemplo do sulfato de alumínio, que às vezes não estão disponíveis a um preço acessível para essas populações (SIQUEIRA et al., 2015). Uma alternativa é o uso de coagulantes naturais como as sementes de *Moringa oleifera* Lam.

A semente de moringa possui agentes coagulantes que ajudam na remoção da turbidez, da cor e de microrganismos presentes na água. O extrato da semente, por conter uma proteína catiônica, atua como agente clarificante no tratamento de água. A proteína é o composto mais abundante encontrado na semente, a qual desestabiliza as

partículas contidas na água e por meio dos processos de neutralização e adsorção, floculam os coloides (OLIVEIRA et al., 2018). Vários autores relatam que as sementes de *M. oleifera* vêm demonstrando tanta eficiência como coagulante e floculante natural, que vem alcançando uma atividade comparável ao do sulfato de alumínio (TAVARES et al., 2019, SILVEIRA et al., 2020; VIOTTI et al., 2019).

Quando utilizada no tratamento de água, as proteínas presentes nas sementes de *M. oleifera*, responsáveis pelo tratamento da água, perdem seu efeito em pouco tempo (KATAYON et al., 2006). A liofilização se destaca dentre os processos de secagem por preservar os constituintes do produto, devido à interrupção de processos metabólicos. Assim como, os produtos liofilizados apresentam uma vida de prateleira maior, quando corretamente embalados. Faz-se necessário adotar técnicas de armazenamento e conservação do pó liofilizado obtido das sementes de moringa, a fim de garantir a eficácia no tratamento de água. Do mesmo modo, estudar o efeito de condições de armazenagem incluindo material de embalagem sobre a eficiência do coagulante, pois os estudos sobre tais condições para a moringa são escassos.

Conforme explicam Jangam et al. (2016), a secagem dos alimentos é um processo extremamente importante para sua conservação, e o método utilizado tem impacto diferente sobre as propriedades dos pós. A liofilização é um método de secagem que preserva as propriedades do material, recomendada para secagem de materiais sensíveis ao calor, a exemplo das sementes de *M. oleifera*. No que diz respeito à obtenção de produtos de alta qualidade, o método de secagem por liofilização é considerado o melhor método porque permite a maior retenção de compostos bioativos durante a desidratação. O uso de baixas temperaturas pode prevenir parcialmente a degradação térmica de componentes biologicamente ativos no material vegetal (TURKIEWICZ et al., 2019). Além disso, a utilização da semente de moringa como agente coagulante apresenta-se como ótima alternativa para o tratamento de água, no processo de clarificação de águas com elevada turbidez e, por tratar-se de um produto biodegradável, colabora para a preservação do meio ambiente.

Nesse contexto, objetivou-se verificar se o poder coagulante do pó liofilizado obtido a partir das sementes de *Moringa oleifera* em termos de eficiência de remoção de pH, turbidez e cor aparente é alterado em relação ao tempo de armazenamento.

11.2. Material e Métodos

11.2.1. Armazenamento do pó liofilizado

Conduziu-se o trabalho no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil. As sementes empregadas para obtenção do pó foram descascadas e trituradas em liquidificador doméstico. Ao pó foram adicionados 50 mL de água destilada para formação das pastas a serem liofilizadas, essas foram acondicionadas em formas plásticas e submetidas a congelamento a -18 °C por 24 h (SANTOS et al., 2016). Em seguida liofilizadas a -54 °C por 72 h.

Armazenou-se o pó por 180 dias em temperatura controlada a 25 °C fornecida por uma BOD, em três tipos de embalagens: laminada, sachê e mista. A cada 60 dias (0, 60, 120 e 180 dias), a eficiência do pó liofilizado no tratamento da água foi avaliada em função do tempo de armazenamento.

11.2.2. Avaliação da eficiência do coagulante

Determinou-se a eficiência do coagulante avaliando a cada 60 dias o pH determinando-o em pHmetro digital, a turbidez utilizando-se turbidímetro digital modelo DLT-WV e a cor aparente em analisador de cor PCU HI727 (EATON et al., 2005).

A água utilizada na pesquisa foi obtida de forma artificial adicionando-se 0,25 g de carbonato de sódio à água destilada, a fim de obter valor superior ao permitido para o pH (9,5); com aplicação de 0,5 g de argila, conseguiu-se turbidez superior a 5 NTU e a cor aparente acima de 15 uH (Tabela 11.1).

