

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE
SEMENTES DE *Moringa oleifera* E TANINO COMO
AUXILIARES DA FILTRAÇÃO EM MANTAS NÃO TECIDAS**

CAMILA CLEMENTINA ARANTES

**Campinas
2010**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE
SEMENTES DE *Moringa oleifera* E TANINO COMO
AUXILIARES DA FILTRAÇÃO EM MANTAS NÃO TECIDAS**

CAMILA CLEMENTINA ARANTES

Orientador: Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

Campinas - SP

Março de 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Ar14u Arantes, Camila Clementina
Utilização de coagulantes naturais à base de
sementes de *Moringa oleifera* e tanino como
auxiliares da filtração em mantas não tecidas /
Camila Clementina Arantes. --Campinas, SP: [s.n.],
2010.

Orientador: José Euclides Stipp Paterniani.
Dissertação de Mestrado - Universidade
Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia
Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Tratamento de água. 2. Coagulantes. 3.
Filtração. 4. Saneamento rural. I. Paterniani Stipp
Euclides José. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Use of natural coagulants extracted from *Moringa
oleifera* seeds and tannins as auxiliary in the filtration in
non-woven synthetic fabrics

Palavras-chave em Inglês: Water treatment, Coagulants, Filtration, Rural
sanitation

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Rosângela Bergamasco, Ricardo de Lima Isaac

Data da defesa: 23/03/2010

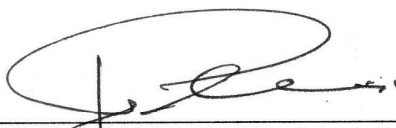
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS A BASE DE
SEMENTES DE *Moringa oleifera* E TANINO COMO
AUXILIARES DA FILTRAÇÃO EM MANTAS NÃO TECIDAS**

Camila Clementina Arantes

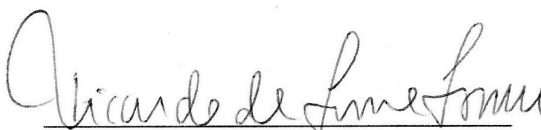
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Presidente e Orientador/ FEC-UNICAMP



Profa. Dra. Rosângela Bergamasco
Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
FEC-UNICAMP

Campinas, 23 de Março de 2010

À minha avó Camila, que mesmo tendo nos deixado tão cedo, sempre esteve presente em meu coração, com todo seu amor, bondade e simplicidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani, por todo apoio e confiança e pela excelente orientação, sempre com muita dedicação e atenção.

Aos professores Dr. Denis Miguel Roston, Dr. Ricardo de Lima Isaac e Dra. Rosângela Bergamasco pelas sugestões dadas neste trabalho.

Aos docentes da Faculdade de Engenharia Civil em especial Professor Dr. Ricardo de Lima Isaac, Professor Dr. Carlos Gomes da N. Mendes, Professor Dr. Edson Ap. Abdul Nour e Professora Dra. Regina M. Bueno Franco pelos conhecimentos transmitidos.

Às Faculdades de Engenharia Civil e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas pela oportunidade oferecida e à Capes pela concessão da bolsa de estudo.

À Tanac pela doação do coagulante Tanfloc SG.

Aos técnicos laboratoriais Gelson, Giovani e Túlio, especialmente ao Giovani pela paciência e apoio dado com grande profissionalismo, fazendo o possível para que todas as necessidades referentes a esta pesquisa fossem atendidas.

Aos meus pais, Neuza e Esaú, pela vida e valores transmitidos.

À todos meus tios que sempre me apoiam, especialmente tia Rosa, tio Elcio, tio Altamiro (saudades) e tio João. Certamente sem a participação de vocês em minha vida dificilmente este objetivo teria sido alcançado. Muito obrigada.

Aos meus irmãos, Paula, Verônica e Izaú. Apesar da distância que a vida nos impôs em determinados momentos vocês são meus grandes alicerces. Amo vocês.

Ao meu namorado Eduardo, por todo seu amor, companheirismo e incentivo. E principalmente pela paciência, compreensão e muitos conselhos nos momentos mais difíceis!

À uma turma de pessoas muito especiais, que durante este período de convivência se tornaram grandes amigos: Adriana, Monalisa, Samuel, Conan, Franciana, Danielle, Karolina, Giovani, Gaby, Douglas, Camilo, Márcio e Rhuanito. Juntos dividimos alegrias, tristezas, vitórias, dúvidas, angústias, momentos engraçados e certamente muitas risadas que tornaram a vida mais doce e alegre.

À Marina pelo auxílio na realização dos experimentos.

Às amigas Márcia Mantovani e Márcia Sant'Anna, grandes responsáveis pelo meu primeiro contato com a Moringa.

Aos funcionários do CEMEI Nair Valente da Cunha, especialmente, Celinha, Sônia, Márcia, Rose, Magali, Helloise, Lau, Iracema, Luciana, Sueli, Fernanda, Eunice, Cleuza, Sebastiana e Maria Lúcia, pelo apoio, compreensão e incentivo dado no início desta jornada.

RESUMO

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

Em pequenas comunidades e na zona rural, onde normalmente não há sistemas de abastecimento de água de forma sistematizada, alternativas devem ser criadas para promover melhoria na qualidade da água destinada ao consumo humano. O presente estudo avaliou o uso de dois coagulantes naturais (*Moringa oleifera* e tanino) aliados à filtração em mantas não tecidas com taxas de filtração típicas de filtração lenta (2 a 6 m³/m² dia). Quatro equipamentos foram testados no processamento das sementes de *Moringa oleifera*. A existência de uma possível relação linear entre a turbidez da água a ser tratada e a melhor dosagem dos coagulantes também foi avaliada. O processamento das sementes de *Moringa oleifera* em equipamentos que removeram parte do óleo presente nas mesmas resultou em solução coagulante com maiores índices de eficiência na redução de turbidez e cor aparente. Para a *Moringa oleifera* estabeleceu-se uma relação linear entre dosagem de coagulante e valor da turbidez da água afluente, cujos valores se situavam na faixa de 18 a 80 NTU. Para o tanino não foi verificada a mesma relação. A utilização dos coagulantes naturais à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração apresentou elevada eficiência na redução de turbidez e cor aparente, com valores médios na faixa de 94,9% a 99,6%. Com a utilização do tanino verificou-se que variações nas condições operacionais durante a etapa de coagulação não influenciaram os resultados da filtração. Para a *Moringa oleifera* tais variações influenciaram na redução de turbidez e cor aparente após a filtração. A realização deste trabalho demonstrou que o uso de coagulantes naturais como auxiliares da filtração em mantas não tecidas apresenta potencial para utilização, no entanto, tal tecnologia deve ser aprimorada no sentido de reduzir a carga de sólidos da solução coagulante para que se tenha carreiras de filtração mais longas.

Palavras-chave: tratamento de água, coagulantes naturais, filtração lenta, saneamento rural.

ABSTRACT

Small communities and rural areas are not provided of systematized water supplying system commonly, and alternatives must be developed to improve the water quality destined to human consumption. This research work evaluated use of two natural coagulants (*Moringa oleifera* and tannin) associated to filtration in non-woven synthetic fabrics with filtration rate typical to slow sand filtration (2 to 6 m³/m² day). Four equipments were tested on *Moringa oleifera* seeds processment. Existence of possible linear relationship between water turbidity to be filtered and better coagulants dosing also was evaluated. *Moringa oleifera* seeds processment done in equipments that removed part of present oil resulted in coagulant solution with higher efficiency indexes on turbidity reduction and apparent color. To *Moringa oleifera* was established a linear relationship between coagulant dosing and turbidity value of tributary water, which values was on range of 18 to 80 NTU. To tannin, same relation was not verified. Using of natural coagulants based of *Moringa oleifera* seeds and tannin as filtration auxiliars showed high efficiency on turbidity reduction and apparent color, with medium values on range of 94,9% to 99,6%. Using of tannin demonstrated that variations on operational conditions during coagulation step has not influenced on filtration results. In relation to *Moringa oleifera* test, variations has influenced on turbidity reduction and apparent color after filtration. This research work has demonstrated that use of natural coagulants as filtration auxiliars in non-woven synthetic fabrics shows potential to using, however, this technology must be improved objectiving reduction of solid load of the coagulant solution to obtain longer filtration run.

Keywords: water treatment, natural coagulants, slow sand filtration, rural sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição do tamanho das partículas presentes na água.....	7
Figura 2: Esquema da dupla camada elétrica e camada difusa.....	9
Figura 3. Teor de tanino de alguns tipos de casca.....	29
Figura 4. Estrutura química da molécula de tanato quaternário de amônio.	30
Figura 5. Equipamentos utilizados no processamento das sementes de <i>Moringa oleifera</i> : (a) máquina de moer, (b) pilão, (c) liquidificador e (d) mixer.	33
Figura 6. Fluxograma do processo de preparo da solução coagulante utilizando diferentes tipos de equipamentos.....	36
Figura 7. Equipamento Jar-Test utilizado na pesquisa.....	37
Figura 8. Filtro confeccionado a partir de garrafa PET com meio filtrante de mantas sintéticas não tecidas: (a) vista lateral do filtro e (b) vista superior do filtro.....	42
Figura 9. Sistema de distribuição da água dos jarros para o filtro: (a) conexão com jarros e série de registros e (b) detalhe dos registros em série.....	43
Figura 10. Vista geral do sistema de tratamento de água constituído por equipamento Jar-Test e filtro.	44
Figura 11. Remoção média de turbidez e cor aparente após 30 minutos de sedimentação.....	51
Figura 12. Análise de regressão entre a turbidez inicial média e a melhor dosagem de <i>Moringa oleifera</i>	56
Figura 13. Análise de regressão entre a turbidez inicial média e a melhor dosagem de tanino a 1%.	57
Figura 14. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10$ min. Turbidez média AB = $106,3 \pm 2,2 \text{ NTU}$	62

Figura 15. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	63
Figura 16. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Turbidez média da AB = $107,9 \pm 2,8 \text{ NTU}$	64
Figura 17. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	65
Figura 18. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Turbidez média AB = $107,5 \pm 6,3 \text{ NTU}$	67
Figura 19. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	68
Figura 20. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Turbidez média AB = $108,1 \pm 4,5 \text{ NTU}$	69
Figura 21. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	70
Figura 22. Turbidez remanescente em função do tempo de filtração para os 2 ensaios efetuados sem coagulante.	71
Figura 23. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Cor aparente média AB = $551,8 \pm 68,7 \text{ mgPtCo L}^{-1}$	73
Figura 24. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	74

Figura 25. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Cor aparente média AB = $562,0 \pm 79,4 \text{ mgPtCo L}^{-1}$	75
Figura 26. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	76
Figura 27. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Cor aparente média AB = $536,3 \pm 31,9 \text{ mgPtCo L}^{-1}$	78
Figura 28. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	79
Figura 29. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Cor aparente média AB = $520,4 \pm 33,9 \text{ mgPtCo L}^{-1}$	80
Figura 30. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$	81
Figura 31. Cor aparente remanescente em função do tempo de filtração para os 2 ensaios efetuados sem coagulante.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais agentes biológicos capazes de causarem doenças de veiculação hídrica e sintomas de tais doenças.	6
Tabela 2. Sedimentabilidade das partículas suspensas e coloidais.	8
Tabela 3. Principais vantagens e limitações relacionadas à filtração lenta em relação a sistemas convencionais de tratamento de água.	18
Tabela 4. Condições operacionais adotadas para execução das etapas de coagulação, floculação e sedimentação da água a ser tratada utilizando as 6 soluções coagulantes à base de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	38
Tabela 5. Dosagens de solução à base de sementes de <i>Moringa oleifera</i> e tanino testadas para os diferentes valores de turbidez adotados.	40
Tabela 6. Parâmetros adotados durante as etapas de coagulação e floculação.	45
Tabela 7. Dosagem de bentonita utilizada para obtenção da turbidez final.	47
Tabela 8. Valores de turbidez obtidos durante a sedimentação em função do equipamento utilizado. Turbidez média AB = $103 \pm 3,61$ NTU; DMO = 500 mg L^{-1} ; C = 2%; Gmr = 800 s^{-1} ; Tmr = 60 s; Gml = 40 s^{-1} e Tml = 10 min.	49
Tabela 9. Valores de cor aparente obtidos durante a sedimentação em função do equipamento utilizado. Cor aparente média AB = $558 \pm 32,5$ mgPtCo L^{-1} ; DMO = 500 mg L^{-1} ; C = 2%; Gmr = 800 s^{-1} ; Tmr = 60 s; Gml = 40 s^{-1} e Tml = 10 min.	50
Tabela 10. Valores de turbidez obtidos após a sedimentação da água tratada com diferentes dosagens de solução à base de sementes de <i>Moringa oleifera</i> 2% em função da turbidez da água bruta. Gmr = 800 s^{-1} ; Tmr = 60 s; Gml = 40 s^{-1} ; Tml = 10 min.	53
Tabela 11. Valores de turbidez obtidos após a sedimentação da água tratada com diferentes dosagens de tanino 1% em função da turbidez da água bruta. Gmr = 800 s^{-1} , Tmr = 60 s, Gml = 40 s^{-1} , Tml = 10 min.; TS = 30 min.	55

Tabela 12. Melhores dosagens de solução à base de sementes de <i>Moringa oleifera</i> e tanino para os valores de turbidez testados.....	56
Tabela 13. Taxa de filtração média e tempo de filtração em função da dosagem de coagulante e das condições operacionais adotadas durante etapas precedentes à filtração.....	59
Tabela 14. Valores médios, máximos e mínimos de remoção turbidez ao longo da filtração para as diferentes condições de ensaio em função da dosagem de coagulante adotada. Turbidez média AB = $107,4 \pm 4,1$ NTU.....	84
Tabela 15. Valores médios de remoção de cor aparente ao longo da filtração para as diferentes condições de ensaio em função da dosagem de coagulante adotada. Cor aparente média AB = 543 ± 57 mgPtCo L ⁻¹	86
Tabela 16. Valores de pH da água bruta e valores máximos e mínimos observados durante a filtração para os diferentes ensaios em função da dosagem de coagulante. .	88
Tabela A1. Valores de pH observados nos ensaios da 1ª fase.....	103
Tabela A2. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 1 da 3ª fase.....	103
Tabela A3. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 2 da 3ª fase.....	104
Tabela A4. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 3 da 3ª fase.....	104
Tabela A5. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 4 da 3ª fase.....	105
Tabela A6. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 1 da 3ª fase	105
Tabela A7. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 2 da 3ª fase.....	106
Tabela A8. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 3 da 3ª fase....	106
Tabela A9. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 4 da 3ª fase...	107

Tabela A10. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 1 da 3ª fase.....	107
Tabela A11. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 2 da 3ª fase.....	108
Tabela A12. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 3 da 3ª fase.....	108
Tabela A13. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 4 da 3ª fase.....	109
Tabela A14. Valores de turbidez, cor aparente e pH da água filtrada sem adição de coagulante.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Água Bruta com turbidez obtida sinteticamente
C	Concentração
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente
DMO	Dosagem de <i>Moringa oleifera</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
Gml	Gradiente médio de velocidade da mistura lenta
Gmr	Gradiente médio de velocidade da mistura rápida
LIQ	Solução obtida por processamento das sementes no liquidificador
MIX	Solução obtida por processamento das sementes no mixer
MO	<i>Moringa oleifera</i>
MP	Solução preparada com pó obtido na máquina após peneiramento
MS	Ministério da Saúde
MSP	Solução preparada com pó obtido na máquina sem peneiramento
PAC	Cloreto de Polialumínio
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PP	Solução preparada com pó obtido no pilão após peneiramento
PSP	Solução preparada com pó obtido na máquina sem peneiramento
Tml	Tempo de mistura lenta
Tmr	Tempo de mistura rápida
TS	Tempo de Sedimentação
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2.1. Objetivo Geral.....	4
2.2. Objetivos Específicos.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Água e qualidade de vida	5
3.2. Impurezas presentes na água	7
3.2.1. Partículas Coloidais.....	8
3.3. Coagulação.....	10
3.3.1. Compressão da Camada Difusa	11
3.3.2. Adsorção e Neutralização de Carga.....	12
3.3.3. Varredura	12
3.3.4. Adsorção e Formação de Pontes.....	13
3.4. Floculação	13
3.5. Sedimentação/Decantação.....	15
3.6. Filtração Lenta	16
3.6.1. Uso de mantas sintéticas não tecidas.....	19
3.7. Coagulantes Naturais	21
3.7.1. <i>Moringa oleifera</i>	22

3.7.2. Tanino	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1. Fase 1 - Definição do equipamento para o processamento das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	32
4.1.1. Preparo do pó de <i>Moringa oleifera</i> e da solução coagulante	34
4.1.1.1. Preparo do pó utilizando máquina de moer	34
4.1.1.2. Preparo do pó utilizando pilão	34
4.1.1.3. Preparo da solução coagulante a partir do pó de <i>Moringa oleifera</i>	35
4.1.1.4. Preparo da solução coagulante diretamente no liquidificador e mixer	35
4.1.2. Ensaio de Jar-Test com soluções obtidas a partir dos diferentes tipos de processamento	37
4.2. Fase 2 - Avaliação da possível relação entre valores de turbidez e dosagem de coagulante para <i>Moringa oleifera</i> e tanino	38
4.3. Fase 3: Utilização dos coagulantes naturais <i>Moringa oleifera</i> e tanino como auxiliares da filtração lenta	41
4.4. Preparo da água com níveis de turbidez obtidos sinteticamente	46
4.5. Parâmetros avaliados	47
4.6. Análise dos dados	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1. Fase 1 - Definição do equipamento para o processamento das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	48
5.2. Fase 2: Avaliação da possível relação entre valores de turbidez e dosagem de coagulante para <i>Moringa oleifera</i> e tanino	52
5.3. Fase 3: Utilização dos coagulantes naturais <i>Moringa oleifera</i> e tanino como auxiliares da filtração lenta	58
5.3.1. Redução de turbidez	60

5.3.1.1. Ensaio 1.....	61
5.3.1.2. Ensaio 2.....	64
5.3.1.3. Ensaio 3.....	66
5.3.1.4. Ensaio 4.....	68
5.3.1.5. Ensaio sem adição de coagulante.....	70
5.3.2. Redução de cor aparente.....	72
5.3.2.1. Ensaio 1.....	72
5.3.2.2. Ensaio 2.....	75
5.3.2.3. Ensaio 3.....	77
5.3.2.4. Ensaio 4.....	80
5.3.2.5. Ensaio sem adição de coagulante.....	82
5.3.3. Comparação entre os dois coagulantes utilizados.....	83
5.3.4. pH.....	87
5.3.5. Considerações finais.....	89
6. CONCLUSÕES.....	90
7. RECOMENDAÇÕES.....	92
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
Apêndice A – Valores de pH, turbidez e cor aparente.	102

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos essenciais à manutenção da vida na Terra e está relacionada à grande parte das atividades humanas. Devido fenômenos naturais ou a interferência humana a água pode ter sua qualidade alterada e em determinadas situações apresentar risco à saúde se consumida em condições inadequadas, atuando como um veículo para microrganismos e substâncias prejudiciais a saúde humana. Desta forma, a água destinada ao consumo humano deve atender padrões de potabilidade, não oferecendo risco a saúde do consumidor.

A disponibilidade de fontes hídricas que apresentem boa qualidade tem diminuído consideravelmente, principalmente em função da interferência humana no meio. Despejos de efluentes domésticos e industriais, desmatamento de encostas e matas ciliares, práticas agrícolas que provocam erosão do solo, uso de fertilizantes e defensivos agrícolas na agricultura, falta de gerenciamento adequado de resíduos sólidos são alguns dos problemas que tem comprometido a qualidade dos corpos d'água em geral.

Desta forma, a água destinada ao consumo humano deve ter sua qualidade avaliada e com base em tais dados é definida a necessidade e o nível de tratamento a que tal água deve ser submetida. Os sistemas e técnicas de tratamento de água são os grandes responsáveis pela adequação da qualidade da água de um determinado manancial aos padrões de potabilidade.

Atualmente o que se tem observado com relação ao saneamento no Brasil são políticas setoriais predominantemente urbanas. As medidas tomadas com relação ao saneamento rural são medidas descentralizadas, sem a existência de um programa sólido com diretrizes a serem seguidas. Determinadas medidas são tomadas levando em consideração premissas que tornam o sistema insustentável a longo prazo, como a convicção de que apenas a implantação do sistema resolve o problema, sem a preocupação com a operação e manutenção do mesmo. Outra questão é a falsa concepção de que os investimentos devem provir exclusivamente de recursos públicos,

sem levar em consideração que a população, mesmo que com poucos recursos financeiros, deve ser incluída no financiamento do sistema.

Questões específicas devem ser levadas em consideração na implantação de sistemas de tratamento de água e esgoto em regiões rurais, como a dispersão de tais comunidades, que dificulta ou até mesmo inviabiliza a implantação de sistemas em larga escala. Além de serem dispersas, o que por si só torna a implantação destes sistemas mais caros, geralmente as populações residentes nestas localizações são as mais pobres. Desta forma, os sistemas considerados adequados para estas regiões devem apresentar baixo custo de implantação e manutenção, além de apresentarem fácil manutenção, evitando o abandono futuro do sistema. Como a própria comunidade deve estar envolvida na implantação do sistema, pois sua operação depende da correta manutenção efetuada pelos usuários, deve-se optar por tecnologias que atendam a qualidade da água requerida, porém que apresente uma concepção simples para que seja possível a compreensão do funcionamento do sistema por parte da população. Os materiais utilizados além de apresentarem baixo custo, devem ser de fácil acesso para a localidade em questão.

As principais alternativas adotadas para o tratamento de água na zona rural são: filtração lenta, utilização de coagulantes naturais, adoção de desinfecção solar ou cloração, além de alternativas mais simples, como fervura da água e uso de filtros cerâmicos com as tradicionais velas cerâmicas. A escolha do tratamento a ser adotado deve ser feita em função das características da água a ser tratada e da viabilidade econômica do tratamento em questão, principalmente em regiões pouco desenvolvidas, carentes de recursos econômicos e tecnológicos.

Diversas plantas apresentam substâncias que podem contribuir para a melhoria da qualidade da água, agindo como coagulante e sendo responsáveis pela remoção de impurezas e microrganismos presentes na água. Dentre tais substâncias tem se proteínas extraídas das sementes de *Moringa oleífera* e os taninos, que são compostos fenólicos extraídos de determinadas espécies vegetais. Outra alternativa de tratamento de água em regiões rurais é a filtração lenta, uma técnica bastante antiga, que apresenta bons resultados e relativo baixo custo de implantação.

Com o uso de coagulantes naturais aliado à filtração lenta, é possível que ocorra com maior facilidade a retenção das impurezas presentes na água a ser tratada, principalmente microrganismos e partículas coloidais, tendo em vista que os coagulantes são responsáveis pela desestabilização e agregação destas partículas. Deste modo, o presente trabalho objetivou avaliar a eficiência da utilização de coagulantes naturais em um filtro de bancada com meio filtrante constituído por mantas sintéticas não tecidas adotando taxa de filtração típica dos sistemas de filtração lenta.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Investigar em escala de bancada o uso de tanino e *Moringa oleifera* - coagulantes naturais - como auxiliares da filtração em mantas sintéticas não tecidas para tratamento de água.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a eficiência do coagulante extraído das sementes de *Moringa oleifera* e do coagulante à base de tanino líquido para a clarificação de água por meio da redução de turbidez e cor aparente.
- Comparar a eficiência entre os coagulantes estudados.
- Avaliar a influência dos parâmetros envolvidos no processo de coagulação, como: gradientes de velocidade de agitação e tempo de agitação e relacionar com a eficiência da filtração lenta em mantas não tecidas.
- Estudar um método prático para a obtenção da solução coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera*.
- Obter uma curva que forneça as melhores dosagens dos dois coagulantes estudados para diferentes valores de turbidez da água bruta.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água é um elemento essencial para a existência e manutenção da vida na terra, sendo um dos constituintes mais abundantes na matéria viva. Devido a sua aparente abundância na natureza a água já chegou a ser considerada um recurso inesgotável, no entanto devido ao uso indiscriminado, a poluição dos recursos hídricos e a crescente demanda por esse recurso a disponibilidade de água limpa e potável vem diminuindo consideravelmente. Em águas destinadas ao consumo humano determinadas substâncias, elementos químicos e microrganismos devem ser eliminados ou reduzidos a concentrações que não sejam prejudiciais a saúde humana (DI BERNARDO, 2005). Processos de tratamento são adotados com o objetivo de remover impurezas presentes na água e adequá-la aos padrões de potabilidade, sendo coagulação, floculação, decantação e filtração os processos mais adotados.

3.1. Água e qualidade de vida

Na água estão presentes diversos microrganismos que desempenham funções de fundamental importância, principalmente as relacionadas com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos (VON SPERLING, 1996). Porém, determinados agentes biológicos quando presentes na água podem causar doenças de veiculação hídrica ao homem quando o mesmo consome água nestas condições, conforme mostra a Tabela 1.

A falta de acesso aos serviços de saneamento tem gerado graves consequências na qualidade de vida da população, principalmente aquela mais pobre, residente na zona rural, periferia das grandes cidades ou nas pequenas e médias cidades do interior. Dessa população mais diretamente afetada, as crianças correspondem à parcela que mais sofre. Segundo o Relatório de Desenvolvimento Humano de 2006 a falta de acesso à água e de saneamento mata uma criança a cada 19 segundos no mundo, em decorrência de diarreia. A utilização do soro caseiro, uma

das principais armas para evitar a diarreia, só faz o efeito desejado se a água utilizada no preparo for limpa.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, saúde é definida como completo bem estar físico, mental e social e não somente a ausência de doenças, sendo que hoje a atuação sobre os fatores determinantes da saúde é tão importante quanto às ações de prevenção e assistência (FUNASA, 2006). Já o saneamento é definido como o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem ser nocivos sobre seu bem estar físico, mental e social. Desta forma o saneamento pode ser entendido como um instrumento de promoção da saúde e para que isto seja possível, em áreas rurais, municípios e localidades de pequeno porte, entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que tem dificultado a extensão dos benefícios aos residentes nestas localidades devem ser superados (FUNASA, 2006).

Tabela 1. Principais agentes biológicos capazes de causarem doenças de veiculação hídrica e sintomas de tais doenças (VON SPERLING, 1996).

Doença	Agente Causal	Sintomas
Disenteria bacilar	<i>Shigella dysenteriae</i> (Bactéria)	Forte diarreia.
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i> (Bactéria)	Diarreia extremamente forte, desidratação, alta taxa de mortalidade.
Leptospirose	<i>Leptospira</i> spp (Bactéria)	Icterícia, febre.
Salmonelose	<i>Salmonella</i> spp (Bactéria)	Febre, náusea, diarreia.
Febre tifóide	<i>Salmonella typhi</i> (Bactéria)	Febre elevada, diarreia, ulceração do intestino delgado.
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i> (Protozoário)	Diarreia prolongada, com sangramento, abscessos no fígado e intestino fino.
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i> (Protozoário)	Diarreia leve a forte, náusea, indigestão, flatulência.
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium</i> spp (Protozoário)	Diarreia severa.
Hepatite infecciosa	Vírus da hepatite A	Icterícia, febre.
Gastroenterites	Enterovírus, parvovírus, rotavírus	Diarreia leve a forte.

3.2. Impurezas presentes na água

Devido a sua propriedade de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, a água incorpora a si diversas partículas e componentes que podem alterar seu grau de pureza (VON SPERLING, 1996). Em águas superficiais, podem ser encontradas as seguintes impurezas: sólidos dissolvidos em forma ionizada, gases dissolvidos, compostos orgânicos dissolvidos e matéria em suspensão, tais como, microrganismos (bactérias, algas, e fungos) e colóides (PAVANELLI, 2001).

As partículas podem ser classificadas de acordo com seu tamanho e quanto à forma que estão distribuídas em dissolvidas, coloidais e suspensas, conforme mostra a Figura 1. Partículas em suspensão têm tamanhos que variam de 10^{-3} mm a 10^{-1} mm (PAVANELLI, 2001), podem ser vistas com auxílio de microscópio comum ou a olho nú, podendo ser retidas em papel filtro utilizado em análises laboratoriais e são passíveis de sedimentação espontânea (RAMOS, 2005).

Na faixa com tamanhos entre 10^{-6} mm a 10^{-3} mm encontram-se as partículas coloidais, que devido ao tamanho reduzido levariam um tempo muito longo para sedimentar, impossibilitando sua remoção somente por sedimentação (PAVANELLI, 2001).

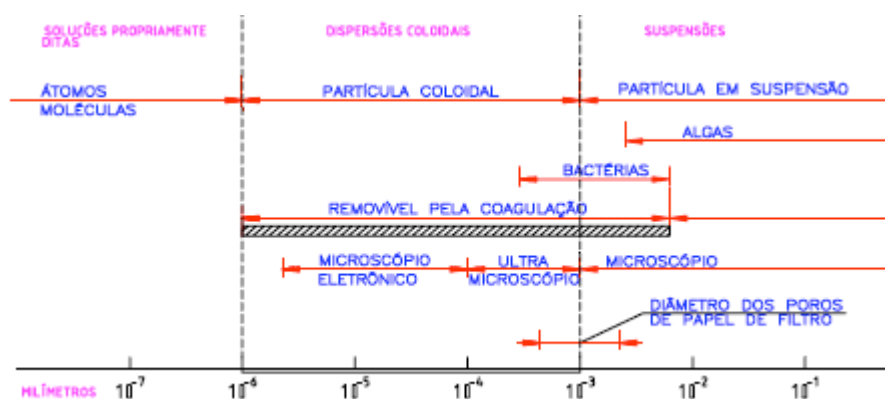


Figura 1. Distribuição do tamanho das partículas presentes na água (CEPIS, 1973 *apud* PAVANELLI, 2001).

Partículas coloidais, substâncias húmicas e organismos em geral apresentam carga superficial negativa, impedindo que os mesmos se aproximem uns dos outros, permanecendo no meio por longo tempo se suas características não forem alteradas (DI BERNARDO, 2005). Por meio de adição de produtos químicos como sais de alumínio e ferro ou polímeros é possível alterar a força iônica do meio, desestabilizando as partículas e permitindo que ocorra contato entre as mesmas, formando flocos que posteriormente podem ser removidos por filtração, flotação ou sedimentação.

A Tabela 2 mostra a velocidade de sedimentação de determinadas partículas em função do seu tamanho, calculada para uma temperatura de 20°C e massa específica de 2650 kg/m³ (DI BERNARDO, 1993). Determinadas partículas apresentam velocidade de sedimentação extremamente baixa, sendo inviável sua remoção por simples sedimentação.

Tabela 2. Sedimentabilidade das partículas suspensas e coloidais (DI BERNARDO, 1993).

Tamanho da Partícula (mm)	Tipo	Velocidade de Sedimentação (mm/s)
10 ⁻¹	Areia Fina	7,9 x 10 ⁹
10 ⁻²	Silte	1,5 x 10 ⁻¹
10 ⁻³	Bactéria	1,5 x 10 ⁻³
10 ⁻⁴	Colóide	1,5 x 10 ⁻⁵
10 ⁻⁵	Colóide	1,5 x 10 ⁻⁶

3.2.1. Partículas Coloidais

Em um sistema bifásico (sólido-líquido) com uma grande concentração de partículas coloidais, ocorre aproximação e choques entre as partículas devido ao movimento browniano, permitindo uma interação entre as camadas difusas (Figura 2), fazendo com que ocorra atração devido à força de van der Waals e repulsão devido à força eletrostática (PAVANELLI, 2001).

O movimento browniano foi proposto por Brown em suspensões de grãos de pólen, tendo sido observado um bombardeio das partículas dispersas pelas moléculas da fase dispersante. Tal bombardeio é constante, pois a agitação na fase dispersante sempre existe, provocando um movimento desordenado das partículas. Sob esta ação as partículas se mantêm em suspensão, não se sedimentando.

A presença de cargas negativas na superfície dos colóides possibilita acúmulo de íons positivos na região da interface (sólido-líquido) formando, juntamente com a carga negativa da partícula a camada compacta (DI BERNARDO, 2005), conforme mostra a Figura 2. Íons negativos e positivos são atraídos pela camada compacta, formando uma camada difusa que engloba também a primeira (DI BERNARDO, 2005).

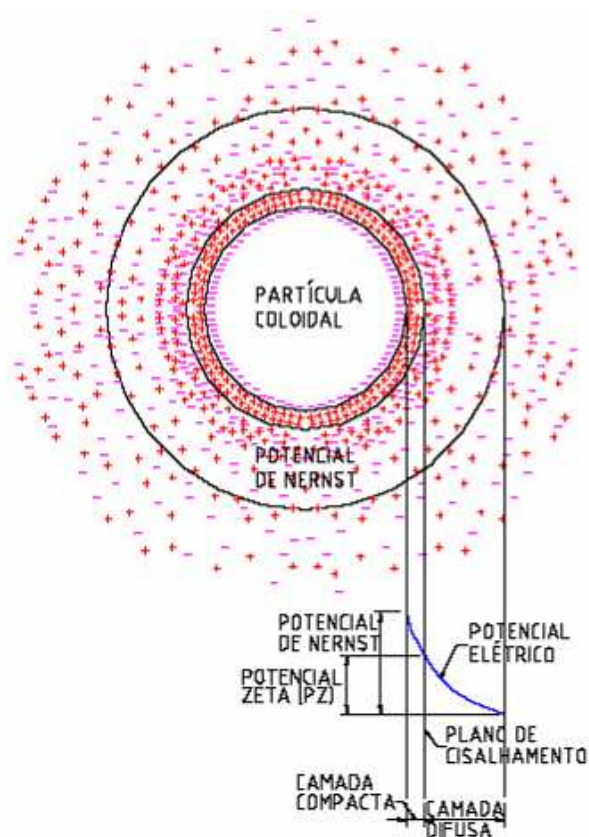


Figura 2: Esquema da dupla camada elétrica e camada difusa. (PAVANELLI, 2001).

O aumento da força iônica no meio, ou adição de íons, ocasionam a compressão da camada difusa (LIBÂNIO, 2008), ou seja, o aumento no número de

íons fará com que o volume da camada difusa seja reduzido (diminuição da espessura) para que a mesma se mantenha eletricamente neutra (DI BERNARDO, 2005). Essa redução provoca redução do potencial elétrico em torno da partícula e nesta situação as forças de van der Waals são dominantes, eliminando a estabilização eletrostática (DI BERNARDO, 2005).

Por meio do potencial zeta determina-se a carga eletrostática superficial das partículas coloidais presentes na água. Sua medida pode ser considerada como um bom índice para medir a magnitude das interações repulsivas entre tais partículas (PAVANELLI, 2001).

A coagulação tem como objetivo reduzir o potencial zeta por meio de fornecimento de íons presentes nos coagulantes a tal ponto que se consiga a união de partículas coloidais, produzindo flocos (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1977). Ou seja, reduzindo o potencial zeta reduz-se a repulsão que há entre as partículas e consequentemente as mesmas não apresentaram oposição em se unir umas as outras.

3.3. Coagulação

“A coagulação, geralmente realizada com sais de alumínio e ferro, resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva. O segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água” (DI BERNARDO, 2005).

Durante a etapa de coagulação ocorre a desestabilização das cargas negativas presentes na superfície das partículas. Para que isto ocorra é necessário que seja efetuada mistura rápida, que pode variar desde décimos de segundos a cerca de 100 segundos (DI BERNARDO, 2005) permitindo que haja contato do coagulante com todo o volume de água.

Na etapa de coagulação deve-se levar em consideração a presença de dois tipos de colóides, aqueles existentes na suspensão e que se deseja desestabilizar e os

que se formam ao se adicionar o coagulante (CEPIS, 1981). Ainda, segundo o referido autor a mistura do coagulante à água provoca hidrólise do coagulante e desestabilização das partículas em suspensão, formando compostos químicos que se polimerizam. A presença dos coagulantes implica na existência de hidróxidos denominados gel, produzindo na solução, íons positivos. Tais íons desestabilizarão as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, por meio da redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, permitindo a aglomeração das partículas e, conseqüentemente, a formação dos flocos.

Em sistemas de tratamento com etapa de coagulação química o desempenho da tecnologia de tratamento adotada depende essencialmente desta etapa, que se acaso for ineficiente resulta não retenção das impurezas nos meios granulares em caso de filtração direta (DI BERNARDO, 1993).

A coagulação pode ocorrer por quatro mecanismos diferentes, sendo eles: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, e adsorção e formação de pontes.

3.3.1. Compressão da Camada Difusa

Por meio deste mecanismo de coagulação ocorre a desestabilização das partículas coloidais através da adição de íons de carga contrária à das partículas coloidais. Segundo Di Bernardo (2005), Schulze e Hardy por volta de 1900 utilizando a teoria DLVO mostraram que interações eletrostáticas são responsáveis pela desestabilização de um colóide: íons da mesma carga são repelidos e os de carga contrária, atraídos pelo colóide e que quanto maior a carga do íon positivo, menor a carga necessária para que ocorra coagulação. Ao desestabilizar colóides negativos, as concentrações molares dos metais Na^+ , Ca^{++} e Al^{+++} variam de 1000:100:1 (DI BERNARDO, 1993). A teoria DLVO é originada das pesquisas dos cientistas russos Derjaguin e Landau e dos cientistas holandeses Verwey e Overbeek e sugere que a estabilidade de uma suspensão coloidal pode ser descrita pela interação total resultante

das contribuições das interações atrativas (força de van der Waals) e repulsivas (forças da Dupla Camada Elétrica) (PAVANELLI, 2001).

A elevação do número de íons na água acarretará em um acréscimo do número de íons na camada difusa, que terá seu volume reduzido para se manter eletricamente neutra, de modo que as forças de van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática (DI BERNARDO, 2005).

3.3.2. Adsorção e Neutralização de Carga

De acordo com Di Bernardo (2005), neste mecanismo, a desestabilização de uma dispersão coloidal é resultado de interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente. Em uma faixa específica de pH há formação de diversas espécies hidrolisadas de carga positiva que podem se adsorvidas na superfície das partículas (LIBÂNIO, 2008) ocasionando desestabilização de tais partículas.

Tal mecanismo é desejado quando o tratamento realizado após a coagulação for filtração direta, pois não há necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio filtrante (DI BERNARDO, 2005).

3.3.3. Varredura

Neste mecanismo dependendo da quantidade de sal metálico adicionada (coagulante), do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água, poderá ocorrer a formação de precipitados do tipo hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_{3+}$, hidróxido de ferro $\text{Fe}(\text{OH})_{3+}$, ou outros, dependendo do coagulante utilizado (DI BERNARDO, 2005). Tais precipitados são capazes de envolver as partículas coloidais.

O mecanismo de varredura é bastante utilizado em estações de tratamento em que se tem a floculação e sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos

resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação relativamente altas se comparadas aos flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização (DI BERNARDO, 2005).

3.3.4. Adsorção e Formação de Pontes

Polímeros orgânicos naturais ou sintéticos podem ser utilizados como auxiliares de floculação, reduzindo a dosagem de coagulante a ser utilizada (LIBÂNIO, 2008). Estes polímeros são caracterizados por possuírem cadeias longas e apresentar sítios ionizáveis ao longo de suas cadeias, podendo ser classificados como catiônico, aniônico, não iônico e anfótero (DI BERNARDO, 2005).

O mecanismo de coagulação por meio destes polímeros ocorre através de atrações eletrostáticas entre as partículas das impurezas e os sítios desequilibrados eletricamente, formando agregados (flocos) com ligações químicas do tipo pontes de hidrogênio ou similar, provocando a estabilidade de todas as partículas que estão dispersas na água (estabilização estérica) (BORBA, 2001).