Tabela 11.1. Média inicial da água durante o armazenamento.

Parâmetro	Embalagens	Tempo (dias)				VMP ¹
		0	60	120	180	
pH	Laminada	11,2	10,8	10,9	11,1	9,5
	Sachê	11,2	10,8	10,9	11,1	9,5
	Mista	11,2	10,8	10,9	11,1	9,5
Turbidez (NTU)	Laminada	332,7	316,4	332	300,0	5
	Sachê	332,7	316,4	332	300,0	5
	Mista	332,7	316,4	332	300,0	5
Cor aparente*	Laminada	500	500	500	500	15
	Sachê	500	500	500	500	15
	Mista	500	500	500	500	15

¹Valor Máximo Permitido (BRASIL, 2017). * uH (mg Pt-Co/L).

Os valores máximos permitidos foram os estabelecidos pela portaria nº 5 de acordo com Brasil (2017). Adicionaram-se à água as dosagens de 16 g do coagulante para a cor aparente e 24 g para o pH e a turbidez. O coagulante foi aplicado na água pelos métodos direto para o pH, filtro para a turbidez e sachê para a cor aparente.

Para que ocorresse o processo de coagulação/floculação, o Jar Test foi ligado durante Tempo₁: 3 min e Tempo₂: 10 min a uma velocidade de 160 rpm (PEREIRA et al., 2015). Em seguida, desligou-se o aparelho e as amostras mantiveram-se em repouso por 480 min para que ocorresse a sedimentação. Em seguida, retiraram-se 50 mL de cada amostra para as análises em triplicata dos parâmetros: pH, turbidez e cor aparente.

A eficiência dos parâmetros foi calculada conforme a Equação 11.1, adaptada de Fayos et al. (2016), em que os valores inicial e final foram substituídos pelo valor do respectivo parâmetro analisado.

$$Eficiência\ do\ coagulante(\%) = \frac{Valor\ do\ parâmetro\ inicial - Valor\ do\ parâmetro\ final}{Valor\ do\ parâmetro\ inicial} \times 100 \quad (11.1)$$

11.2.3. Análise estatística

Foi adotado o experimento fatorial 3 x 4 distribuído num delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições; sendo três embalagens: laminada, sachê e mista e quatro tempos de armazenamento: 0, 60, 120 e 180 dias. Submeteram-se os resultados à análise de variância e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se do software estatístico Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

11.3. Resultados e Discussão

Verifica-se na Tabela 11.2 e Figura 11.2 que durante o armazenamento, o pH da água apresentou-se dentro do estabelecido pela legislação brasileira, que estabelece pH entre 6,0 e 9,5 para água potável (BRASIL, 2017). Portanto, as embalagens utilizadas foram eficientes em conservar o princípio ativo das sementes de *M. oleifera*. As reduções observadas giraram em torno de 36 e 39%, logo, foram baixas. Como o pH foi menor que 7, esse é tido como ácido.

Observou-se pequena redução nos seus valores quando o pó foi armazenado nas embalagens laminada e mista, essa última apresentou menor média ao final do armazenamento. A redução do pH, provavelmente, deve-se à presença de vários ácidos

orgânicos presentes nas sementes de moringa que são produzidos através da decomposição dos compostos orgânicos. Estes ácidos orgânicos são conhecidos por participarem na neutralização da carga, aumentando assim a eficiência da coagulação (ABDULKARIM et al., 2005). O inverso foi observado para o pH da água quando o pó foi armazenado na embalagem de sachê, no qual verificou-se aumento aos 180 dias.

Tabela 11.2. Médias do pH da água durante armazenamento do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* em diferentes embalagens.

Embalagem	Tempo (dias)			
	0	60	120	180
Laminada	6,83	6,83	6,76	6,70
Sachê	6,83	6,80	6,76	6,80
Mista	6,83	6,88	6,70	6,63

O pH desempenha um papel dominante na interação coagulante-partícula para neutralização e aglomeração eficazes dos flocos. Além disso, a solubilidade pode ser afetada pelo pH. Com o aumento, os coagulantes ficam carregados, resultando em uma mudança no mecanismo de coagulação. Por exemplo, quando os coloides são hidrofílicos, como ácidos, o pH afeta a protonação, uma reação química que ocorre quando um próton (H^+) liga-se a um átomo, uma molécula ou um íon (WEI et al., 2018). Observa-se baixo R^2 , possivelmente, em decorrência da variação entre as embalagens durante o período de armazenamento do pó liofilizado (Figura 11.1).