3.4. Floculação

Após desestabilização das partículas promovida pela coagulação, tem-se o processo de floculação. Nesta etapa através do fornecimento de condições adequadas em termos de tempo de detenção e gradiente de velocidade promove-se choques entre partículas já desestabilizadas, objetivando a formação de flocos que serão removidos posteriormente (LIBÂNIO, 2008). Esta condição faz com que os pequenos flocos e as partículas se agrupem formando partículas com massa mais elevada, passíveis de sedimentação. Por serem os parâmetros que definem a densidade e tamanho dos flocos, o gradiente de velocidade e o tempo de mistura, aliados aos intervenientes no processo de coagulação são os principais fatores da eficiência da floculação (RAMOS, 2005).

O gradiente de velocidade fornecido deve tornar possível o choque entre as partículas, no entanto deve-se evitar a ruptura dos flocos devido à promoção de choques. Mendes (1989) *apud* Ramos (2005) verificou que há uma relação entre o gradiente e o tempo de mistura. Para cada tempo de floculação estudado pelo autor foi constatado que havia um único gradiente de velocidade com o qual se obtinha a maior remoção de turbidez e cor da água bruta por sedimentação. Além disso, observou-se que o gradiente ótimo diminuía à medida que aumentava o tempo de floculação. Desta forma, constatou-se que o desempenho da floculação depende do balanço de dois fenômenos que se opõem: a agregação e a ruptura dos flocos (RAMOS, 2005).

O principal objetivo da floculação é obtenção de flocos com características favoráveis a sua remoção na etapa de tratamento posterior, que pode ser: decantação, com ocorrência de sedimentação dos flocos; filtração direta, onde os flocos devem se aglutinar de maneira propícia a serem removidos nos materiais filtrantes, não havendo necessidade de obtenção de flocos grandes ou densos; ou flotação ocorrendo aderência dos flocos às microbolhas de ar, ganhando empuxo, para posterior remoção na superfície por raspadores (MENDES, 2008).

O processo de floculação pode ser classificado em função do mecanismo de transporte para a formação dos flocos, podendo ocorrer três tipos de movimentos: pericinético, ortocinético e sedimentação diferenciada. A floculação pericinética ocorre quando o movimento das partículas é causado pelo movimento browniano; a ortocinética ocorre devido à imposição de gradientes de velocidade a água por movimento através de agitadores hidráulicos ou mecanizados (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991; CEPIS, 1981). Nos movimentos de sedimentação diferenciada flocos de diferentes velocidades de sedimentação podem se chocar proporcionando a agregação em flocos maiores (MENDES, 2008).

3.5. Sedimentação/Decantação

Segundo Richter & Azevedo Netto, (1991) a sedimentação é um dos processos mais comumente adotado no tratamento de água para remoção de partículas sólidas em suspensão, no entanto determinadas partículas com tamanho reduzido ou com densidade muito próxima a da água podem não ser removidas por sedimentação, sendo removidas na etapa de filtração. Na sedimentação os flocos já com tamanho aumentado tendem pela ação da gravidade a sedimentar, resultando na clarificação da água pela separação das fases sólida e líquida (DI BERNARDO, 1993).

Quando a utilização exclusiva de coagulantes não é suficiente para a formação de flocos suficientemente densos para que ocorra sedimentação, auxiliares de floculação (polieletrólitos) são adotados (RAMOS, 2005).

A decantação pode ser classificada de acordo com a concentração e a tendência das partículas interagirem, podendo ocorrer sedimentação discreta ou sedimentação floculenta, (CEPIS, 1981).

- **Sedimentação discreta:** Neste tipo de sedimentação admite-se que durante tal processo as partículas não têm sua densidade, tamanho e formato alterados (CEPIS,1981). Admite-se também que as partículas são independentes umas das outras, decantando como entidades individuais, sem a interação com partículas vizinhas e com velocidade de sedimentação constante.
- **Sedimentação floculenta:** Cepis (1981) considera que este fenômeno seja o mais completo para descrever a sedimentação, considerando que a velocidade de sedimentação das partículas não é constante, aumentando com o tempo devido ao aumento do tamanho das partículas. A dimensão física da partícula é alterada durante o processo de sedimentação, devido a encontros e agregação entre partículas, desta forma ocorre uma variação na velocidade de sedimentação das partículas, sendo que ao longo da sedimentação a trajetória das partículas sofre alterações (MENDES, 2008).

3.6. Filtração Lenta

O uso da filtração para clarificação da água é noticiado desde o século XVI (DI BERNARDO, 1993). Para o referido autor a utilização de filtração como parte do tratamento de água para consumo humano provavelmente surgiu como resultado da observação da limpidez da água subterrânea, tendo tal fato sido atribuído à passagem da mesma pelos solos naturais. Os primeiros sistemas de tratamento de água utilizando a filtração foram construídos no início do século XIX, sendo que na Escócia Jonh Gibb construiu um filtro de areia para atender uma indústria de branqueamento e na Inglaterra James Simpson projetou e construiu um sistema de filtração lenta para a companhia de abastecimento de Londres, e em meados do século XIX Londres contava com oito sistemas de tratamento de água envolvendo filtração lenta (DI BERNARDO, 1993).

Um dos grandes fatos que evidenciaram a eficiência da filtração lenta na melhoria da qualidade da água deu-se em um episódio ocorrido em 1892 nas cidades de Hamburgo e Altona. Hamburgo e Altona, duas comunidades vizinhas situadas na Alemanha utilizavam águas do rio Elba como fonte de abastecimento. O tratamento em Hamburgo consistia apenas de sedimentação simples, já em Altona havia filtros lentos de areia. Uma contaminação no rio Elba provocou a morte de 7500 pessoas em Hamburgo, não ocorrendo o mesmo em Altona (DI BERNARDO, 1993).

Atualmente ainda existem grandes sistemas de tratamento de água utilizando filtração lenta na Europa, principalmente na Inglaterra. No Brasil tal tecnologia foi adotada em algumas cidades até a década de 60, no entanto devido à degradação da qualidade dos mananciais a maioria destas instalações foram convertidas em sistemas de tratamento completo (DI BERNARDO, 1993; MURTHA & HELLER, 2003) tendo em vista que a aplicabilidade da filtração lenta é limitada pelas características físico-químicas da água bruta. No entanto, mesmo com o desenvolvimento de pesquisas que sanaram determinadas limitações relacionadas ao uso da filtração lenta, ainda há uma grande resistência à adoção destes sistemas no Brasil, seja pelo desconhecimento da

tecnologia ou pelo conceito equivocado de que sistemas eficientes são aqueles considerados modernos.

A filtração lenta é um processo que não requer uso de coagulantes, opera com baixas taxas de filtração e utiliza meio filtrante de granulometria fina, sendo considerado um sistema que apresenta elevada eficiência na redução de bactérias, vírus e cistos de *Giardia* (DI BERNARDO, 1999). Devido à baixa taxa de filtração, na superfície da areia forma-se uma película gelatinosa constituída por partículas inertes, matéria orgânica e microrganismos como bactérias, algas e protozoários, denominada *schmutzdecke*. Segundo Di Bernardo (1999) a eficiência da filtração lenta está relacionada ao adequado amadurecimento do filtro, ou seja, ao desenvolvimento do *schmutzdecke* e à maturidade biológica do meio filtrante, sendo que este amadurecimento pode levar de dias até meses, em função da qualidade da água e dos procedimentos adotados durante a limpeza. Somente após a formação do *schmutzdecke* é que ocorre produção de efluente com qualidade satisfatória.

A redução de microrganismos em filtros lentos é atribuída aos seguintes fatores: decaimento natural, devido à hostilidade do ambiente para esses microrganismos; predação; efeito biocida da radiação solar; e a adsorção dos microrganismos no biofilme aderido ao meio filtrante (HAARHOFF E CLEASBY, 1991 *apud* DI BERNARDO, 1999). Murtha & Heller (2003) observaram remoção média de 2 a 3 log de coliformes totais em filtros piloto tratando água sintética à base de argila e esgoto. Em um sistema de filtração lenta tratando efluentes domésticos provenientes de reatores anaeróbios e leitos cultivados Marrara (2005) obteve eficiência de remoção de 1 log para coliformes totais. Deve-se considerar que este tipo de efluente apresenta elevada carga patogênica.

De acordo com Di Bernardo (1999) “o desempenho dos filtros lentos na remoção de microrganismos depende da taxa de filtração (remoção diminui com o aumento da taxa), da temperatura (menores temperaturas resultam em menores remoções), da espessura do meio filtrante (o meio mais espesso tende ser mais eficiente), do tamanho dos grãos de areia (maior granulometria resulta em menor

remoção), da idade da *shmutzdecke* e da maturidade microbiológica do meio filtrante, entre outros”.

Na Tabela 3 estão descritas as principais vantagens e limitações relacionadas à filtração lenta em relação aos sistemas convencionais de tratamento de água.

Tabela 3. Principais vantagens e limitações relacionadas à filtração lenta em relação a sistemas convencionais de tratamento de água. Adaptado de Manz (2004), Di Bernardo (1999).

Vantagens	Limitações
Simplicidade de construção, operação e manutenção, não exigindo operadores altamente qualificados.	Baixa taxa de filtração e consequentemente necessidade de grandes áreas para construção e necessidade de vazão contínua para preservar o <i>schmutzdecke</i> .
Eficácia na remoção bactérias, vírus, cistos de <i>Giardia</i> e partículas em suspensão.	Limitações para remover partículas coloidais e compostos orgânicos dissolvidas e restrições quanto à qualidade da água bruta que não deve ter cor e turbidez elevadas.
Não necessita uso de produtos químicos.	Limpeza dos filtros representa o maior gasto na manutenção do sistema, sendo bastante trabalhosa.

Com relação às vantagens deve-se destacar que pelo fato do sistema de filtração lenta ser considerado um sistema com simplicidade operacional e não exigir mão de obra qualificada em determinadas situações esta tecnologia se torna ineficiente em função da operação inadequada ou da falta de manutenção.

As limitações relacionadas à qualidade da água bruta e custo referente à limpeza dos filtros foram recentemente sanadas com a adoção de sistemas de pré-

filtração em pedregulho antecedendo a filtração lenta e com o emprego de mantas sintéticas não tecidas instaladas no topo da camada de areia dos filtros lentos (DI BERNARDO, 1993).

3.6.1. Uso de mantas sintéticas não tecidas

Por milhares de anos a única forma conhecida para obtenção de tecidos era por tecelagem ou malharia (REWALD, 1999 *apud* FERRAZ, 2001). Uma nova classe de estrutura têxtil foi desenvolvida nos últimos tempos, sendo conhecida por têxteis não tecidos (FERRAZ, 2001). Diferente da tecelagem ou malharia onde os fios precisam ser produzidos anteriormente, os não tecidos são fabricados diretamente em estruturas têxteis, sem necessidade da produção de fios; sendo que a consolidação mecânica, térmica ou química de um véu de fibra obtido por equipamentos têxteis resulta na fabricação dos não tecidos (FERRAZ, 2001).

Segundo a NBR 13370 não tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa constituída de véu ou manta de fibras e filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinações destes (MARONI *et al.*, 1999).

A aplicação dos não tecidos pode ser verificada nos mais diversos ramos, como: indústria automobilística, comércio (embalagens, decoração e proteção de produtos), construção civil, artigos domésticos, filtração, produtos de higiene e médico hospitalar; forrações em geral (carpetes, decoração de paredes), calçados, obras geotécnicas e vestuário (MARONI *et al.*, 1999).

As propriedades dos não tecidos como porosidade, massa específica, superfície específica e condutividade hidráulica são resultados das condições de produção dos mesmos, como número e diâmetros das agulhas e frequência com que estas incidem durante o processo de fabricação (FERRAZ, 2001).

Como matéria prima utilizada na fabricação dos não tecidos tem-se fibras ou filamentos naturais, artificiais ou sintéticos, com diâmetros e títulos, seções e

comprimentos bastante variados (FERRAZ, 2001). Para utilização em sistemas de filtração o mais indicado são não tecidos confeccionados a partir de fibras sintéticas como polipropileno, poliamida e poliéster, pois estes são materiais que resistem a possível degradação no meio filtrante. Mbvette & Grahan (1990) recomendam para utilização na filtração lenta não tecidos fabricados a partir de fibras de polipropileno, pois estes resistem à abrasão, à ação de compostos químicos presentes na água, à ataque de fungos e ácidos orgânicos e à ação do calor e de raios UV; além de serem livres de grupos polares, tornando a limpeza mais fácil e apresentarem relativo baixo custo quando comparados com outros materiais.

Os altos valores de porosidade das mantas sintéticas não tecidas (cerca de 80% a 90%, contra 45% de areia) resultam em baixa perda de carga e como consequência elevação da duração da carreira de filtração, além de maior volume de vazios para retenção de impurezas (PATERNIANI, 1991).

Segundo Di Bernardo (1999) a utilização de mantas em sistemas de filtração possibilita retenção de parte das impurezas encaminhadas ao meio granular, visando aumentar a duração da carreira de filtração, incrementar as taxas de filtração e diminuir a espessura da camada de areia, sem prejudicar a qualidade do efluente, reduzindo custos operacionais das estações.

Paterniani (1991) testando uma combinação de diferentes tipos de mantas verificou que o uso de mantas sintéticas não tecidas foi responsável pelo aumento de 1,1 até 3,6 vezes na duração da carreira de filtração e possibilitou a redução da espessura da camada de areia para 30 cm, sem comprometimento da qualidade da água tratada. Além disso, foi possível a aplicação de taxas de filtração mais elevadas, em torno de 9 a 12 m³/m² dia, com carreiras de filtração de duração razoável, embora tenha ocorrido penetração de impurezas na camada de areia.

A utilização de mantas sintéticas não tecidas em sistemas de filtração lenta pode facilitar o processo de limpeza dos filtros, além de reduzir custos relacionados a este procedimento. Quando não se utiliza mantas o procedimento de lavagem dos filtros consiste na retirada de 2 a 5 cm da camada superficial de areia, com posterior lavagem e reposição desta areia (DI BERNARDO, 1999). No entanto, como o processo de

lavagem acarreta perda de material, periodicamente há necessidade de reposição da areia do leito filtrante. Portanto, o maior gasto com a manutenção destes sistemas concentra-se na etapa de limpeza, com mão de obra necessária para o procedimento de limpeza e principalmente com a aquisição de areia com granulometria adequada para reposição da camada filtrante.

Com a utilização de mantas sintéticas não tecidas com características adequadas, que não permita a penetração de impurezas para a camada de areia, a limpeza do filtro consiste na retirada e lavagem destas mantas que após secagem são recolocadas na superfície do meio filtrante. Di Bernardo (1999) recomenda que para garantia de reutilização das mantas, estas devem ser resistentes a abrasão e compostos químicos, com ausência de grupos polares para facilitar a limpeza.

Outro estudo utilizando mantas sintéticas não tecidas envolvia a substituição da camada suporte composta normalmente de pedregulhos por mantas não tecidas. Ferraz & Paterniani (2002) verificaram que a utilização de mantas como camada suporte não alterou a qualidade da água tratada, evitando a passagem de areia com baixa perda de carga no sistema. Os autores também constataram que esta prática diminuiu consideravelmente o custo de implantação do sistema. Outra inovação efetuada por tais autores foi a substituição da areia preparada para filtração lenta por areia grossa de construção civil passada por peneira de 1 mm, procedimento este que torna as características da areia de construção civil similares a areia preparada para filtração lenta. Ferraz & Paterniani (2002) constataram que o uso desta areia aliada à utilização de mantas no topo da camada de areia é viável, além de resultar na redução de custos.

3.7. Coagulantes Naturais

Um dos principais problemas relacionados ao tratamento de água atualmente consiste na geração, características e destinação do lodo proveniente das estações de tratamento de água. Santos *et al.* (2007) afirmam que um dos aspectos considerados para a escolha do coagulante em determinados países na atualidade refere-se às

características do lodo gerado no tratamento, que depende da qualidade da água bruta e do pré-tratamento químico adotado. Ainda, segundo o referido autor as características físicas e químicas do lodo variam conforme a composição química do coagulante, sendo que problemas relacionados ao manuseio e disposição deste material podem ser minimizados ajustando a etapa de coagulação ou até mesmo promovendo a mudança do coagulante.

Desta forma, a adoção de coagulantes naturais apresenta um grande potencial como alternativa aos sais metálicos, principalmente em pequenas comunidades devido ao baixo custo que os coagulantes naturais podem apresentar se comparado com produtos químicos. Amagloh & Benang (2009) afirmam que o método convencional de tratamento de água utilizando sais de ferro ou alumínio pode tornar o tratamento de água em países em desenvolvimento que necessitam importar tais produtos muito caro e além do alcance de populações rurais.

Dentre os diversos tipos de coagulantes naturais tem-se a *Moringa oleifera*, planta cujas sementes contêm proteínas responsáveis pelo processo de clarificação da água. Tal planta pode ser cultivada pelo próprio usuário de água e aplicada na água a ser tratada de maneira bastante simples. Um outro coagulante natural são os taninos, substâncias extraídas de determinadas espécies vegetais, constituídos por compostos fenólicos.

3.7.1. *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* é uma espécie perene, da família Moringaceae, originária do nordeste indiano, amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Pasquitão, Singapura, Jamaica e Nigéria (PIO CÔRREA, 1984; DUKE, 1987 *apud* GALLÃO *et al.*, 2006). Tal planta foi introduzida no Brasil no início do século passado como planta ornamental, porém seu uso como coagulante só teve início em 1996, com a vinda de Dra Samia Al Azharia Jahn, que em visita ao Nordeste brasileiro

orientou um workshop em Pernambuco e fez palestras em diferentes lugares do país divulgado tal planta (BORBA, 2001).

Seu desenvolvimento ocorre em clima quente e semi-árido tropicais em temperaturas na faixa de 25-35 °C, podendo suportar até 48 °C por períodos limitados. É tolerante a seca, preferindo solos arenosos bem drenados ou solos com terra vegetal. Pode se desenvolver em solos argilosos, mas não com excesso de água. Seu crescimento é extremamente rápido, podendo alcançar 4 metros em um ano, atingindo alturas de 6-15 metros (PRICE & DAVIS, 2000). No campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP observou-se que a produção de sementes ocorre de maneira contínua, sendo possível observar flores, pequenas vagens, assim como vagens verdes e secas em uma mesma árvore durante todo o ano com uma ligeira redução na produção de vagens durante o período de inverno.

Devido a diversas propriedades e aplicações, a *Moringa oleifera* é considerada uma planta de múltiplos usos. Suas folhas e vagens são bastante nutritivas, sendo fonte de vitamina A, B e C, além de cálcio, ferro e proteínas (PRICE & DAVIS, 2000) podendo ser adicionada às refeições na forma de saladas (folhas), refogadas ou farinhas (folhas) adicionada a outros alimentos. Por florescer o ano todo, as flores são de grande interesse para a apicultura, suas raízes são utilizadas em conservas, além disso, um composto denominado pterygospermin encontrados nas flores e raízes da árvore apresenta propriedades medicinais (antibiótico e fungicida) (PRICE & DAVIS, 2000).

O óleo extraído das sementes pode ser utilizado na produção de sabão, em lamparinas e na lubrificação de pequenas peças, como relógios (SERRA *et al.*, 2007). Por meio de extração em hexano Serra *et al.* (2007) detectaram teor de óleo das sementes de *Moringa oleifera* igual a 39%, sendo que deste total 78% corresponde a ácido oléico, que resultaria na produção de um biodiesel com baixo teor de insaturações, tendo reflexo direto e positivo em sua estabilidade à oxidação, facilitando o transporte e armazenamento.

Suas sementes são bastante utilizadas na clarificação de águas turvas em diversas regiões carentes do planeta, como no Sudão, outros países da África, no Nordeste brasileiro, entre outros (BORBA, 2001).

A propriedade coagulante/floculante das sementes esta relacionada à presença de proteínas catiônicas hidrossolúveis. Ndabigengesere *et al.* (1995) por meio de diálise demonstrou que a proteína responsável pela purificação da água apresenta peso molecular entre 12 e 14 kDa.. Okuda *et al.* (1999) isolou e purificou por diálise a proteína presente nas sementes e após este processo a atividade coagulante da solução foi a igual à obtida antes da purificação, sugerindo que o componente responsável pelo processo de purificação da água são estas proteínas cujo peso molecular encontrado pelo referido autor foi superior a 12 kDa. Utilizando diversos tipos de solventes (água, éter, acetona clorofórmio, hexano e metanol) na extração do coagulante Ndabigengesere *et al.* (1995) comprovaram que somente solução extraída a partir de água apresentou atividade coagulante.

Através de extração em solução salina Okuda *et al.* (1999) conclui que nestas condições a solução à base de sementes de *Moringa oleifera* apresenta atividade coagulante com dosagens 7,4 vezes menor do que a solução preparada somente com água destilada. A elevação da atividade coagulante na presença de sal se deve ao aumento da força iônica no meio que eleva a solubilidade dos compostos ativos responsáveis pelo processo de purificação (WHITE *et al.*, 1968; VOET & VOET, 1990 *apud* OKUDA *et al.*, 2001).

As principais condições ambientais que interferem na qualidade das sementes durante seu armazenamento são temperatura e umidade, sendo recomendado baixas temperaturas (≤ 10 °C) e baixa umidade relativa (50-60%) (BEZERRA *et al.*, 2004). Em estudo realizado por Bezerra *et al.* (2004) foram avaliadas sementes armazenadas em ambiente natural sem controle de temperatura e umidade e em câmara fria (10 °C e 55% umidade relativa) durante o período de 24 meses. Foi observado que no ambiente refrigerado o potencial de armazenamento foi superior ao ambiente natural, tendo ocorrido maior decréscimo no teor de água das sementes refrigeradas. O potencial de germinação das sementes refrigeradas foi mantido por doze meses, tendo sofrido redução de 15% aos 24 meses. Para as sementes armazenadas em condições não controladas (ambiente) a qualidade foi mantida por seis meses, sofrendo redução de germinação de 78% aos 12 meses e 100% aos 24 meses.

Katayon *et al.*, (2006) avaliaram o desempenho de sementes armazenadas em temperatura ambiente e refrigeradas durante 5 meses na redução de turbidez da água. As sementes mostraram maior eficiência quando armazenadas durante um mês, sofrendo um leve decréscimo ao longo dos 5 meses, sendo menor a variação para as sementes refrigeradas.

Ndabigengesere *et al.* (1995) verificou que somente sementes secas apresentam atividade coagulante e que sementes com casca em elevados valores de turbidez (426 NTU) apresentam desempenho similar ao obtido para sementes descascadas. No entanto quando a turbidez foi reduzida para 105 NTU o desempenho das sementes com casca foi inferior a forma descascada. O autor então recomenda que não há necessidade de se descascar as sementes para elevados valores de turbidez, considerando que este é um processo demorado.

Comparando solução à base de sementes de *Moringa oleifera* com sulfato de alumínio Ndabigengesere & Narasiah (1998) verificaram que o uso de *Moringa oleifera* não promove alterações significativas nos valores de pH da água, sendo que este permaneceu na faixa de 7,6 para as diversas dosagens testadas. No caso do sulfato de alumínio houve uma redução no valor do pH de 7,6 para 4,2. No que se refere à redução de turbidez a *Moringa oleifera* apresentou eficiência similar ao sulfato de alumínio (NDABIGENGESERE *et al.* 1995; NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998; AMAGLOH & BENANG, 2009).

Bergamasco *et al.* (2009) utilizando somente *Moringa oleifera* e *Moringa oleifera* associada à PCA (politereftalato de etileno) verificaram que a concentração de alumínio na água tratada era de 0,1 mg L⁻¹ para as duas situações. Com a utilização isolada de PCA este valor foi 0,7 mg L⁻¹. Considerando que a Portaria 518/2004 do MS recomenda como valor máximo 0,2 mg L⁻¹, a água tratada com PAC apresenta níveis de alumínio bastante superior ao recomendado.

Apesar das diversas vantagens relacionadas à sua utilização, o uso de solução à base de *Moringa oleifera* não purificada pode conferir presença de matéria orgânica e nutrientes a água tratada (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998; OKUDA *et al.*, 2001) devido a presença de outras substâncias além de proteínas como carboidratos,

lipídeos e outras substâncias orgânicas e inorgânicas (GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005) que podem permanecer na água após o tratamento.

Ao avaliar a presença de matéria orgânica na água tratada com *Moringa oleifera* Ndabigengesere & Narasiah (1998) verificaram que quando se utiliza este coagulante a presença de matéria orgânica na água aumenta à medida que a dose de coagulante é elevada, o mesmo não ocorrendo para o sulfato de alumínio. Isto indica que após processo de tratamento com *Moringa oleifera* a água pode conter matéria orgânica remanescente, podendo causar problemas de cor, sabor e odor se armazenada por longos períodos (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998). Desta forma o autor considera que o uso das sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de água em áreas rurais não representa riscos para o consumidor, pois normalmente a água é clarificada e já utilizada. Já em estações de tratamento, onde ocorre armazenamento da água por período superior a 24 horas, pode ocorrer deteriorização da mesma. Nestas condições o uso da *Moringa oleifera* como coagulante seria possível após processo de purificação da proteína catiônica ativa presente nas sementes (NDABIGENGESERE & NARASIAH 1998; GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005).

Utilizando desinfecção solar Amaral *et al.* (2006) obteve redução de 99,99% de *E.coli* para águas de açude com baixa turbidez (30-40 NTU) e 99,80% para água com elevados valores de turbidez (200-250 NTU) após 12 horas de exposição. Em águas com turbidez elevada (maior que 200 NTU) menos de 1% da incidência de radiação ultravioleta penetra mais que 2 cm da superfície, o que diminui muito sua ação germicida (JOYCE *et al.*, 1996). Amaral *et al.* (2006) então propôs o uso de sementes de *Moringa oleifera* como potencializador da decantação, visando maior redução de *E. coli* durante a desinfecção e obteve redução virtual de 100% de *E.coli* para os dois tipos de água (baixa e elevada turbidez) após as 12 horas de exposição.

O volume de lodo gerado pelo sulfato de alumínio também é superior ao gerado pela *Moringa oleifera* e de acordo com Ndabigengesere & Narasiah (1998) isto pode ser explicado pela produção de hidróxido de alumínio como precipitado quando se utilizou sulfato de alumínio, não ocorrendo o mesmo para a *Moringa oleifera*. Tal fato pode diminuir gastos com tratamento de lodo quando se utiliza *Moringa oleifera*, além de

produzir um lodo biodegradável que dependendo das características da água a ser tratada (ausência de metais) pode ser utilizado como fertilizante (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998). Bergamasco *et al.* (2009) verificaram que com a utilização isolada de PCA (cloreto de polialumínio) o volume de lodo gerado foi de 50 ml L⁻¹. Enquanto que para a *Moringa oleifera* isolada e para a *Moringa oleifera* associada ao PCA este volume foi de 10 ml L⁻¹ e 18 ml L⁻¹, respectivamente. Além disso, o lodo gerado pela *Moringa oleifera* apresentou biodegradabilidade, ao passo que o gerado a partir do PCA não apresentou, corroborando os resultados encontrados por Ndabigengesere & Narasiah (1998).

Como já citado, a filtração lenta também é uma alternativa de tratamento de água na zona rural. Estudos vêm sendo desenvolvidos aliando filtração lenta e uso de *Moringa oleifera* como coagulante. Comparando três tipos de tratamento (*Moringa oleifera* como coagulante/floculante seguido de decantação, sistema de filtração lenta e um sistema combinado utilizando sementes de *Moringa oleifera* seguido de filtração lenta) para diferentes valores de turbidez Pinto & Hermes (2005) concluíram que os três tipos de tratamento apresentaram considerável redução de turbidez, sendo que o sistema combinado foi o mais eficiente.

Franco *et al.* (2009) utilizando sistema de filtração em múltiplas etapas (FIME) no tratamento de água com turbidez obtida sinteticamente verificaram que com a adoção de pré-filtração dinâmica seguida de filtração lenta sem adição de coagulante no sistema, a água com turbidez inicial de 98,02 NTU apresentou redução de 92,07% de turbidez, com turbidez final igual a 7,8 NTU. Já com a aplicação de coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera* no sistema, porém sem etapa de floculação a eficiência de remoção de turbidez foi de 96,06%, com turbidez final igual a 3,9 NTU. Com aplicação de coagulante aliado a presença de um floculador antes do pré-filtro obteve-se redução de 98,57% da turbidez, com valor final de turbidez igual a 1,4 NTU.

3.7.2. Tanino

Na produção de madeira por muitos anos a casca das árvores foi considerada um simples resíduo ou tinha aplicações que não exigiam grandes transformações de tal produto. Quando comparada à madeira a casca apresenta um conteúdo em extrativos geralmente superior e notadamente de maior diversidade, sendo os compostos fenólicos a fração mais significativa de produtos que podem ser extraídos das cascas (TRUGUILHO *et al.*, 1997).

Taninos são compostos fenólicos, solúveis em água e com peso molecular compreendido entre 500 e 3000 Dalton, muito reativos quimicamente que formam pontes de hidrogênio, intra e intermoleculares (MONTEIRO *et al.* 2005). A extração de tanino de vegetais pode ser efetuada utilizando diversos tipos de solventes tais como água, acetona, etanol ou por soluções aquosas com alguns sais como sulfito de sódio, carbonato de cálcio, entre outros (BRÍGIDA & ROSA, 2003).

Dentre as aplicações relacionadas ao tanino têm-se: curtimento de pele, produção de resinas, corantes, adesivos para madeira e derivados, indústria farmacêutica, além de seu uso como floculante de certos minerais e como purificadores de gasolina (BRÍGIDA & ROSA, 2003; TRUGUILHO, 1997).

As principais plantas encontradas em território brasileiro que podem ser utilizadas para extração de tanino são: acácia negra (*Acácia mearnsii*), barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), barbatimão-de-folha-miúda (*Dimorphandra mollis benth*), aroeira (*Lithraea molleoides*), mangue-vermelho (*Rhizophora mangle*), quebracho (*Schinopsis lorentzii*), goiabeira (*Psidium guajava*), jatobá da mata (*Hymenaea stilbocarpa*), murici (*Byrsinima verbascifolia rich*), mangue-branco (*Laguncularia recemosa gaertn*), monjoleiro (*Acácia polyphylla*), angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*), sucupira (*Bowdichia virgilioides Kunth*), óleo copaíba (*Copaifera langsdorffii Desf*), pau pereira (*Platycyamus regnellii Benth*), angico cangalha (*Peltophorum dubim.*), jacarandá-branco (*Platypodium elegans*), açoita cavalo (*Luhea sp*) (SILVA, 1999; TRUGUILHO *et al.*, 1997).

A espécie acácia negra possui elevada concentração de tanino com boa qualidade quando comparada com outras espécies (BRÍGIDA & ROSA, 2003), conforme mostra a Figura 3.

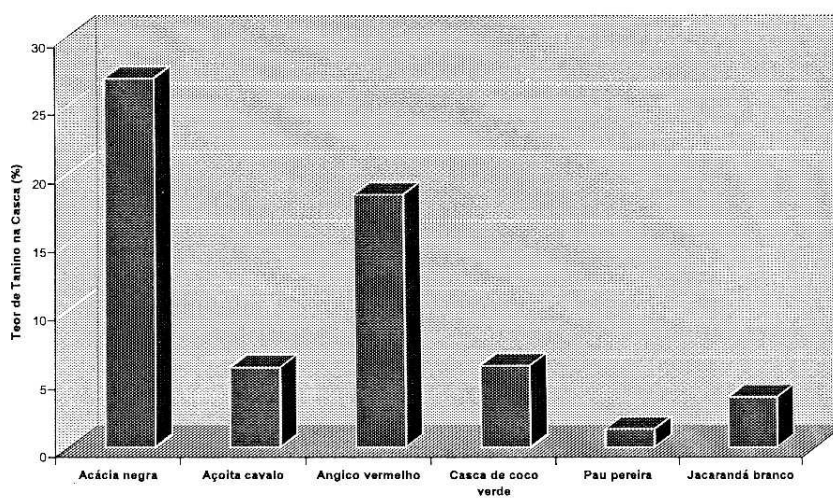


Figura 3. Teor de tanino de alguns tipos de casca. Brígida & Rosa (2003).

O Tanfloc SG fornecido pela empresa Tanac S.A., um dos objetos de estudo do presente trabalho, é um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, de origem essencialmente vegetal. É extraído através de um processo de lixiviação aquosa da casca da Acácia Negra, constituindo-se basicamente de estruturas flavonóides, de peso molecular médio de 1.700 Dalton, além de uma parcela de açúcares, gomas hidrocoloidais e sais solúveis, modificado quimicamente, tornando-se um polímero orgânico-catiônico (TANAC, 2007). O princípio ativo do Tanfloc é o tanato quaternário de amônio com estrutura química da molécula representada na Figura 4.

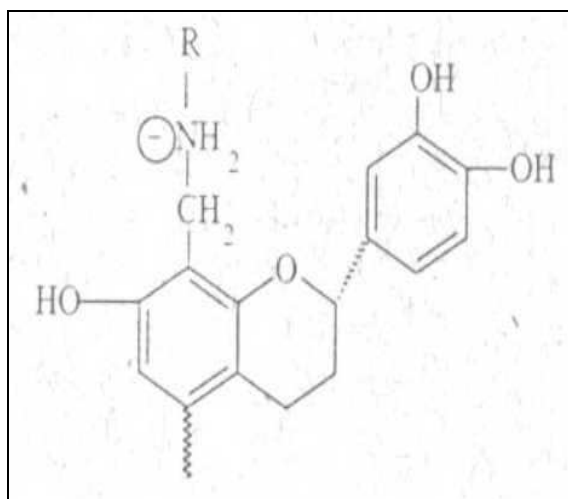


Figura 4. Estrutura química da molécula de tanato quaternário de amônio (TANAC, 2008 *apud* RÄDER, 2009).

A atuação do Tanfloc SG em sistemas de partículas coloidais ocorre por meio de neutralização de cargas e formação de pontes entre estas partículas (SILVA, 1999). A utilização do tanfloc não altera o valor do pH da água tratada, por não consumir a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma faixa de valores de pH de 4,5-8,0. (TANAC, 2007).

Moraes *et al.* (2007) destaca que taninos vegetais como o Tanfloc apresentam propriedade de adsorver metais dissolvidos em água, aglutinando os por precipitação no meio, além de eliminar ou diminuir a toxidez de águas oriundas de fontes com presença de cianofíceas e bactérias clorofiladas.

Dias *et al.* (2005) avaliaram o impacto da coagulação com tanino (Tanfloc SG) na filtração rápida descendente com leito de areia, comparando os resultados com os obtidos para coagulação efetuada com cloreto férrico. O autor obteve valores próximos de remoção para os dois coagulantes em condições de baixa turbidez (4 NTU), sendo que o filtro tratando água coagulada com tanino removeu 48% da turbidez e 47% da cor aparente e o filtro cuja água fora coagulada com cloreto férrico apresentou remoções de 44% de turbidez e 43% da cor aparente. Para valor de turbidez de 9 NTU a redução de turbidez e cor aparente foi similar para os dois coagulantes.

Estudos realizados por Cruz *et al.* (2005) com efluentes de lavanderias demonstram que quando tratado com tanino o efluente em questão apresenta uma menor concentração de sulfatos, e uma menor massa e volume de lodo gerado do que quando o tratamento é efetuado utilizando-se sulfato de alumínio. O lodo gerado pelo processo utilizando sulfato de alumínio é de difícil utilização, sendo geralmente encaminhado para aterros de resíduos sólidos industriais. Já o lodo gerado quando se utiliza tanino é biodegradável.

Em um estudo de caso desenvolvido na ETA de Novo Hamburgo–RS, Räder (2009) verificou que a substituição de sulfato de alumínio por coagulante à base de tanino no tratamento de água de uma ETA do tipo convencional não alterou as características da água tratada, sendo que a mesma atende plenamente aos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria 518/2004. Além disso, com esta substituição a necessidade de correção de pH não foi mais necessária, diminuindo custos e simplificando o tratamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental do presente trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e foi dividida em 3 fases, conforme descrição abaixo:

- **FASE 1** - Nesta primeira fase foram testados 4 equipamentos para o processamento das sementes de *Moringa oleifera*, objetivando avaliar a eficiência da solução obtida a partir do pó proveniente dos diferentes equipamentos. Com base em tais resultados definiu-se o equipamento a ser utilizado nas demais fases do trabalho.
- **FASE 2** - Em um segundo momento avaliou-se o uso de diferentes dosagens de solução à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino para uma faixa específica de turbidez (entre 80 e 18 NTU, considerada de média a baixa). Esta fase teve como principal objetivo verificar se há uma relação direta entre a turbidez inicial da água a ser tratada e a dosagem de coagulante.
- **FASE 3** - Finalmente, na terceira fase foram efetuados ensaios utilizando filtro de bancada com meio filtrante constituído de mantas sintéticas não tecidas e adoção de taxas de filtração características de sistemas de filtração lenta. Nesta fase avaliou-se a potencialidade do uso de coagulantes, especificamente *Moringa oleifera* e tanino, como auxiliares da filtração em mantas não tecidas.

4.1. Fase 1 - Definição do equipamento para o processamento das sementes de *Moringa oleifera*

O processamento das sementes de *Moringa oleifera* visando obtenção de solução coagulante para fins experimentais é feito de diversas formas, não havendo uma padronização para tal etapa. Há procedimentos manuais utilizando pilão para trituração das sementes (OKUDA *et al.*, 1999; OKUDA *et al.*, 2001), podendo após

trituração ocorrer peneiramento do pó obtido para retirada de partículas maiores (RAMOS, 2005; ARANTES, 2007). Outros autores adotam metodologia com obtenção do pó utilizando liquidificador doméstico (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; KATAYON *et al.*, 2006) e até mesmo preparo da solução diretamente no liquidificador (BERGAMASCO *et al.*, 2009).

Desta forma, considerou-se importante avaliar e comparar a eficiência de equipamentos já adotados no processamento das sementes, bem como propor o uso de outros equipamentos alternativos. O uso de sementes de *Moringa oleifera* por populações desprovidas de sistemas de abastecimento de água para melhoria da qualidade da mesma requer que os equipamentos utilizados sejam de fácil acesso e de manuseio conhecido por tal população. Levando os fatores expostos anteriormente em consideração, foram escolhidos os seguintes equipamentos para o processamento das sementes de *Moringa oleifera*: máquina de moer, pilão, liquidificador e mixer (Figura 5).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5. Equipamentos utilizados no processamento das sementes de *Moringa oleifera*: (a) máquina de moer, (b) pilão, (c) liquidificador e (d) mixer.

4.1.1. Preparo do pó de *Moringa oleifera* e da solução coagulante

As sementes utilizadas neste trabalho foram colhidas no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, evitando-se que a colheita fosse efetuada em período chuvoso. Após a colheita as sementes com casca permanecerão entre 3 e 4 dias em dessecador para diminuição da umidade. Em seguida as sementes foram acondicionadas em garrafas PET e armazenadas a temperatura de aproximadamente 5 °C. Seguindo recomendações de Ndabigengesere & Nara siah (1998) a solução coagulante era sempre preparada no momento da realização do ensaio.

4.1.1.1. Preparo do pó utilizando máquina de moer

Para obtenção do pó de *Moringa oleifera* utilizando máquina de moer as sementes foram descascadas e moídas até que não restassem mais sementes no interior da máquina. O volume obtido foi moído novamente por duas vezes. Em seguida a máquina foi desmontada e todo resíduo presente em seu interior foi removido, tendo sido adicionado ao volume já moído. O novo volume de pó foi novamente moído por duas vezes. Nesta fase do trabalho tomou-se o cuidado de fixar tal procedimento para evitar a ocorrência de variação do pó obtido a partir da máquina, tendo em vista que o volume total de pó obtido da máquina foi dividido em duas alíquotas. Uma primeira alíquota foi direcionada diretamente para o preparo da solução líquida, etapa esta que será exposta no decorrer deste capítulo. Já a segunda alíquota foi homogeneizada em peneira com abertura de 0,8 mm para retirada de partículas maiores.