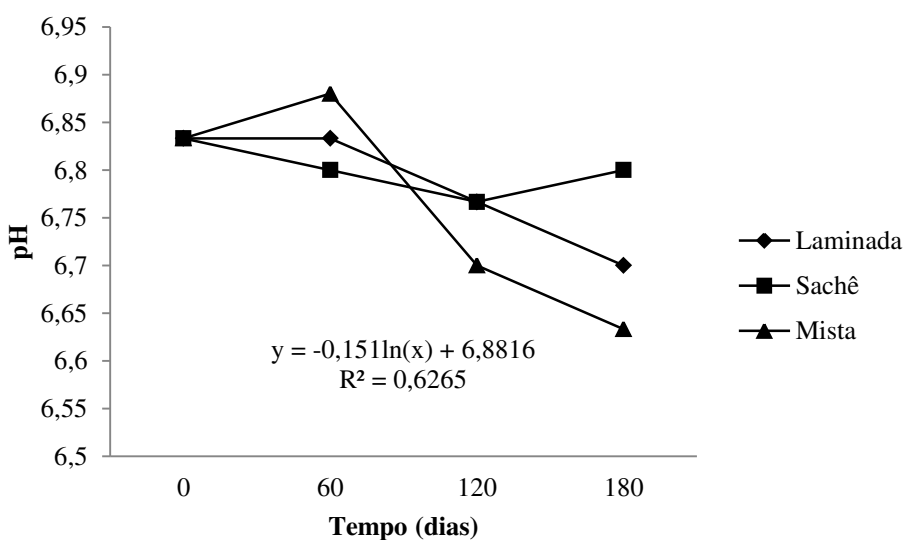


Figura 11.1. Representação gráfica do pH da água durante o armazenamento do extrato liofilizado em diferentes embalagens.

Pesquisas mostraram que a utilização do alumínio como coagulante apresenta graves efeitos, a sua relação com a doença de Alzheimer, a produção de grandes volumes de lodos, a reação com alcalinidade, diminuindo assim o pH da água, e o baixo efeito do coagulante na água fria, são exemplos dos problemas em decorrência da utilização de sais de alumínio como coagulantes (KATAYON et al., 2006; GOLESTANBAGH et al., 2011). Para Yin (2010), os coagulantes naturais não são tóxicos, são renováveis, produzem menos lodos, são biodegradáveis e relativamente eficazes em termos de custos. Além disso, os coagulantes naturais têm uma vasta gama de dosagem eficaz e não alteram o valor do pH da água tratada. Por isso, o uso de coagulante obtido das sementes de moringa se mostra como alternativa viável para tratamento de água.

A conservação do extrato liofilizado é importante não apenas para trabalhá-lo no nível de pesquisa, mas também ao considerar sua possível aplicação em tratamento de água em pequena escala de forma contínua. A qualidade da água destinada ao consumo é determinada pelos parâmetros físicos, químicos e biológicos e seu monitoramento é extremamente importante, pois o consumo de água contaminada acelera o aparecimento de muitas doenças (MIRZABEYGI et al., 2017; SOLEIMANI et al., 2018). Além disso, as concentrações elevadas de partículas em suspensão na água aumentam a turbidez, servindo como meio de transmissão de organismos patogênicos; portanto, a remoção de turbidez é um processo importante no tratamento da água (CHOUBEY et al., 2012).

De acordo com Katayon et al. (2006), a eficiência de coagulação das sementes de moringa em pó é independente das diferentes condições de armazenagem, tipos de embalagens e duração do armazenamento. No entanto, verificou-se redução da eficiência de remoção da turbidez durante o armazenamento do pó liofilizado (Tabela 11.3 e Figura 11.2).

Tabela 11.3. Médias da interação da turbidez da água durante armazenamento do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* em diferentes embalagens.