4.1.1.2. Preparo do pó utilizando pilão

As sementes descascadas foram trituradas manualmente em um pilão de madeira. O volume total obtido foi dividido em 2 alíquotas, tendo uma destas sido utilizada sem homogeneização do tamanho das partículas. A segunda alíquota passou por peneira com abertura de 0,8 mm para retirada de partículas maiores. Com o

objetivo de diminuir a variação dos tamanhos das partículas que não foram peneiradas tomou-se o cuidado de que a trituração fosse sempre efetuada pela mesma pessoa e que o tempo de trituração e movimentos efetuados fossem na medida do possível similares em dias diferentes.

4.1.1.3. Preparo da solução coagulante a partir do pó de *Moringa oleifera*

Ao pó pesado em quantidade relativa à concentração (massa/volme) adicionou-se água destilada e promoveu-se homogeneização pelo período de 2 minutos em agitador magnético. A concentração adotada para a solução foi 2%, sendo que para cada 100 ml de água destilada utilizava-se 2 gramas de pó. Após homogeneização da solução há recomendações para que a mesma seja filtrada em papel filtro, membranas ou tecidos (OKUDA *et al.*, 2001; NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998; KATAYON *et al.*, 2006). Para maior facilidade operacional adotou-se peneiramento da solução em peneira com abertura de 125 μm .

4.1.1.4. Preparo da solução coagulante diretamente no liquidificador e mixer

Visando um procedimento mais simplificado e prático optou-se pelo uso do liquidificador e mixer para obtenção da solução coagulante sem necessidade de preparo do pó. Para tanto, sementes descascadas e inteiras foram adicionadas à água destilada utilizando a concentração de 2% (massa/volume). Após 1 minuto de processamento nos respectivos equipamentos a solução resultante foi também peneirada em peneira com abertura de 125 μm .

A Figura 6 representa de forma esquemática todas as etapas adotadas no processamento das sementes e preparo da solução coagulante.

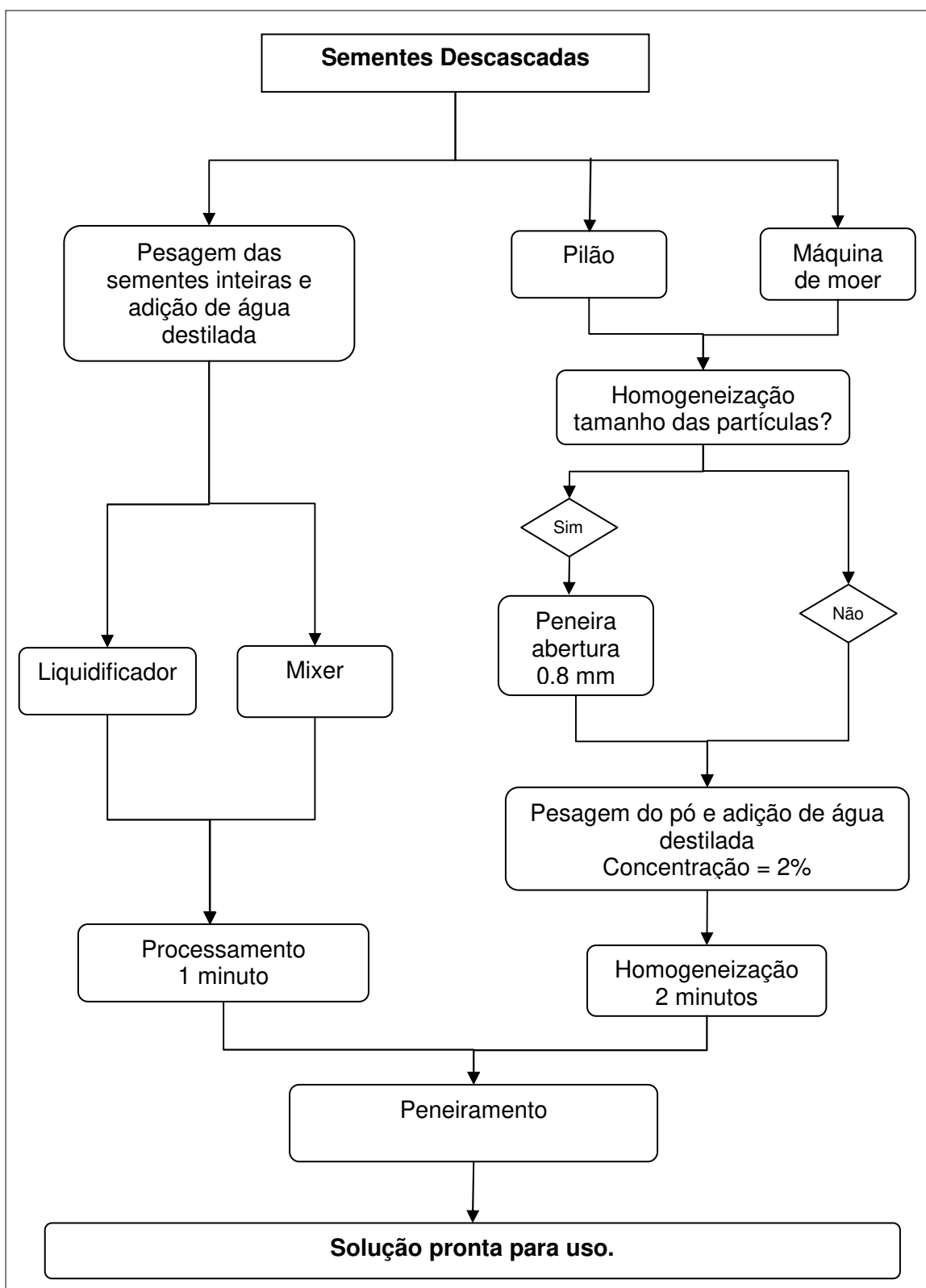


Figura 6. Fluxograma do processo de preparo da solução coagulante utilizando diferentes tipos de equipamentos.

4.1.2. Ensaio de Jar-Test com soluções obtidas a partir dos diferentes tipos de processamento

Utilizando os seis tipos diferentes de solução coagulante foram realizados ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos (Jar-Test) (Figura 7) com o objetivo de se avaliar a eficiência das soluções obtidas a partir dos diferentes tipos de processamento. A dosagem de solução coagulante foi adotada com base em estudo anterior (ARANTES, 2007) onde a autora verificou que para água com níveis de turbidez obtidos sinteticamente na faixa de 105 NTU a melhor dosagem de solução à base de sementes de *Moringa oleifera* foi 500 mg L^{-1} . A unidade referente à dosagem adotada ao longo deste trabalho foi mg L^{-1} , no entanto deve-se esclarecer que tal referencia é feita à massa de pó ou semente adotada para preparo da solução coagulante. Sabe-se das possíveis perdas que vão ocorrendo ao longo das diferentes etapas do processamento, no entanto como não foram adotadas formas de se computar tais perdas optou-se por fazer referência à massa de *Moringa oleifera* adotada no início do preparo da solução coagulante.

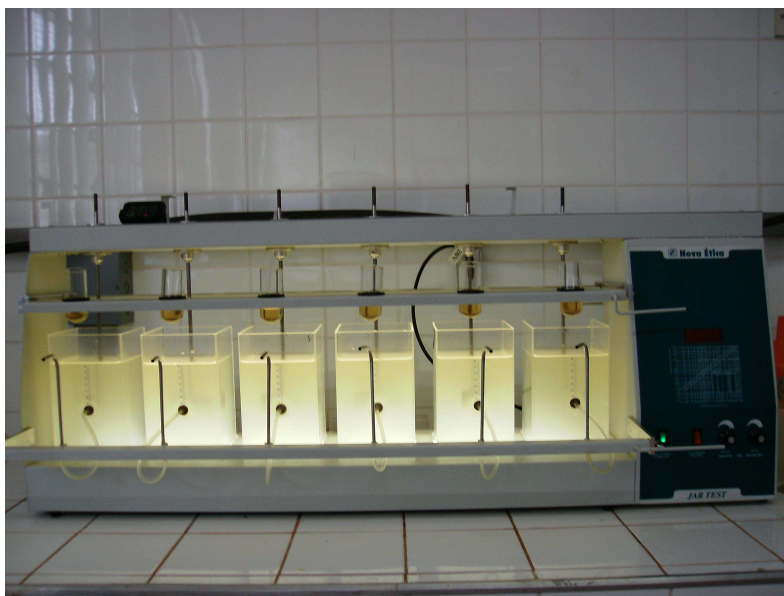


Figura 7. Equipamento Jar-Test utilizado na pesquisa.

A água a ser tratada (água bruta) consistia de água com níveis de turbidez obtidos sinteticamente em laboratório, com procedimento de preparo descritos no item 4.4. do presente capítulo.

As condições operacionais adotadas nas etapas de tratamento da água (coagulação, floculação e sedimentação) utilizando as 6 soluções coagulantes à base de sementes de *Moringa oleifera* encontram-se descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Condições operacionais adotadas para execução das etapas de coagulação, floculação e sedimentação da água a ser tratada utilizando as 6 soluções coagulantes à base de sementes de *Moringa oleifera*.

Etapa	Gradiente médio de velocidade	Tempo de mistura ou repouso
Coagulação	800 s^{-1}	60 s. (mistura rápida)
Floculação	40 s^{-1}	10 min. (mistura lenta)
Sedimentação	---	30 min. (repouso)

Ao longo dos 30 minutos de sedimentação foram coletadas amostras em intervalos de tempo de 10 minutos entre uma amostra e outra, tendo sido coletadas 4 amostras de cada jarro. Avaliou-se turbidez, cor aparente e pH de tais amostras utilizando equipamentos e metodologia dispostos no item 4.5. Foram efetuadas 3 repetições para cada solução testada, totalizando 18 ensaios.

4.2. Fase 2 - Avaliação da possível relação entre valores de turbidez e dosagem de coagulante para *Moringa oleifera* e tanino

Utilizando equipamento Jar-Test foram testadas diferentes dosagens de solução à base de sementes *Moringa oleifera* e tanino para uma faixa de valores de turbidez de água bruta situada entre 18 e 80 NTU. Como este trabalho esta relacionado

à aplicação de coagulantes naturais em sistemas de filtração lenta, avaliou-se as melhores dosagens dos coagulantes estudados dentro da faixa de turbidez recomendada para tal tecnologia, gerando dados para futuros estudos. A literatura recomenda que para sistemas de tratamento de água que envolvam filtração lenta os valores de turbidez sejam no máximo 100 NTU. Deve-se ressaltar que a necessidade de etapas que precedem à filtração lenta está relacionada ao valor da turbidez da água bruta. A água bruta a ser tratada nesta fase também se tratava de água com valores de turbidez obtidos sinteticamente em laboratório.

Os mesmos parâmetros adotados nas etapas de coagulação e floculação da fase anterior foram adotados, sendo o gradiente médio de velocidade durante a mistura rápida de 800 s^{-1} por 60 segundos e durante a mistura lenta tal gradiente foi de aproximadamente 40 s^{-1} por 10 minutos. A fase de sedimentação teve duração de 30 minutos, tendo ocorrido coleta de amostras a cada 10 minutos, totalizando 4 amostras por jarro. Uma exceção foi feita quando se testou solução coagulante à base de sementes de *Moringa oleífera* para o valor de turbidez de aproximadamente 18 NTU, quando o período de sedimentação foi estendido para 50 minutos visando obter melhores resultados, tendo em vista que os flocos formados apresentavam dificuldade de sedimentação devido a pequena dimensão.

Foram efetuadas 3 repetições para os ensaios que tiveram como agente coagulante solução à base de sementes de *Moringa oleífera*. Para o tanino foram efetuadas 2 repetições.

Com base nos resultados da FASE 1 optou-se pelo uso da máquina de moer para processamento das sementes de *Moringa oleífera* com peneiramento do pó nas fases a seguir. Baseado em estudos efetuados por Arantes (2007) o tanino foi diluído a 1%. As dosagens testadas para cada faixa de turbidez estão descritas na Tabela 5.

As dosagens foram definidas baseadas em Arantes (2007) que para turbidez de 105 NTU obteve bons resultados com dosagens entre 300 e 700 mg L^{-1} de solução coagulante à base de sementes de *Moringa oleífera* a 2%. Como os valores de turbidez adotados neste trabalho se encontravam abaixo de 105 NTU, decidiu-se que a maior dosagem de solução coagulante à base de sementes de *Moringa oleífera* adotada seria

inferior a 500 mg L^{-1} , tendo sido escolhido 450 mg L^{-1} como maior dosagem. Desta forma foram testadas 6 dosagens variando entre 450 e 125 mg L^{-1} para valores de turbidez na faixa de 80, 69, 50 e 33 NTU. Para turbidez de 18 NTU além das dosagens anteriores houve necessidade de se testar dosagens menores, conforme mostra Tabela 5.

Tabela 5. Dosagens de solução à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino testadas para os diferentes valores de turbidez adotados.

Faixa de turbidez da água sintética (NTU)	Dosagens testadas	
	<i>Moringa oleifera</i> C= 2% (mg L^{-1})	Tanino C= 1% (ml L^{-1})
80	500; 425; 350; 275; 200; 125	0,5; 1,5; 3; 6; 12 e 24
69	500; 425; 350; 275; 200; 125	0,5; 1,5; 3; 6; 12 e 24
50	500; 425; 350; 275; 200; 125	0,5; 1,5; 3; 6; 12 e 24
33	500; 425; 350; 275; 200; 125	0,5; 1,5; 3; 6; 12 e 24
18	500; 425; 350; 275; 200; 125; 75; 50; 25 e 12,5	0,25; 0,5; 1,5; 3; 6; 12 e 24

Utilizando tanino diluído a 1%, Arantes (2007) verificou que as melhores dosagens para água com turbidez inicial de 105 NTU se encontravam dentro de uma faixa variando entre 1,5 a 24 ml L^{-1} . Desta forma estas foram as dosagens adotadas para a faixa de turbidez adotada neste trabalho, tendo sido acrescentada uma nova dosagem em função dos menores valores de turbidez, conforme exposto na Tabela 5.

Com base nos resultados destes testes definiu-se a melhor dosagem obtida para cada valor de turbidez e por meio de regressão linear simples verificou-se uma possível relação entre o valor de turbidez inicial e a melhor dosagem de coagulante.

4.3. Fase 3: Utilização dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração lenta

Nesta fase avaliou-se a potencialidade da utilização de coagulantes naturais como auxiliares da filtração lenta. Foram testados dois coagulantes naturais (*Moringa oleifera* e tanino), tendo sido adotado duas dosagens de cada coagulante. O sistema de tratamento de água foi montado em escala de bancada, sendo constituído por equipamento Jar-Test, responsável pelas etapas de coagulação e floculação, mangueiras e registros para distribuição da água floculada e um filtro de garrafa PET. Os ensaios de filtração tiveram duração de horas. Portanto, dentro de tais condições, a referência à filtração lenta é feita em função da baixa taxa de filtração adotada, que é característica de tal tecnologia. Demais características pertinentes à filtração lenta, como período de amadurecimento do leito filtrante, formação e ação de *schmutzdecke*, entre outras não tiveram qualquer influência sobre os resultados aqui obtidos, e consequentemente não foram avaliadas.

Após realização das etapas de coagulação e floculação em equipamento Jar-Test a água floculada foi encaminhada para o filtro (Figura 8) com meio filtrante constituído de manta sintética não tecida com gramatura de 300 g/cm² da marca Ober. O meio filtrante apresentava altura de aproximadamente 1,5 cm, sendo constituído por 5 mantas, conforme mostra a Figura 8. As mantas foram colocadas sob uma grelha circular com diâmetro de 10 mm. Após realização de ensaios preliminares verificou-se que ocorria passagem de material a ser retido no filtro pelas laterais do mesmo. Desta forma a lateral do filtro foi vedada utilizando a lateral externa de uma grelha redonda revestida com fita veda rosca, conforme mostra Figura 8b.

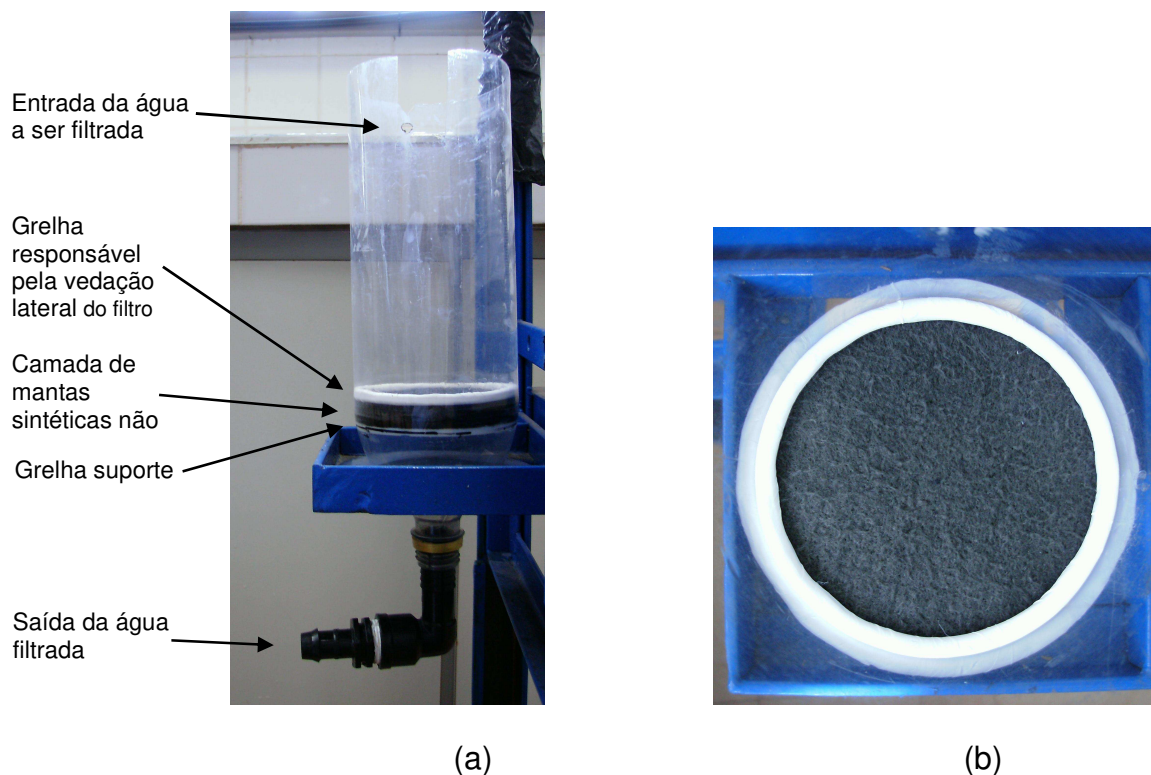
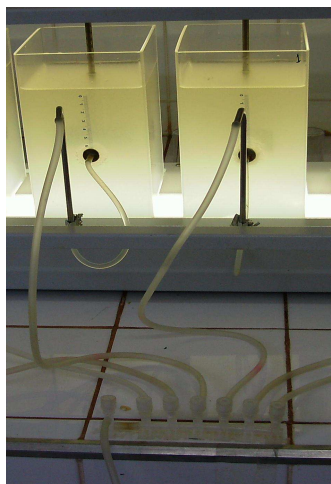
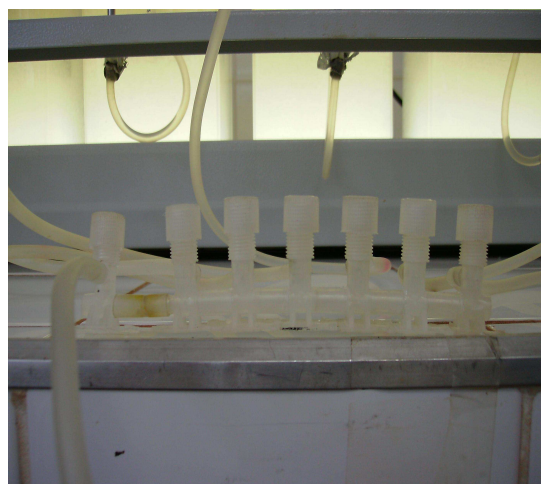


Figura 8. Filtro confeccionado a partir de garrafa PET com meio filtrante de mantas sintéticas não tecidas: (a) vista lateral do filtro e (b) vista superior do filtro.

No bico coletor de cada jarro foi conectada mangueira de silicone com diâmetro de 4 mm, sendo que na extremidade de cada mangueira foi colocado um pequeno registro (Figura 9a). Os registros provenientes de cada jarro foram montados em série (Figura 9b) e ficaram abertos possibilitando vazão máxima para cada jarro. Um sétimo registro foi adicionado ao sistema e por meio deste registro que contava com uma mangueira de silicone direcionando a água floculada para o filtro foi efetuado o controle de vazão na entrada do filtro. Durante a filtração a série de registros foi fixada a lateral do suporte. Ao longo da filtração a água presente nos jarros foi mantida em agitação lenta (gradiente de velocidade de aproximadamente 10 s^{-1}), para evitar a ocorrência de sedimentação.



(a)



(b)

Figura 9. Sistema de distribuição da água dos jarros para o filtro: (a) conexão com jarros e série de registros e (b) detalhe dos registros em série.

Um suporte metálico de altura regulável era responsável pelo posicionamento do filtro quando iniciava a etapa de filtração. A Figura 10 representa vista geral do sistema de tratamento de água adotado.

Durante a etapa de coagulação adotou-se dois diferentes valores de gradientes de velocidade e dois tempos de mistura objetivando avaliar se havia alguma influência de tais parâmetros na eficiência das mantas na retenção de impurezas presentes na água durante a filtração, sendo realizados 4 tipos de ensaios, conforme mostra a Tabela 6. Inicialmente foi planejada uma variação no gradiente de velocidade da floculação. No entanto como a água presente nos jarros permaneceria sob ação de um gradiente de velocidade durante todo período de filtração, evitando assim sedimentação, a realização de ensaios com tal variação foi entendida como sendo desnecessária.

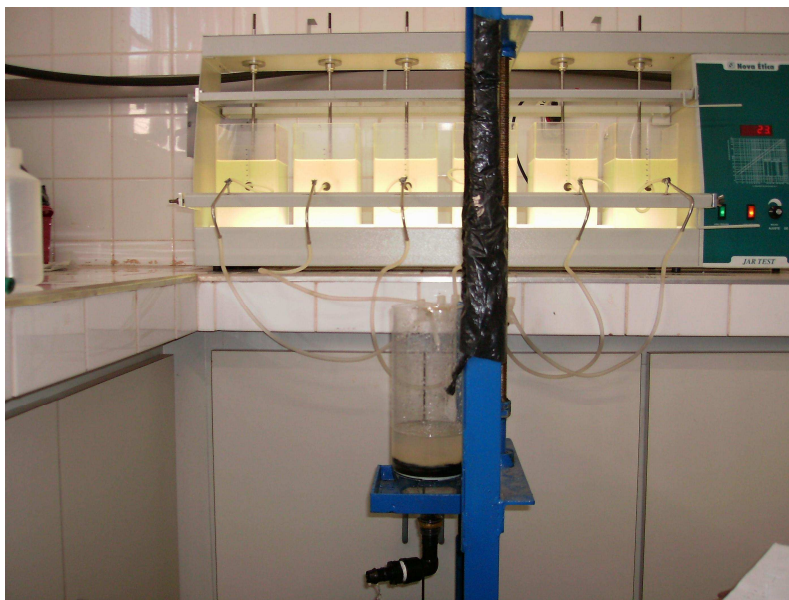


Figura 10. Vista geral do sistema de tratamento de água constituído por equipamento Jar-Test e filtro.

Para cada ensaio foram efetuadas duplicatas (A e B). Sendo assim, ensaios 1A e 1B se referem à duplicata efetuada tendo como condições operacionais de mistura aquelas adotados no ensaio 1, conforme mostra Tabela 6. Totalizando foram efetuados 8 ensaios para cada dosagem testada e 2 ensaios utilizando somente água bruta sem adição de coagulante. Para ensaios com água bruta não foram adotadas etapas de coagulação e floculação, visto que não foi adicionado coagulante. Neste caso a água bruta foi adicionada aos jarros e em seguida iniciou-se a etapa filtração com o mesmo procedimento adotado quando houve adição de coagulante e tais ensaios foram denominados como AC (ausência de coagulante).

As dosagens de coagulantes testadas e o valor de turbidez da água tratada foram definidos com base em estudos anteriores. Para turbidez inicial média de 105 NTU, ARANTES (2005) encontrou melhores resultados para dosagens de 500 e 300 mg L⁻¹ de solução à base de sementes de *Moringa oleifera* e 6 e 12 ml L⁻¹ de tanino diluído a 1% em ensaios de coagulação e floculação, seguidos de sedimentação. Desta forma, estas mesmas dosagens de coagulantes e valor de turbidez inicial foram adotadas para a realização dos ensaios de filtração.

Tabela 6. Parâmetros adotados durante as etapas de coagulação e floculação.

Mistura rápida (Coagulação)		Mistura lenta (Floculação)		Ensaio
Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)	Tempo de agitação (s.)	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)	Tempo de agitação (min.)	
400	30	20	10	1
	60	20	10	2
800	30	20	10	3
	60	20	10	4

Para sistemas de filtração lenta com pré-tratamento da água Di Bernardo (1999) desaconselha a utilização de valores de turbidez acima de 100 NTU. Segundo o referido autor a eficiência da filtração lenta é afetada pela turbidez da água a ser tratada, pois este parâmetro reflete a quantidade de partículas pequenas presentes na água. Desta forma determinados autores limitam em 10 NTU a turbidez da água afluente aos filtros lentos. Como o objetivo deste estudo é verificar o potencial de aplicação da filtração lenta aliada à utilização de coagulantes naturais, tendo tais coagulantes o papel de aglomerar as partículas pequenas presentes na água, tornando mais fácil sua retenção no filtro, optou-se por avaliar a condição extrema de turbidez indicada para sistemas de filtração lenta. No entanto não foi adotado nenhum tipo de pré-tratamento.

Os ensaios eram encerrados quando ocorria transbordamento do filtro ou até que o volume de água presente nos jarros se esgotasse. Cada jarro apresenta capacidade para 2 litros de água, totalizando 12 litros. A altura do bico coletor permitia a retirada de somente 1 litro de água de cada jarro, desta forma o volume total de água floculada disponível para filtração eram 6 litros.

Adotou-se periodicidade de coleta de amostras e verificação da vazão na saída do filtro de 15 minutos para que fosse possível avaliar o comportamento da filtração ao longo do tempo. A medida que o volume de água no interior dos jarros diminuía, a carga

hidráulica responsável pela vazão de entrada nos filtros também diminuía. Portanto, a cada 15 minutos foi efetuado também ajuste de vazão na entrada do filtro.

4.4. Preparo da água com níveis de turbidez obtidos sinteticamente

Optou-se pelo uso de água com níveis de turbidez obtidos sinteticamente para que se tivesse um controle mais rigoroso destes níveis de turbidez. Caso fosse adotada captação de água em um determinado corpo d'água seria necessário lidar com uma grande oscilação nos valores de turbidez desta água devido às diversas interferências (humanas e climáticas) sofridas pelos mesmos. Além disso, na água preparada sinteticamente a presença de substâncias interferentes pode ser considerada nula ou mínima quando comparada a água de corpos d'água.

O procedimento adotado para o preparo da água com níveis de turbidez obtidos sinteticamente foi baseado nas metodologias apresentadas por Mendes (1989), tendo sofrido algumas adaptações para este trabalho. O preparo da água foi efetuado em equipamento Jar-Test. Adicionou-se em cada jarro 2 litros de água destilada e a quantidade necessária de bentonita para um determinado valor de turbidez, conforme mostra a Tabela 7. Em seguida manteve-se agitação com gradiente de velocidade de aproximadamente 400 s^{-1} por 30 minutos. Após agitação a água foi condicionada em baldes e mantida em repouso por 24 horas, sendo que ao término deste período recolheu-se o sobrenadante com cuidado para evitar que ocorresse resuspensão da bentonita sedimentada. Desta forma, neste trabalho, qualquer referência feita à água bruta se refere à água com turbidez obtida sinteticamente.

Tabela 7. Dosagem de bentonita utilizada para obtenção da turbidez final.

Faixa de Turbidez Final (NTU)	Dosagem de Bentonita (mg L⁻¹)
18	80
33	140
50	200
69	260
80	320
105	400

4.5. Parâmetros avaliados

Os parâmetros avaliados foram: turbidez, cor aparente e pH. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP com base no Standard Methods (APHA, 1998). Os equipamentos utilizados para cada parâmetro foram:

- ✓ **pH:** Leitura em pHmetro Digimed DM 20.
- ✓ **Cor Aparente:** Espectrofotometria, utilizando-se aparelho Espectrofotômetro modelo DR 4000 da marca HACH.
- ✓ **Turbidez:** Nefelometria, utilizando-se aparelho TURBIDIMETER 2100 NA da marca HACH.

Na FASE 3, além dos parâmetros descritos acima efetuou-se controle da vazão utilizando provetas graduadas de 100 ml para tal finalidade.

4.6. Análise dos dados

A análise dos dados obtidos foi efetuada utilizando estatística descritiva (médias, desvio padrão, coeficiente de variação, percentis, valores máximos e mínimos) e estatística analítica (regressão linear); com construção de gráficos e tabelas. O programa utilizado foi Microsoft® Office Excel 2003.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão apresentados sequencialmente de acordo com cada fase de trabalho. Na fase 1 foram testados 4 equipamentos no processamento das sementes de *Moringa oleifera* com objetivo de avaliar a eficiência da solução coagulante proveniente dos diferentes equipamentos. Na fase 2 verificou-se a existência de uma relação linear entre a turbidez inicial da água a ser tratada e dosagem dos coagulantes à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino. Ensaio de filtração em mantas não tecidas com taxas típicas de filtração lenta foram efetuados na fase 3, avaliando a potencialidade do uso de coagulantes naturais como auxiliares da filtração.

5.1. Fase 1 - Definição do equipamento para o processamento das sementes de *Moringa oleifera*

Na Tabela 8 são apresentados os valores de turbidez obtidos durante a etapa de sedimentação para os diferentes equipamentos utilizados no processamento das sementes de *Moringa oleifera* com os respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

Tabela 8. Valores de turbidez obtidos durante a sedimentação em função do equipamento utilizado. Turbidez média AB = $103 \pm 3,61$ NTU; DMO = 500 mg L^{-1} ; C = 2%; Gmr = 800 s^{-1} ; Tmr = 60 s; Gml = 40 s^{-1} e Tml = 10 min.

Equip	Turbidez (NTU)											
	0 min			10 min			20 min			30 min		
	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²
MP	168,33	6,11	3,63	3,69	0,41	11,22	2,71	0,33	12,23	2,18	0,32	14,49
MSP	151,00	2,00	1,32	10,37	2,97	28,67	9,20	2,86	31,11	8,78	2,97	33,80
PP	163,33	8,62	5,28	3,68	0,59	16,10	2,77	0,63	22,69	2,07	0,62	29,95
PSP	144,67	6,43	4,44	15,97	2,19	13,74	14,60	2,12	14,50	14,33	2,20	15,37
LIQ	173,67	8,39	4,83	26,87	9,21	34,28	24,67	7,74	31,37	23,93	7,16	29,92
MIX	174,00	11,53	6,63	23,63	0,99	4,17	21,90	1,66	7,60	21,17	1,59	7,53

¹Desvio Padrão; ²Coeficiente de variação (%); Equip = equipamento; MP= máquina peneirado; MSP = máquina sem peneirar; PP = pilão peneirado; PSP = pilão sem peneirar; LIQ = liquidificador; MIX = mixer.

Conforme demonstrado na Tabela 8, após 30 minutos de sedimentação os menores valores de turbidez foram observados para a água tratada utilizando solução obtida a partir de sementes processadas no pilão e máquina de moer com peneiramento, com valores médios de turbidez na faixa de 2 NTU para as 2 situações. Na utilização do pó sem peneiramento os valores médios de turbidez no final da sedimentação foram mais elevados, sendo que com utilização da máquina de moer o valor de turbidez se apresentou inferior às sementes processadas no pilão, com valores médios de turbidez de 8,78 e 14,33 NTU respectivamente. Para o liquidificador o valor médio de turbidez após sedimentação foi de 23,93 NTU, tendo ocorrido grande variabilidade entre os 3 ensaios. Com a utilização do mixer a turbidez média após sedimentação foi de 21,17 NTU, valor semelhante ao obtida para o liquidificador.

A Tabela 9 relaciona os valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação para o parâmetro cor aparente ao longo da sedimentação com a utilização das diferentes tipos de solução coagulante à base *Moringa oleífera* em função do modo de processamento das sementes.

Tabela 9. Valores de cor aparente obtidos durante a sedimentação em função do equipamento utilizado. Cor aparente média AB = $558 \pm 32,5$ mgPtCo L⁻¹; DMO = 500 mg L⁻¹; C = 2%; Gmr = 800 s⁻¹; Tmr = 60 s; Gml = 40 s⁻¹ e Tml = 10 min.

Equip	Cor aparente (mg PtCo L ⁻¹)											
	0 min			10min			20 min			30 min		
	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²
MP	865,00	43,59	5,04	18,00	4,00	22,22	14,33	3,06	21,31	11,00	2,65	24,05
MSP	788,33	32,53	4,18	47,00	13,00	27,66	43,00	13,00	30,23	41,00	11,27	27,49
PP	886,67	59,23	6,68	19,33	4,93	25,51	15,33	4,93	32,17	13,00	5,20	39,97
PSP	746,67	33,29	4,46	73,00	10,15	13,90	66,67	10,21	15,32	66,00	11,27	17,07
LIQ	921,67	120,66	13,09	128,33	43,88	34,19	114,67	36,69	32,00	110	31,24	28,40
MIX	998,33	81,29	8,14	111,00	3,61	3,25	100,33	9,07	9,04	95,00	6,93	7,29

¹Desvio Padrão; ²Coeficiente de variação (%); Equip = equipamento; MP= máquina peneirado; MSP = máquina sem peneirar; PP = pilão peneirado; PSP = pilão sem peneirar; LIQ = liquidificador; MIX = mixer.

Para a redução de cor aparente foi observado um comportamento similar ao observado para a turbidez, sendo que para as sementes peneiradas o valor médio de cor aparente após sedimentação foi 11 mgPtCo L⁻¹ para o processamento na máquina de moer e 13 mgPtCo L⁻¹ quando se utilizou o pilão. Soluções produzidas com pó sem peneiramento apresentou cor aparente de 41 mgPtCo L⁻¹ com processamento adotando máquina de moer e 66 mgPtCo L⁻¹ no caso de utilização do pilão. A solução obtida a partir do liquidificador resultou em cor aparente média final de 110 mgPtCo L⁻¹, valor similar ao obtido com processamento utilizando mixer (95 mgPtCo L⁻¹).

A Figura 11 ilustra a remoção média de turbidez e cor aparente após 30 minutos de sedimentação da água tratada. Foram utilizados os valores médios de turbidez e cor aparente da água bruta e após o período de sedimentação dos 3 ensaios efetuados para obtenção da eficiência.

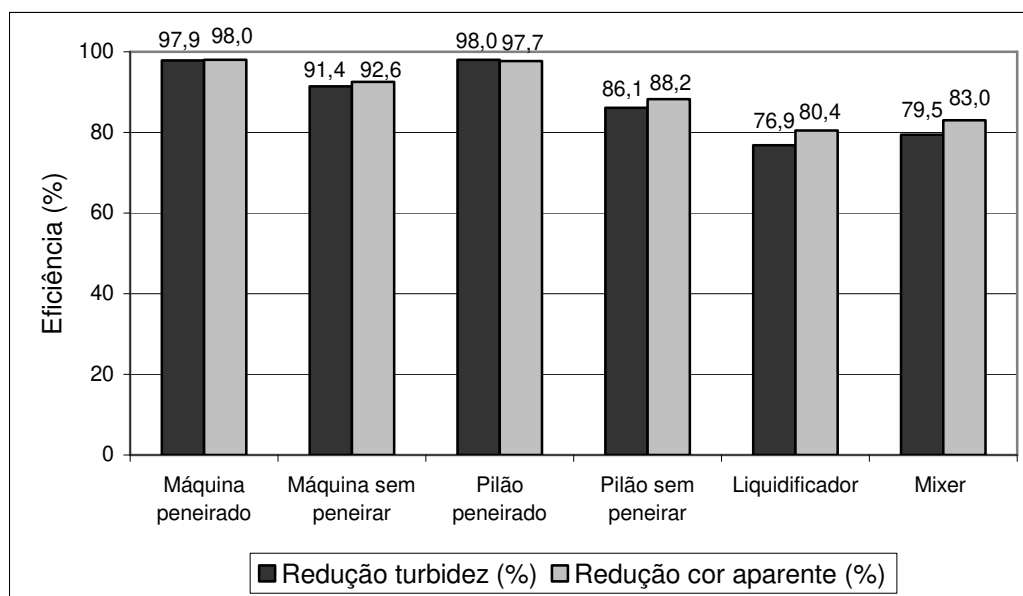


Figura 11. Remoção média de turbidez e cor aparente após 30 minutos de sedimentação.

Níveis de redução de turbidez e cor aparente similares foram obtidos para o processamento em um mesmo equipamento. Com exceção do processamento no pilão com peneiramento, a redução de turbidez foi ligeiramente superior à redução de cor aparente, tendo sido observada uma diferença mais acentuada para o processamento no liquidificador e no mixer.

O pó peneirado processado na máquina de moer apresentou redução de turbidez de 97,9% e 98,0% para cor aparente. Para as sementes processadas no pilão e peneiradas a redução foi de 98,0% para turbidez e 97,7% para cor aparente. Para o pó obtido a partir do processamento na máquina de moer sem peneiramento obteve-se redução de turbidez e cor aparente de aproximadamente 91,4% e 92,6%, respectivamente. Já o processamento no pilão sem peneiramento do pó apresentou redução de 86,1% para turbidez e 88,2% para cor aparente.

Para o processamento das sementes utilizando o liquidificador e mixer os índices de redução de tais parâmetros foram os menores encontrados. Quando se utilizou o liquidificador obteve-se redução de 86,1% para turbidez e 88,2% para cor

aparente. Com a utilização do mixer as reduções de turbidez e cor aparente foram de 79,5% e 83,0%, respectivamente.

Deve-se considerar que quando o processamento foi efetuado no pilão e na máquina de moer com a trituração das sementes houve remoção de parte do óleo presente nas sementes, que ficou aderido ao equipamento utilizado no processamento. Já com a utilização do liquidificador e mixer as sementes eram processadas diretamente em meio líquido, não ocorrendo remoção de óleo. Silva e Matos (2008) comparando sementes com óleo e sementes sem óleo verificaram que a solução obtida a partir de sementes sem óleo se mostra mais eficiente na redução de turbidez e cor aparente. Para tais autores a extração do conteúdo oléico permite uma melhor sedimentação de sólidos após a coagulação-floculação, o que corrobora os dados obtidos nesta pesquisa.

Dentre as vantagens relacionadas ao uso de *Moringa oleifera* no tratamento de água Ndabigengesere & Narasiah, (1998) citam o fato de tal coagulante não promover alterações significativas nos valores de pH da água tratada, o que resulta em uma maior facilidade operacional e redução de custos tendo em vista que não há necessidade de correção do pH. Os valores de pH da água bruta se situavam na faixa de 8,34 a 8,74. Após o tratamento verificou-se que houve uma leve redução em tais valores, que permaneceram em uma faixa de 7,48 a 8,24. Os valores obtidos estão em acordo com a determinação da Portaria 518/2004, que recomenda que no sistema de distribuição os valores de pH da água tratada sejam mantidos na faixa de 6,0 a 9,5.