Embalagem	Tempo (dias)			
	0	60	120	180
Laminada	9,47aD	12,33aC	17,06aB	44,65aA
Sachê	5,89bD	11,63aC	18,96aB	35,93bA
Mista	7,45abB	7,63bB	9,28bB	14,83cA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve efeito significativo para os tratamentos aplicados ($P < 0,01$). Logo, os efeitos das embalagens sobre a conservação do princípio ativo das sementes responsável pela remoção da turbidez dependem do tempo de armazenamento, assim como o inverso. O pó liofilizado acondicionado na embalagem laminada apresentou ao final do armazenamento a maior média para a turbidez, embora a eficiência de remoção tenha sido de 85,66%. Os demais tempos apresentaram eficiência de 97,15, 96,10 e 94,86%. O pó armazenado na embalagem de sachê no tempo inicial (0) foi o que apresentou valor mais próximo do permitido pela legislação, com eficiência de 98,23%. A eficiência para os tempos de 60, 120 e 180 dias foi, respectivamente, 96,07, 94,29 e 88,04%.

Apesar de não se apresentarem de acordo com o valor máximo permitido pela portaria nº 5 de Brasil (2017), os valores estão enquadrados dentro do estabelecido pela resolução CONAMA nº 357 e suas alterações (BRASIL, 2005). Observa-se R^2 superior a 90%, indicando bom ajuste dos dados, cuja equação pode ser aplicada para estimar o quanto os dados estão próximos da linha de regressão ajustada, no nível de confiança revelado pelo R^2 (Figura 11.2).

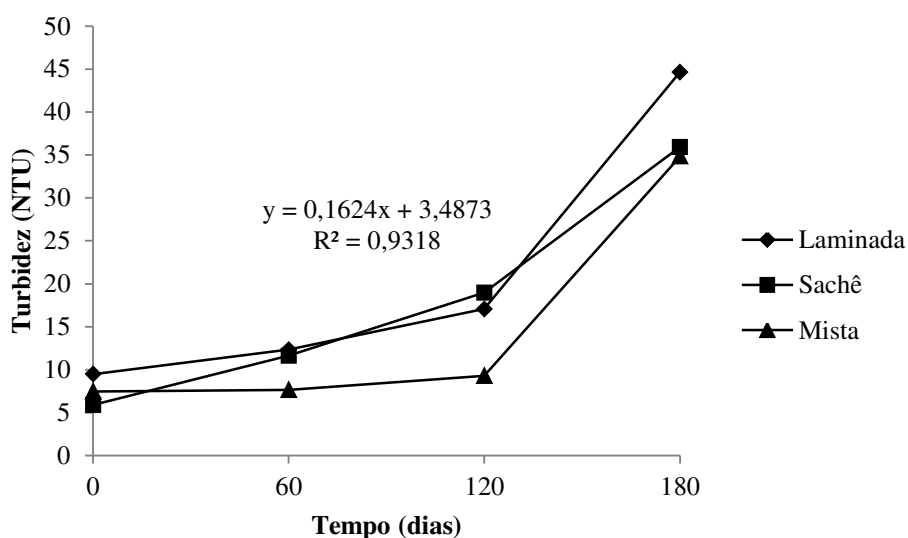


Figura 11.2. Representação gráfica da turbidez da água durante o armazenamento do extrato liofilizado em diferentes embalagens.

O pó armazenado na embalagem mista (sachê dentro da laminada) apresentou os menores valores para a turbidez durante o armazenamento, apresentando superioridade em relação à eficiência de remoção e conservação do constituinte ativo presente na semente de moringa. A eficiência de remoção de turbidez do pó armazenado na

embalagem mista para os tempos de armazenamento foram de 97,75, 97,57, 97,02 e 95,04%, respectivamente. Apesar da alta eficiência na remoção da turbidez, os valores encontram-se fora do permitido pela legislação brasileira, que estabelece para água potável valor máximo permitido 5 NTU (BRASIL, 2017).

No que diz respeito às condições de armazenamento do extrato de sementes de moringa, poucos estudos foram realizados, e os que foram desenvolvidos são bastante antigos. Jahn (1988) estudou as condições de armazenagem dos extratos obtidos da semente de *M. oleifera*. A principal conclusão de seu estudo foi a influência da temperatura de armazenamento do extrato para a manutenção da capacidade de remoção de turbidez. Além disso, ele recomendou a preparação diária de extratos em áreas com climas mais quentes, e o tempo de armazenamento não superior a 3 dias em recipientes selados quando a temperatura ambiente não exceder 18-20 °C. Para manter a capacidade de remoção de turbidez, o autor sugere a conservação dos extratos sob refrigeração a 4°C até uma semana.

Golestanbagh et al. (2011) ao armazenarem as sementes de moringa em recipientes de vidro abertos e fechados, concluíram que elas não sofreram alterações significativas ao longo dos períodos de armazenagem até dois meses. A percentagem de eliminação da turbidez permaneceu entre 97 e 94,2%. Silva et al. (2018) ao aplicarem o extrato liofilizado de sementes de moringa para remoção de turbidez verificaram que o tempo de sedimentação de 24 h resultou em remoção de 99,88% da turbidez da água, deixando-a dentro do estabelecido pela legislação vigente com turbidez de 0,9 NTU. Os autores concluíram que com um maior tempo de sedimentação, a formação e sedimentação dos flocos tornam-se mais eficientes, como também comprovarem a eficiência da liofilização na conservação dos constituintes da semente responsáveis pelo tratamento da água.

Para ultrapassar as questões relacionadas com a utilização de extratos de moringa no tratamento da água, nomeadamente o aumento da matéria orgânica, recomenda-se a aplicação do coagulante por meio de sachê ou filtro, bem como a realização da etapa de filtração da água. A elevada eficiência no tratamento da água e a diminuição da concentração de matéria orgânica na água abrem novas perspectivas na utilização do coagulante natural obtido de sementes de moringa para o tratamento da água de abastecimento (FEIHRMANN et al., 2017). Os extratos obtidos a partir das sementes de moringa podem atuar na eliminação da turbidez, separação de poluentes e eliminação de

microrganismos da superfície da água, tornando-a assim adequada para o consumo (OLIVEIRA et al., 2018).

Verifica-se que a cor aparente da água não apresentou interação significativa ($P>0,05$), assim, os efeitos das embalagens sobre a eficiência de remoção da cor, independentemente do tempo de armazenamento do pó liofilizado, o inverso também acontece (Tabela 4 e Figura 11.3). Todavia, as embalagens apresentaram diferença significativa entre si ($P<0,01$), por isso, elas apresentam efeitos diferentes sobre a eficiência de remoção da cor aparente, como também na conservação do princípio ativo. Os tempos de armazenamento também foram significativos ($P<0,01$), então, eles tiveram efeitos diferentes sobre a eficiência do coagulante.

Tabela 11.4. Médias da cor aparente da água durante armazenamento do extrato liofilizado de sementes de *M. oleifera* em diferentes embalagens.

Embalagem	Tempo (dias)			
	0	60	120	180
Laminada	118,33aA	133,33aA	138,33aA	141,66aA
Sachê	105,00bA	111,66bA	113,33bA	115,00bA
Mista	106,66abB	110,00abAB	120,00abAB	136,66abA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dentre as embalagens estudadas, a de sachê apresentou os menores valores para a cor aparente e a maior eficiência de remoção desse parâmetro, mantendo valores constantes e/ou semelhantes durante os 180 dias de armazenamento do pó liofilizado. A eficiência de remoção da cor durante o período estudado foi de 81,33, 79, 77,67 e 77%. Em seguida, tem-se a embalagem mista, o pó armazenado nessa embalagem apresentou percentuais de remoção da cor de 78,67, 78, 76 e 72,67% durante o armazenamento. Quando armazenado na embalagem laminada, o pó resultou em menor eficiência de eliminação da cor e os percentuais foram de 76,33, 73,33, 72,33 e 71,67%. O valor máximo permitido pela legislação brasileira para a cor aparente é de 15 uH. Logo, os valores encontram-se acima do exigido, mesmo apresentando elevada eficiência.

O extrato de sementes de *M. oleifera* utilizado no tratamento de água tem reduzida vida útil devido ao aumento das cargas orgânicas; portanto, o isolamento do agente ativo do coagulante torna-se imprescindível (BAPTISTA et al., 2017). Verificou-se na Figura 11.3 R^2 superior a 98%, indicativo de que os dados se ajustaram bem à regressão linear, pois apresentaram baixa dispersão.