5.2. Fase 2: Avaliação da possível relação entre valores de turbidez e dosagem de coagulante para *Moringa oleifera* e tanino

Nesta fase foram testadas diferentes dosagens de coagulantes (solução à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino) em uma faixa de valores de turbidez entre 18 e 80 NTU. Após obtenção da melhor dosagem de cada um dos coagulantes para um determinado valor de turbidez tais pontos foram plotados em um gráfico, e por meio de

regressão linear simples verificou-se a possível relação entre o valor inicial de turbidez e a melhor dosagem de coagulante encontrada.

Na Tabela 10 estão representados valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação obtidos após sedimentação da água tratada para as diferentes dosagens de coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera* em função do valor da turbidez inicial.

Para a turbidez inicial na faixa de 18 NTU adotou-se dosagens menores de coagulante com aumento do tempo de sedimentação. Para os demais valores de turbidez inicial da água bruta manteve-se dosagens na faixa de 500 e 125 mg L⁻¹ e tempo de sedimentação de 30 minutos.

Tabela 10. Valores de turbidez obtidos após a sedimentação da água tratada com diferentes dosagens de solução à base de sementes de *Moringa oleifera* 2% em função da turbidez da água bruta. Gmr = 800 s⁻¹; Tmr = 60 s; Gml = 40 s⁻¹; Tml = 10 min.

Dose (mg L ⁻¹)	Turbidez (NTU)														
	17,57±0,68			33,77±0,60			52,00±1,52			68,63±1,46			80,93±1,79		
	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²
500	79,20	3,03	3,83	20,37	6,34	31,15	7,21	1,38	19,17	5,32	0,26	4,89	4,35	0,27	6,32
425	53,6	3,48	6,49	10,84	1,32	12,16	6,80	0,61	8,93	5,94	0,47	7,91	3,90	0,48	12,29
350	36,67	4,63	12,63	11,58	1,79	15,47	7,40	0,56	7,54	5,50	0,99	18,00	1,28	0,37	28,68
275	13,20	1,28	9,67	9,38	2,49	26,57	6,36	0,16	2,48	3,37	0,81	24,00	5,63	0,24	4,22
200	13,60	0,62	4,59	8,58	1,32	15,39	5,03	1,38	27,42	7,30	2,85	39,06	15,63	1,44	9,19
125	10,12	1,89	18,65	6,94	1,76	25,38	5,63	2,38	42,26	17,11	8,20	47,91	30,67	2,50	8,15
75	8,41	1,35	16,04	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
50	6,41	0,92	14,40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
25	7,15	3,28	45,91	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12,5	9,05	3,78	41,81	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1= Desvio padrão; 2 = Coeficiente de variação (%).

Com a diminuição do valor de turbidez da água bruta observou-se que a redução deste parâmetro após sedimentação também diminuía, ou seja, quanto menor

o valor da turbidez da água bruta, maiores eram os valores de turbidez observados após a sedimentação, corroborando os resultados apresentados por Muyibi & Evison (1995) e Nkurunziza *et al.* (2009). Pode-se verificar também que para esta faixa de turbidez existe uma dosagem ótima de coagulante, sendo que dosagens superiores a esta promovem o aumento da turbidez, constatação também já efetuada por Muyibi & Evison (1995). Tais autores atribuem este fato a reestabilização ou reversão de cargas das partículas desestabilizadas devido ao baixo número de partículas coloidais frente ao excesso de íons positivos no meio. Neste fenômeno devido ao excesso de íons positivos no meio, os colóides tornam-se carregados positivamente (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Apesar de ter comprovado a não ocorrência de reestabilização de cargas em caso de superdosagem de coagulante para valores elevados de turbidez, Ndagigengesere *et al.* (1995) aceita que os prováveis mecanismos envolvidos no processo de coagulação utilizando *Moringa oleifera* sejam adsorção e neutralização de cargas e adsorção e formação de pontes, sendo difícil definir um mecanismo exato, pois na realidade eles podem ocorrer simultaneamente segundo o referido autor.

A Tabela 11 representa valores médios, desvios padrões e coeficientes de variação obtidos com a utilização do tanino em diferentes dosagens para a faixa de turbidez de 18 a 80 NTU.

Tabela 11. Valores de turbidez obtidos após a sedimentação da água tratada com diferentes dosagens de tanino 1% em função da turbidez da água bruta. Gmr = 800 s⁻¹, Tmr = 60 s, Gml = 40 s⁻¹, Tml = 10 min.; TS = 30 min.

Dose (mg L ⁻¹)	Turbidez (NTU)														
	16,45±1,20			34,85±2,19			51,55±0,64			69,30±1,84			80,65±0,78		
	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²	Média	DP ¹	CV ²
24	23,25	0,64	2,74	33,35	1,48	4,45	50,45	6,58	13,03	61,84	4,38	7,09	62,60	6,51	10,39
12	18,15	0,92	5,06	24,60	0,85	3,45	36,50	7,50	20,54	33,20	1,13	3,41	27,75	1,77	6,37
6	13,43	1,34	10,06	16,80	0,14	0,84	16,10	5,37	33,38	1,01	0,53	52,38	0,90	0,13	14,27
3	10,20	---	---	5,92	1,57	26,52	1,21	0,25	21,04	2,65	1,51	56,94	15,57	13,90	89,29
1,5	6,92	0,36	5,22	0,92	0,28	29,91	7,47	0,53	7,10	30,80	5,09	16,53	42,80	1,13	2,64
0,25	5,55	0,49	8,92	35,35	1,20	3,40	51,6	0,28	0,55	69,55	2,05	2,95	80,30	0,14	0,18

1= Desvio padrão; 2 = Coeficiente de variação (%).

Com a utilização do tanino percebeu-se que, assim como para a *Moringa oleífera*, dentro das dosagens testadas também há uma dosagem ótima, sendo que as dosagens superiores e inferiores a esta promovem diminuição da redução da turbidez. Neste caso, exceto para turbidez na faixa de 18 NTU, percebe-se que mesmo para valores baixos de turbidez inicial, os valores de turbidez após sedimentação para a melhor dosagem são baixos, se situando na faixa de 1 NTU. Para a turbidez média de 16,45 NTU o valor mínimo de turbidez observado após sedimentação foi 5,55 NTU. No entanto este valor de turbidez foi obtido para a menor dosagem de coagulante testada.

Com base nos resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11, definiu-se a melhor dosagem de coagulante para cada valor de turbidez estudado, conforme pode ser visualizado na Tabela 12.

Por meio de análise de regressão linear simples dos valores expostos na Tabela 12, sendo dosagem a variável dependente e variável independente o valor de turbidez inicial, foi avaliado se há relação entre a turbidez inicial da água a ser tratada e a dosagem de coagulante.

Tabela 12. Melhores dosagens de solução à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino para os valores de turbidez testados.

<i>Moringa oleifera</i> (C= 2%)		Tanino (C= 1%)	
Turbidez média inicial (NTU)	Melhor dosagem (mg L ⁻¹)	Turbidez média inicial (NTU)	Melhor dosagem (ml L ⁻¹)
17,57	50	16,45	0,25
33,77	125	34,85	1,5
52,00	200	51,55	3
68,63	275	69,3	6
80,93	350	80,65	6

A Figura 12 ilustra os resultados da análise de regressão entre os valores iniciais de turbidez e melhor dosagem de coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera*.

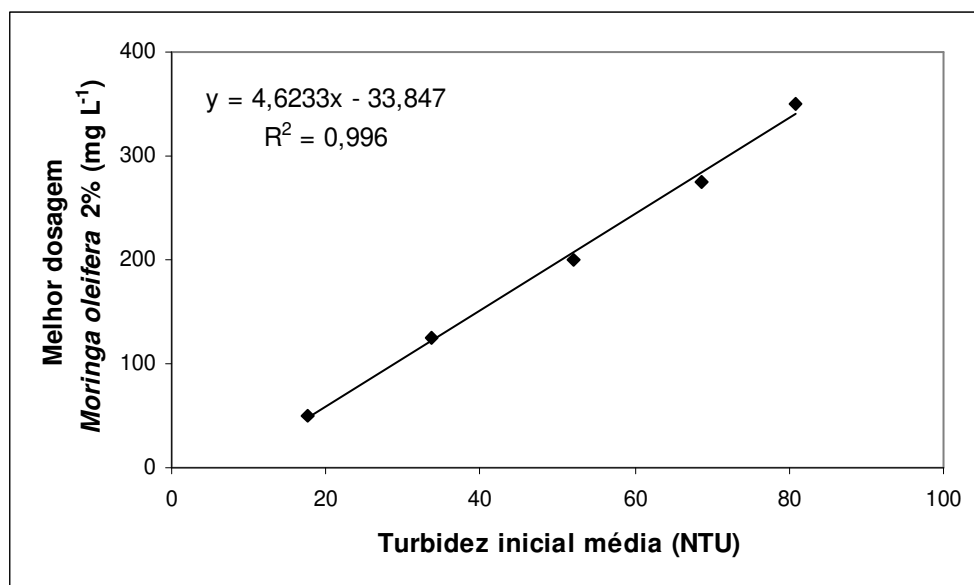


Figura 12. Análise de regressão entre a turbidez inicial média e a melhor dosagem de *Moringa oleifera*.

Para a solução à base de sementes de *Moringa oleifera* foi constatado que nas condições propostas no presente trabalho (utilização de água com valores de turbidez obtidos sinteticamente) existe relação entre a turbidez da água a ser tratada e a dosagem deste coagulante dentro da faixa de turbidez estudada. Observa-se na Figura 12 que os pontos estão distribuídos segundo uma reta. Além disso, foi observado elevado coeficiente de determinação (r^2), com valor muito próximo de +1, o que indica um bom ajuste da reta aos dados observados (NASCIMENTO *et al.*, 1996). Paterniani *et al.* (2009), analisando água com turbidez obtida sinteticamente, verificaram que a dosagem de coagulante deve ser proporcional à turbidez de água bruta a ser tratada, o que pode ser confirmado a partir da observação da Figura 12.

A Figura 13 representa a análise de regressão entre os valores de turbidez inicial e a melhor dosagem de tanino 1%.

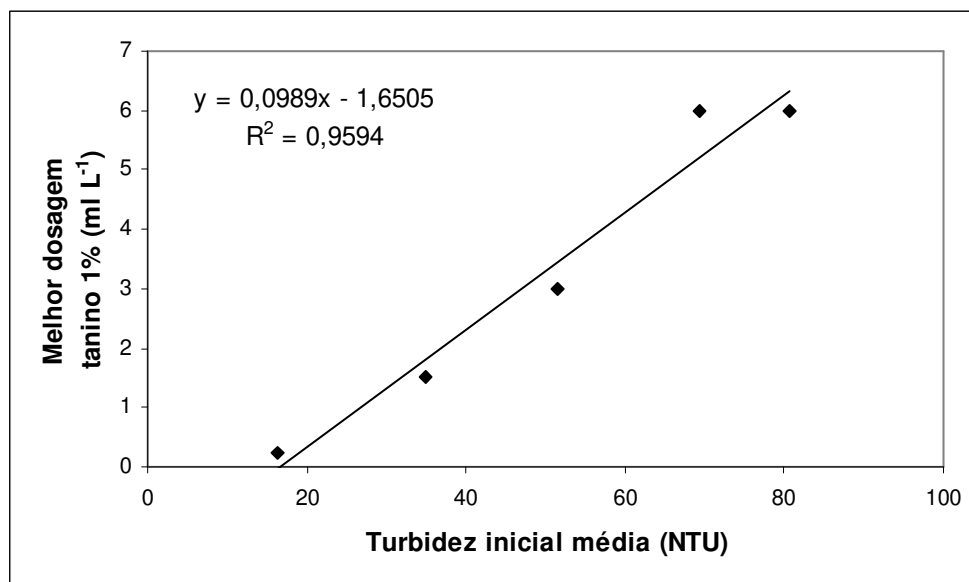


Figura 13. Análise de regressão entre a turbidez inicial média e a melhor dosagem de tanino a 1%.

No caso da Figura 13, apesar do coeficiente de determinação (r^2) ser considerado elevado (0,9594), uma observação dos pontos presentes no gráfico gera incertezas quanto à distribuição dos mesmos segundo uma reta. Nascimento *et al.* (1996) afirmam que mesmo que os pontos não estejam distribuídos segundo uma reta

podem ser obtidos elevados valores de r , dando a falsa impressão de ajuste linear. Desta forma, entende-se que para uma conclusão quanto a uma relação deste tipo para o tanino seria necessário a realização de mais ensaios, talvez com valores de turbidez mais elevados, além de ensaios com valores de turbidez intermediários aos que já foram testados.

5.3. Fase 3: Utilização dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração lenta

A água a ser filtrada, por efeito gravitacional era direcionada do equipamento Jar- Test para o filtro. Como o nível de água nos jarros não era constante observou-se que a vazão de entrada no filtro sofria reduções ao longo do tempo. Na tentativa de minimizar tal efeito era efetuado ajuste da vazão na entrada do filtro a cada 15 minutos, para que dentro do possível, ocorressem baixas oscilações na taxa de filtração. Os valores médios da taxa de filtração obtidos durante o processo de filtração para os coagulantes testados em função da condição operacional adotada nas etapas de coagulação e floculação e a duração de cada ensaio encontram-se descritos na Tabela 13. Calculou-se a vazão média para cada ensaio e dividiu-se este valor pela área do filtro, conforme a Equação 1, obtendo-se assim a taxa de filtração média para cada ensaio.

$$TF = \frac{Q}{Af} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde: TF = taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$)

Q = vazão média na saída do filtro (m^3/dia)

Af = área do filtro (m^2)

Tabela 13. Taxa de filtração média e tempo de filtração em função da dosagem de coagulante e das condições operacionais adotadas durante etapas precedentes à filtração.

Ensaio	Mist. rápida (coagulação)		Mist. lenta (floculação)		Taxa média de filtração (m ³ /m ² dia) e tempo de filtração (horas)									
	Gmr (s ⁻¹)	Tmr (s.)	Gml (s ⁻¹)	Tml (min.)	Moringa oleífera 2%				Tanino 1%				Ausência de coagulante	
					500 mg L ⁻¹		300 mg L ⁻¹		12 ml L ⁻¹		6 ml L ⁻¹		Taxa	Tempo
					Taxa	Tempo	Taxa	Tempo	Taxa	Tempo	Taxa	Tempo		
1A	400	30	20	10	4,27	02:15	4,08	02:00	2,32	01:45	4,54	03:30	---	---
1B	400	30	20	10	4,88	01:45	4,04	01:45	3,10	02:00	4,40	03:30	---	---
2A	400	60	20	10	3,53	02:00	3,87	02:00	3,05	01:45	4,30	03:30	---	---
2B	400	60	20	10	4,91	02:00	3,70	02:30	2,20	02:00	3,76	03:45	---	---
3A	800	30	20	10	4,59	02:00	3,85	02:00	3,81	01:45	4,57	03:15	---	---
3B	800	30	20	10	4,08	02:00	4,54	01:45	2,73	02:00	4,01	03:45	---	---
4A	800	60	20	10	4,87	02:00	4,08	02:00	3,32	02:00	4,26	03:15	---	---
4B	800	60	20	10	4,75	01:45	4,20	02:00	3,20	02:00	4,83	03:15	---	---
AC*	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	5,48	03:00
AC*	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	5,39	03:15

* Ensaio efetuado na ausência de coagulante e condições de coagulação e floculação, tendo ocorrido somente filtração da água com turbidez obtida sinteticamente.

Com base na Tabela 13 pode-se observar que não foi possível manter uma taxa de filtração constante para todos os ensaios em função das características do sistema, conforme citado anteriormente. No entanto a faixa de taxa de filtração adotada está dentro do recomendado por Di Bernardo (1999) para filtração lenta. No caso da filtração lenta a duração da carreira de filtração depende da carga hidráulica disponível e da taxa de filtração, sendo que a carga hidráulica é resultante da soma da perda de carga inicial (relacionada às características físicas do sistema) e a correspondente à retenção de impurezas (DI BERNARDO, 1999). Fazendo uma analogia entre carreira de filtração em sistemas reais e o tempo de filtração observado neste trabalho percebe-se que considerando que o sistema de filtração apresentava perda de carga inicial similar para as quatro dosagens, pode-se afirmar que a variação no tempo de filtração

observada na tabela 13 para as diferentes dosagens de coagulante provavelmente ocorreu em função da retenção de impurezas no meio filtrante.

Staciarini (1998) considera que o acúmulo de impurezas na parte superior do filtro forma uma película que reduz os poros disponíveis para o fluxo de água, sendo que esta resistência aumenta em função das seguintes condições: elevação da carga de sólidos suspensos na água, aumento da taxa de filtração e diminuição da granulometria do meio filtrante.

Como a água bruta utilizada em todos os ensaios apresentava carga de sólidos praticamente igual, pois o procedimento de preparo era o mesmo, provavelmente a maior duração dos ensaios utilizando dosagem de 6 ml L^{-1} esteja relacionada às características e quantidade do coagulante. A metodologia utilizada para preparo da solução à base de *Moringa oleifera* neste trabalho certamente confere presença de carga orgânica à água, o que pode ter contribuído para o aumento da carga de sólidos na água, ocasionando redução da duração da filtração. Provavelmente, em função do elevado valor de turbidez inicial (faixa de 105 NTU) houve uma interferência mais acentuada da carga de sólidos aplicada na duração da filtração do que da taxa de filtração adotada. Percebe-se que mesmo para taxas de filtração menores houve diminuição do tempo de filtração. No tratamento de água bruta sem adição de coagulante percebe-se que valores mais elevados da taxa de filtração e tempo de filtração similar ao observado para a dosagem de 6 ml L^{-1} de tanino, no entanto, não se observou redução significativa de turbidez e cor aparente em tais ensaios.

5.3.1. Redução de turbidez

No tratamento de água destinada ao consumo humano a turbidez vem se consolidando como um dos principais parâmetros na avaliação do desempenho das estações de tratamento, sendo que o principal respaldo para este fato está relacionado aos estudos recentes que tem associado à remoção desta característica física à de cistos e oocistos de protozoários (TEIXEIRA *et al.*, 2004) além de sua influência no

processo de desinfecção. A Portaria 518/2004 estabelece que para água destinada ao consumo tratada por processo de filtração lenta o limite máximo de turbidez seja 2 NTU, recomendando valores inferiores a 5 NTU para o máximo de 5% das amostras.

Para um melhor entendimento dos resultados optou-se por comparar as 4 dosagens testadas de acordo com as condições operacionais adotadas durante as etapas de coagulação e floculação que precederão a filtração. A Tabela 13 demonstra os parâmetros adotados em cada ensaio. Além das 4 dosagens testadas, realizou-se também 2 ensaios com ausência de coagulante e sem realização das etapas de coagulação e floculação, cujos resultados se encontram apresentados individualmente no item 5.3.1.5.

5.3.1.1. Ensaio 1

Para realização deste ensaio a etapa de coagulação foi efetuada com gradiente médio de mistura rápida de 400 s^{-1} e tempo de agitação de 30 segundos. Durante a floculação adotou-se gradiente médio de velocidade de 20 s^{-1} e tempo de agitação de 10 minutos. Após a floculação a água foi encaminhada para o filtro, de onde foram coletadas amostras ao longo do tempo.

A Figura 14 representa os valores médios de turbidez remanescente ao longo da filtração para os 2 coagulantes testados e suas respectivas dosagens. A média obtida se refere aos 2 ensaios efetuados com as condições operacionais expostas na Tabela 13 (1A e 1B). Optou-se pelo uso de gráficos com escala logarítmica para melhor visualização dos resultados.

Para todas as dosagens de coagulante testadas houve uma considerável redução da turbidez após a filtração. Para as quatro dosagens os maiores valores de turbidez foram observados no início da filtração. Para a *Moringa oleífera* com dosagem de 300 mg L^{-1} ocorreu uma redução gradativa da turbidez ao longo do tempo, sendo que foram observados valores superiores a 1 NTU até 1 hora e 15 minutos de ensaio. Para as demais dosagens de coagulantes já com 15 minutos de filtração os valores

médios de turbidez se encontravam abaixo de 1 NTU, situação que foi mantida durante todo ensaio com pequenas oscilações.