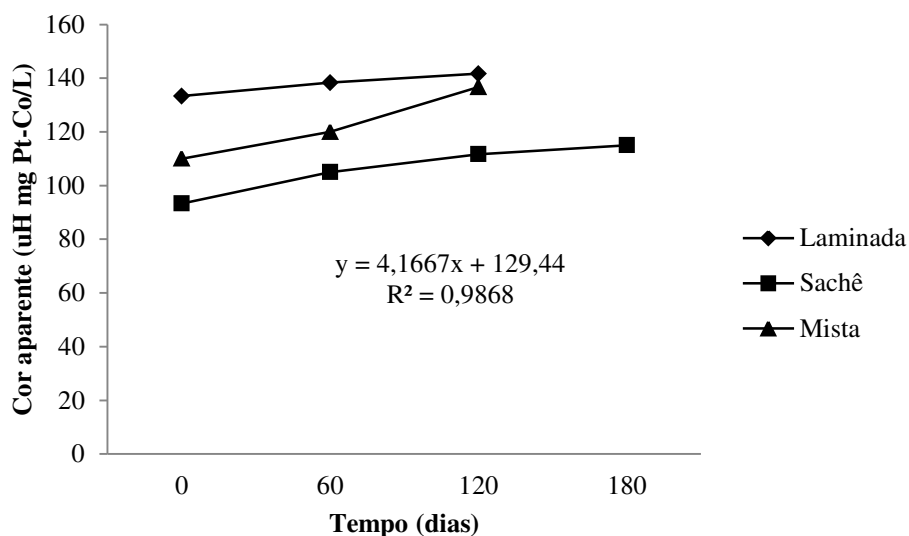


Figura 11.3. Representação gráfica da cor aparente da água durante o armazenamento do extrato liofilizado em diferentes embalagens.

Baptista et al. (2015) encontraram quase 90% de remoções para cor utilizando coagulante salino extraído das sementes de moringa. Feihrmann et al. (2017) utilizaram sementes não processadas e desengorduradas por processo mecânico e extração química com os solventes hexano e etanol, e os resultados mostraram que tanto os coagulantes desengordurados como o coagulante integral (sementes não processadas) obtiveram resultados semelhantes na remoção de aproximadamente 83 e 90% para a cor e turbidez.

Santos et al. (2018) desenvolveram um novo coagulante magnético à base de ferro nano estruturado óxido funcionalizado por compostos de *M. oleifera*, para remoção dos parâmetros físico-químicos indicativos de turbidez e cor aparente. O coagulante magnético obteve remoções de 94,4% para turbidez, 87,5% para a cor aparente. O coagulante utilizado pode ser reutilizado sem perda significativa de eficiência, devido à possibilidade de separação magnética, mostrando um método economicamente viável e de baixo impacto ambiental.

A capacidade coagulante das sementes de moringa pode estar relacionada com a presença de proteínas e peptídeos, que representam 45% da sua constituição (BAPTISTA et al., 2015). Estudos indicam que uma proteína solúvel atuando como um polieletrólito catiônico natural pode ser responsável pelo coagulante característico da moringa (CARDINES et al., 2018). Os coagulantes naturais são biodegradáveis, apresentam baixa toxicidade e baixos níveis de produção de lamas residuais. Além de a moringa ser considerada saudável para a saúde humana, as sementes destacam-se como uma coagulante natural promissor ao ser considerado como alternativa barata e segura,

atestada na eficiência do tratamento da água (VALVERDE et al., 2018). Percebe-se a escassez de estudos sobre avaliação da eficiência do coagulante obtido do pó liofilizado de sementes de moringa durante armazenamento, ou mesmo, do armazenamento do pó in natura. Logo, esse trabalho torna-se pioneiro na avaliação da eficiência do pó liofilizado de sementes de moringa durante armazenamento prolongado em diferentes embalagens e temperatura controlada.

11.4. Conclusão

O pH manteve-se dentro do permitido pela legislação brasileira, assim as embalagens foram eficientes na conservação do coagulante. A conservação do princípio ativo das sementes depende da embalagem utilizada e do tempo de armazenamento. Embora não estejam de acordo com o valor máximo permitido pela portaria nº 5, as embalagens foram eficientes na manutenção da elevada eficiência de remoção da turbidez da água durante o armazenamento, apresentando-se acima de 85%, com destaque para a embalagem mista, pois apresentou os valores mais próximos do que é permitido para a turbidez de água potável, com eficiência de remoção de 97,75, 97,57, 97,02 e 95,04%.

A cor aparente da água não apresentou interação significativa. Então, os efeitos das embalagens sobre a eficiência de redução da cor aparente e conservação do princípio ativo presente nas sementes de *M. oleifera* independem do tempo de armazenamento do pó liofilizado. A embalagem de sachê apresentou os menores valores e a maior eficiência de eliminação da cor (81,33, 79, 77,67 e 77%), seguido da embalagem mista. O pó liofilizado armazenado na embalagem laminada resultou em menor eficácia de eliminação da cor aparente da água. Mesmo apresentando elevada eficiência na remoção da cor, os valores encontram-se acima do exigido.

Recomenda-se o uso do sachê e filtro para aplicação do coagulante, uma vez que eles reduzem a matéria orgânica presente no pó, bem como a aplicação da etapa de filtração da água. O coagulante em pó apresenta elevado potencial para o tratamento da água e pode ser utilizado pelas populações dos países em desenvolvimento nos quais ainda faltam instalações para o tratamento da água potável.

11.5. Referências

ABDULKARIM, S. M.; LONG, K.; LAI, O. M.; MUHAMMAD, S. K. S.; GHAZALI, H. 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.

BAPTISTA, A. T. A.; COLDEBELLA, P. F.; CARDINES, P. H. F.; GOMES, R. G.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA A. M. S. Coagulation-flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. **Chemical Engineering Journal**, v. 276, p. 166-173, 2015.

BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* Lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114-124, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 mar. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 out. 2017.

CARDINES, P. H. F.; BAPTISTA, A.T. A.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. *Moringa oleifera* seed extracts as promising natural thickening agents for food industry: Study of the thickening action in yogurt production. **LWT - Food Science and Technology**, v. 97, p. 39-47, 2018.

CHOUBEY, S.; RAJPUT, S. K.; BAPAT, K. N. Comparison of efficiency of some natural coagulants-bioremediation. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 2, n. 10, p. 429-434, 2012.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. L. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington: American Public Health Association- APHA, 2005, p.1274.

FAYOS, B. G.; ARNAL, J. M.; SANCHO, M.; RODRIGO, I. *Moringa oleifera* for drinking water treatment: Influence of the solvent and method used in oil extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 48, p. 1-8, 2016.

FEIHRMANN, A. C.; BAPTISTA, A. T. A.; LAZARI, J. P.; SILVA, M. O.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Evaluation of coagulation/floculation process for water treatment using defatted cake from *Moringa oleifera*. **Chemical Engineering Transactions**, v. 57, p. 1543-1548, 2017.

GOLESTANBAGH, M.; AHAMAD, I. S.; A. IDRIS.; YUNUS, R. Effect of storage of shelled *Moringa oleifera* seeds from reaping time on turbidity removal. **Journal of Water and Health**, v. 9, n. 3, p. 597-602, 2011.

GUALBERTO, A. F.; FERRARI, G. M.; ABREU, K. M. P.; PRETO, B. L.; FERRARI, J. L. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 19-25, 2014.

JAHN, S. A. A. Using moringa seeds as coagulant in developing countries. **Journal of the American Water Works Association**, v. 80, n. 6, p. 43-50, 1988.

JANGAM, S. V.; MUJUMDAR, A. S.; ADHIKARI, B. Drying: Physical and Structural Changes. **Encyclopedia of Food and Health**, v. 1, p. 446-455, 2016.

KATAYON, S.; MEGAT MOHD NOOR, M. J.; ASMA, M.; ABDUL GHANI, L. A.; THAMER, A. M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B. C.; SULEYMAN, A. M. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1455-1460, 2006.

MIRZABEYGI, M.; YOUSEFI, N.; ABBASNIA, A.; YOUZI, H.; ALIKHANI, M.; MAHVI, A. H. Evaluation of groundwater quality and assessment of scaling potential and corrosiveness of water supply networks, Iran. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 66, n. 6, p. 416-425, 2017.

OLIVEIRA, N. T.; NASCIMENTO, K. P.; GONÇALVES, B. O.; LIMA, F. C.; COSTA A. L. N. Tratamento de água com *Moringa oleífera* como coagulante/floculante natural. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 373-382, 2018.

PEREIRA, E. R.; FRANCISCO, A. A.; THEODORO, J. D. P.; BERGAMASCO, R.; FIELIS, R. Comparação entre a aplicação do coagulante natural *Moringa oleífera* e do coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento de água com diferentes níveis de turbidez. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 3010, 2015.

SANTOS, D. C.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; ARAUJO, G. T. Storage of ‘umbu-cajá’ pulp powder produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1118-1123, 2016.

SANTOS, T. R. T.; SILVA, M. F.; ANDRADE, M. B.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R. Magnetic coagulant based on *Moringa oleífera* seeds extract and super paramagnetic nanoparticles: optimization of operational conditions and reuse evaluation. **Desalination and Water Treatment**, v. 106, p. 226-237, 2018.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, S. N.; ALMEIDA, F. A. C.; GOMES, J. P.; SILVA, P. B.; MELO, B. A.; MORAES, J. S. Eficiência na remoção da turbidez de água com aplicação de pó in natura e liofilizado de sementes de moringa. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 7., 2018, Salvador. **Anais...** Salvador, 2018. p. 1-5.

SILVEIRA, F. M. R.; BERGAMASCO, R.; DUTRA, T. V.; GOMES, R. G.; ABREU FILHO, B. A.; BAPTISTA, A. T. A. Application of *Moringa oleífera* Lam. fractionated proteins for inactivation of *Escherichia coli* from water. **Water Science and Technology**, v. 1, p. 766-817, 2020.

SIQUEIRA, M. S. S.; SILVA, M. A. S.; SILVA, W. M. F.; LIMA, S. M. S. Viabilidade da utilização da *Moringa oleifera* como método alternativo de tratamento de água no semiárido nordestino. **Revista Acadêmico - Científica**, v. 8, n. 2, p. 1-8, 2015.

SOLEIMANI, H.; ABBASNIA, A.; YOUSEFI, M.; MOHAMMADI, A. A.; KHORASGANI, F. C. Data on assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in rural area Sarpole Zahab city, Kermanshah province, Iran. **Data in Brief**, v. 17, p. 148-156, 2018.

TAVARES, F. O.; PINTO, L. A. M.; VICENTINI, J. C. M.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Analysis of the influence of natural adsorbent functionalization (*Moringa oleifera*) for Pb(II) removal from contaminated water. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 1, p. 1-10, 2019.

TURKIEWICZ, P.; WOJDYŁO, A.; LECH, K.; TKACZ, K.; NOWICKAA, P. Influence of different drying methods on the quality of Japanese quince fruit Igor. **LWT - Food Science and Technology**, v. 114, p. 1-8, 2019.

VALVERDE, K. C.; COLDEBELLA, P. F.; SILVA, M. F.; NISHI, L.; BONGIOVAN, M. C.; BERGAMASCO, R. *Moringa oleifera* Lam. and Its potential association with aluminium sulphate in the process of coagulation/flocculation and sedimentation of surface water. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 5, p. 1-6, 2018.

VIOTTI, P. V.; MOREIRA, W. M.; SANTOS, O. A. A.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S.; VIEIRA, M. F. Diclofenac removal from water by adsorption on *Moringa oleifera* pods and activated carbon: Mechanism, kinetic and equilibrium study. **Journal of Cleaner Production**, v. 219, p. 809-817, 2019.

WEI, H.; GAO B.; REN J.; LI, A.; YANG, H. Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. **Water Research**, v. 143, p. 608-631, 2018.

YIN, C. Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, 2010.

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Ressalta-se a importância de realizar as fases de desinfecção e filtração, a fim de garantir melhores resultados para a potabilidade da água.
- A utilização do extrato de sementes moringa pode desempenhar um papel fundamental na redução da quantidade do coagulante químico necessário para obter água tratada.
- A utilização dessa semente pode ser considerada como um tratamento alternativo ao tratamento convencional, principalmente em comunidades rurais que não dispõem de sistema público de tratamento de água.
- Para fins potáveis, devem-se acrescentar as demais etapas de tratamento, de forma que os parâmetros de qualidade atendam aos valores máximos permitidos pela legislação vigente.
- Para garantir resultados mais eficientes de remoção de turbidez e cor, devem ser desenvolvidos novos estudos para aperfeiçoarem a aplicação do coagulante pelos métodos de sachê e filtro, por terem apresentado melhor desempenho, serem acessíveis e de baixo custo.