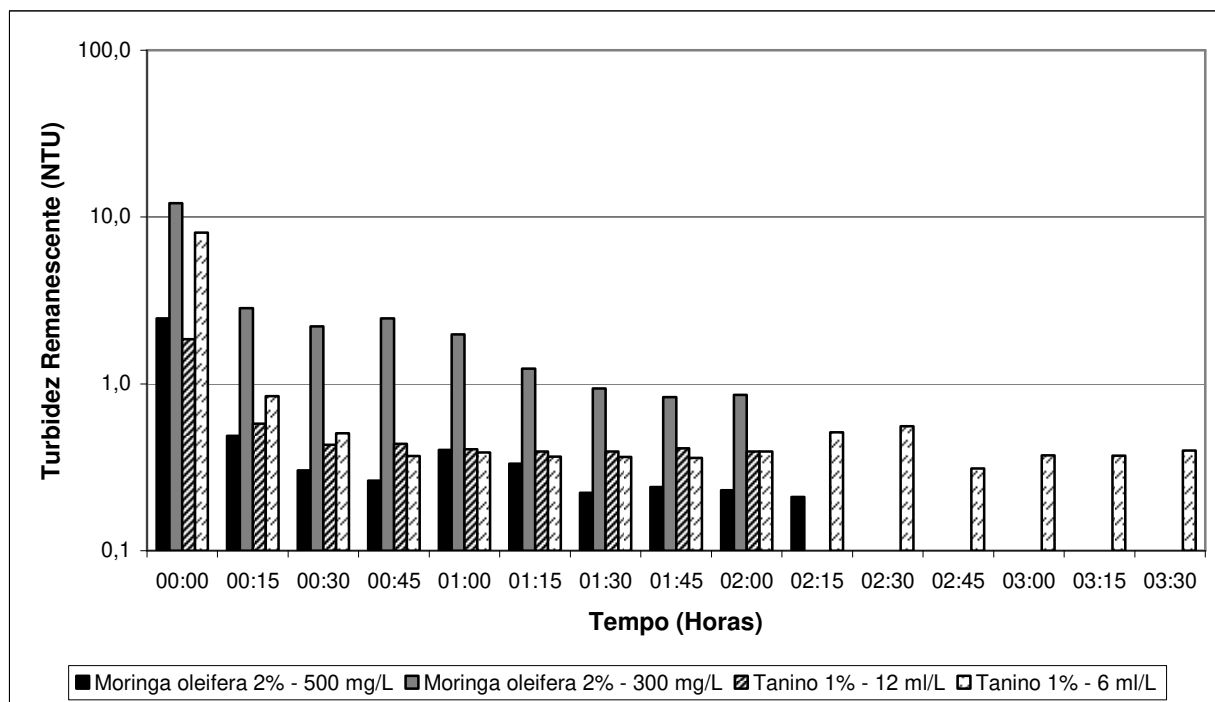


Figura 14. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Turbidez média AB = $106,3 \pm 2,2 \text{ NTU}$.

Dentre as quatro dosagens, os melhores resultados em termos de redução de turbidez foram observados para a *Moringa oleifera* com dosagem de 500 mg L^{-1} . Para as duas dosagens de tanino os valores de turbidez foram bastante similares, tendo ocorrido pequenas elevações para a dosagem de 6 ml L^{-1} em determinados momentos. A dosagem de 6 ml L^{-1} de tanino proporcionou um considerável aumento no tempo de filtração (duração de 3 horas e 30 minutos) quando comparada com as demais dosagens que tiveram tempo de filtração similares entre si, com duração em torno de 2 horas à 2 horas e 15 minutos.

A Figura 15 apresenta as faixas de variação da turbidez ao longo do ensaio de filtração para cada ensaio efetuado com as 4 dosagens testadas na condição do ensaio 1. As extremidades do gráfico representam os valores máximos e mínimos, as extremidades inferior e superior da caixa são os percentis 25% e 75%. Já o ponto dentro da caixa representa a mediana (percentil 50%).

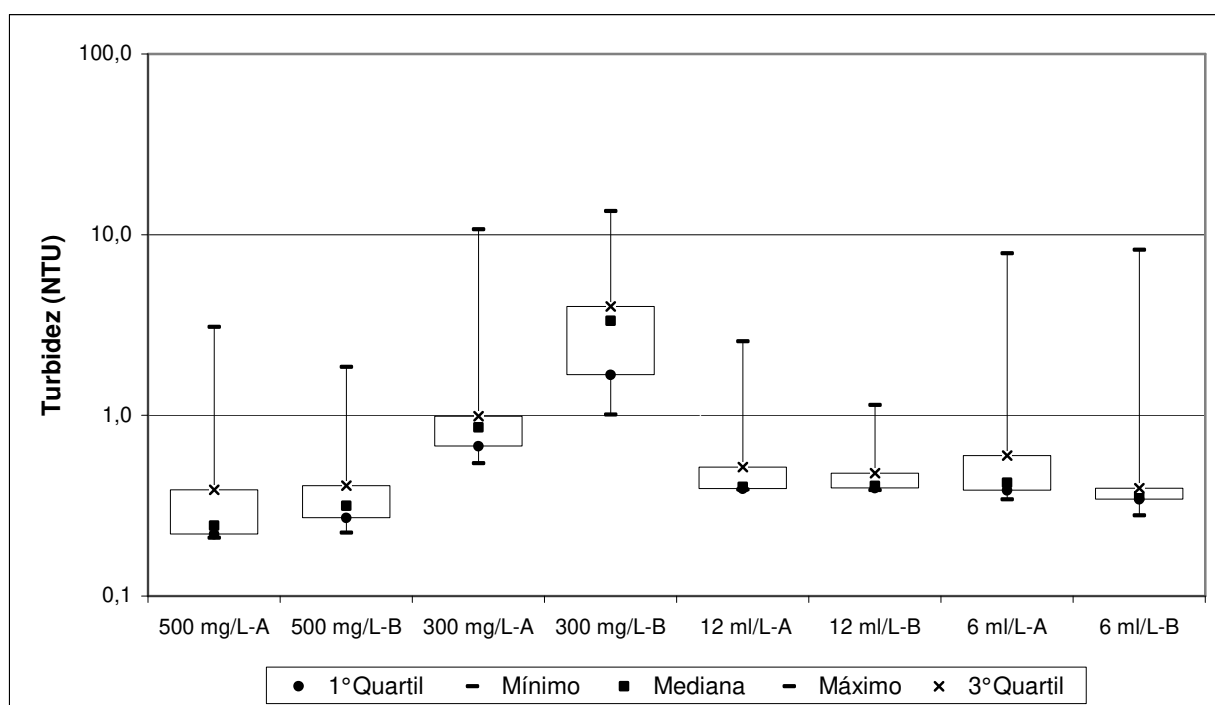


Figura 15. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

Analisando os dois ensaios referentes a cada dosagem observa-se que houve um comportamento similar entre os mesmos com exceção da dosagem de 300 mg L^{-1} , onde para o ensaio A praticamente 75% dos valores de turbidez eram inferiores a 1 NTU. Já no ensaio B todos os valores de turbidez estavam acima de 1 NTU. Os resultados apresentados na Figura 14 para a dosagem de 300 mg L^{-1} foram influenciados por esta diferença de resultados entre o ensaio A e B. Em todos os

ensaios o valor máximo de turbidez corresponde à amostra coletada no início da filtração.

5.3.1.2. Ensaio 2

No ensaio 2 o gradiente médio de mistura rápida adotado durante a coagulação foi 400 s^{-1} com tempo de agitação de 60 segundos. As condições de mistura lenta foram as mesmas para os quatro ensaios, sendo gradiente médio de velocidade igual a 20 s^{-1} e tempo de agitação de 10 minutos.

A Figura 16 ilustra os valores médios de turbidez para cada ensaio com as condições expostas acima obtidos para as quatro dosagens de coagulantes testadas ao longo da filtração.

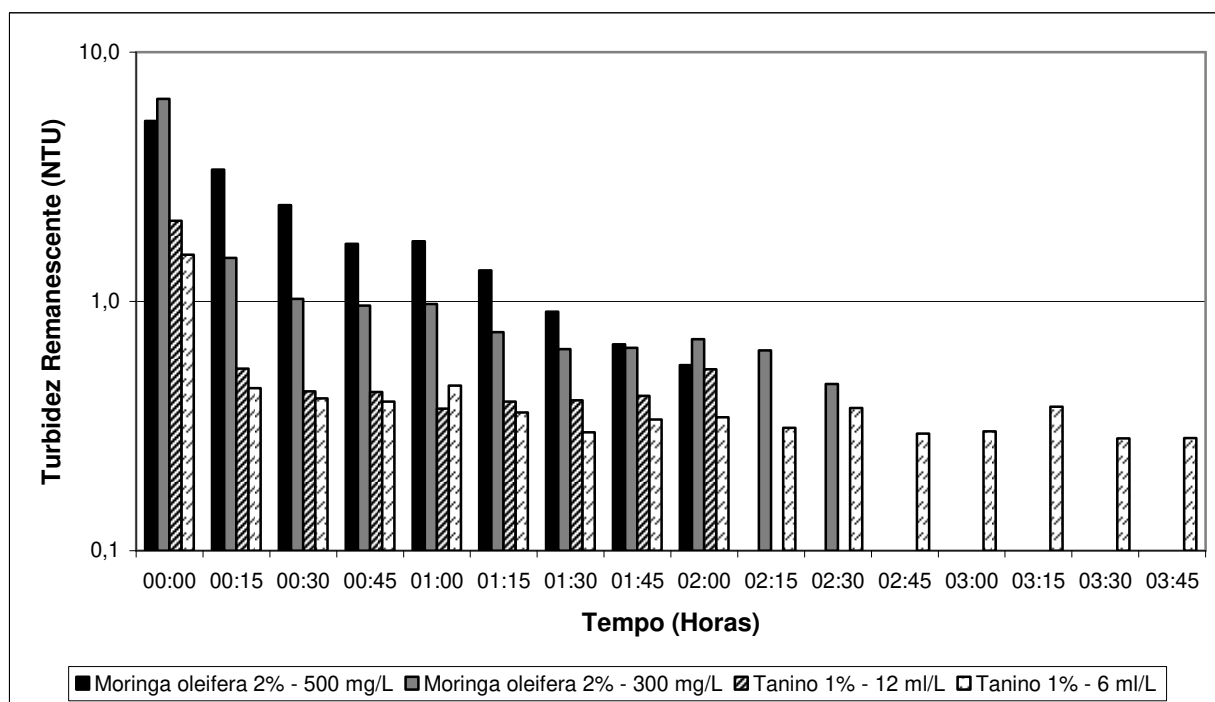


Figura 16. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400\text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60\text{ s}$, $G_{ml} = 20\text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10\text{ min}$. Turbidez média da AB = $107,9 \pm 2,8\text{ NTU}$.

Observa-se que neste caso a dosagem de 500 mg L^{-1} de *Moringa oleifera* não produziu água com qualidade similar ao observado no ensaio 1, sendo que com esta dosagem ocorreu uma redução gradativa da turbidez ao longo do tempo. Para as demais dosagens os valores de turbidez foram mantidos abaixo de 1 NTU grande parte do tempo, sendo que com a dosagem de 300 mg L^{-1} de *Moringa oleifera* obteve-se valores de turbidez bastante próximos a 1 NTU. Para as duas dosagens de tanino os valores de turbidez foram menores do que para a *Moringa oleifera*, apesar de ter ocorrido oscilações da turbidez ao longo do tempo. Novamente, a dosagem de 6 ml L^{-1} de tanino proporcionou tempo de duração da filtração consideravelmente superior as demais dosagens.

A Figura 17 corresponde às variações de turbidez ocorridas para cada ensaio com suas respectivas dosagem ao longo da filtração.

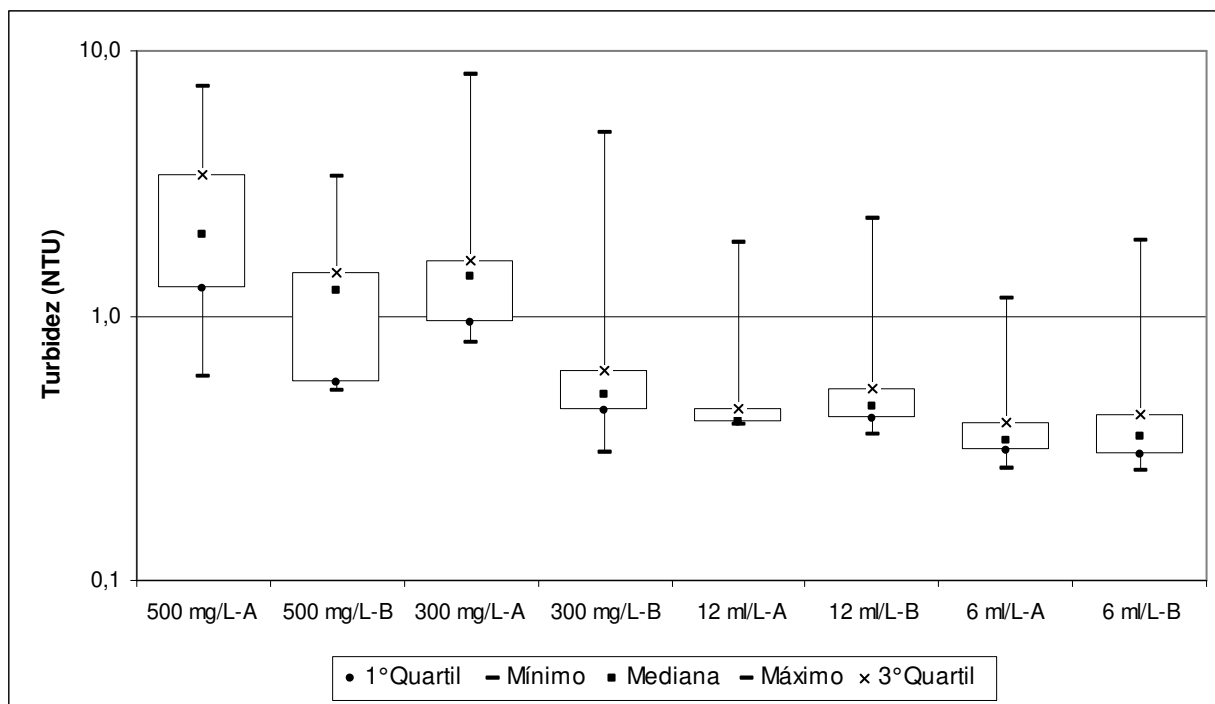


Figura 17. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

Percebe-se que maiores oscilações para os valores de turbidez ao longo da filtração ocorreram com a utilização da *Moringa oleifera*. Com a utilização de 500 mg L⁻¹ no ensaio A mais de 75% das amostras apresentaram valores de turbidez superiores a 1 NTU. Para o ensaio B pode-se verificar que mais que 50% das amostras se encontravam na situação observada para o ensaio A. Com a utilização de 300 mg L⁻¹ houve uma variação ainda maior entre os ensaios. No ensaio A praticamente 75% das amostras apresentavam valores de turbidez acima de 1 NTU. Em contrapartida no ensaio B mais de 75% das amostras apresentaram turbidez inferior a 1 NTU.

Para o tanino, em todos os ensaios mais que 75% dos valores de turbidez estiveram abaixo de 1 NTU. Novamente, os valores máximos apresentados referem-se ao início da filtração.

5.3.1.3. Ensaio 3

Durante a etapa de coagulação, o gradiente médio de mistura rápida adotado foi elevado para 800 s⁻¹ com tempo de agitação de 30 segundos. As condições de mistura lenta foram: gradiente médio de velocidade de 20 s⁻¹ e tempo de agitação de 10 minutos.

A Figura 18 representa os valores médios de turbidez ao longo da filtração para as quatro dosagens de coagulante testadas.

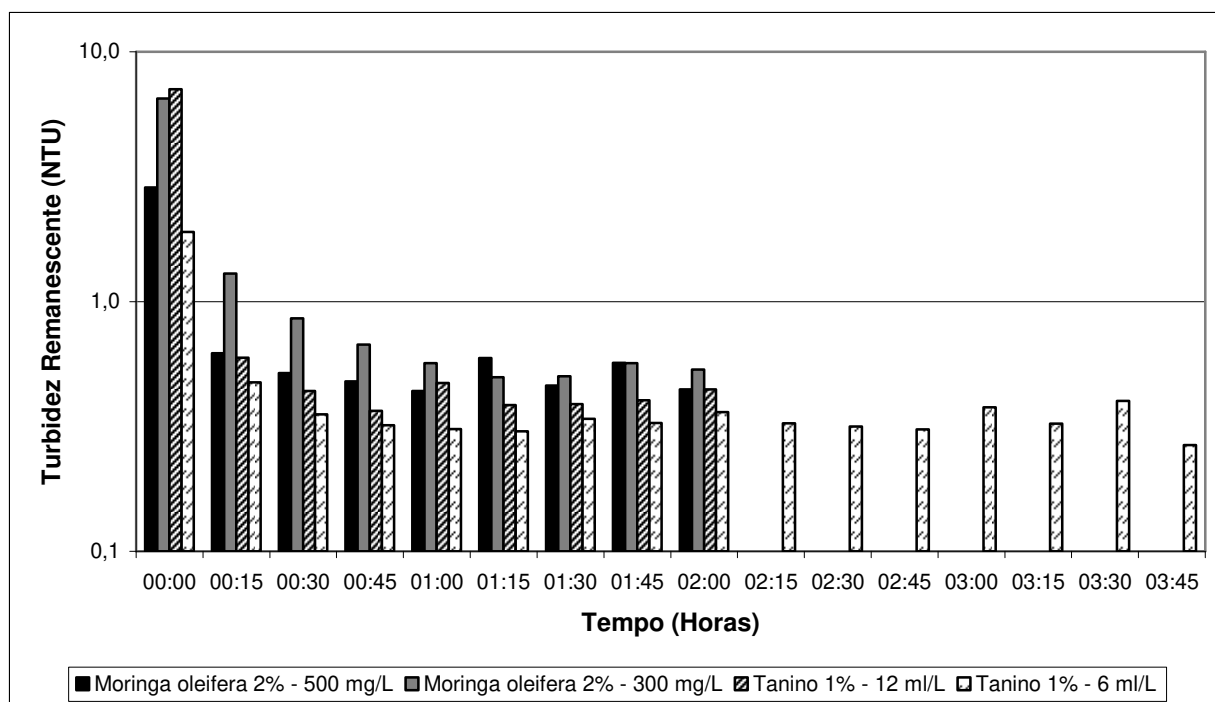


Figura 18. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Turbidez média AB = $107,5 \pm 6,3 \text{ NTU}$.

Com exceção do início da filtração e da dosagem de 300 mg L^{-1} de *Moringa oleifera* aos 15 minutos, os demais valores médios de turbidez ficaram abaixo de 1 NTU durante a filtração. Para a *Moringa oleifera* observou-se que para as duas dosagens os valores médios de turbidez foram similares, permanecendo grande parte do tempo abaixo de 1 NTU. O tanino apresentou os melhores resultados, sendo que com a dosagem de 6 ml L^{-1} , apesar de ter ocorrido um ligeiro aumento nos instantes finais da filtração, os valores médios de turbidez foram inferiores ao observado para 12 ml L^{-1} .

A variação dos valores de turbidez durante filtração para as diferentes dosagens de coagulante testadas encontra-se na Figura 19. Com base na referida figura, pode-se perceber que no ensaio 3, para todas as dosagens testadas houve uma menor variação da turbidez ao longo da filtração, sendo que mais que 75% das amostras apresentaram valores de turbidez inferiores a 1 NTU para todas as dosagens

testadas. Como nos ensaios anteriores, os valores máximos de turbidez são referentes às amostras iniciais.

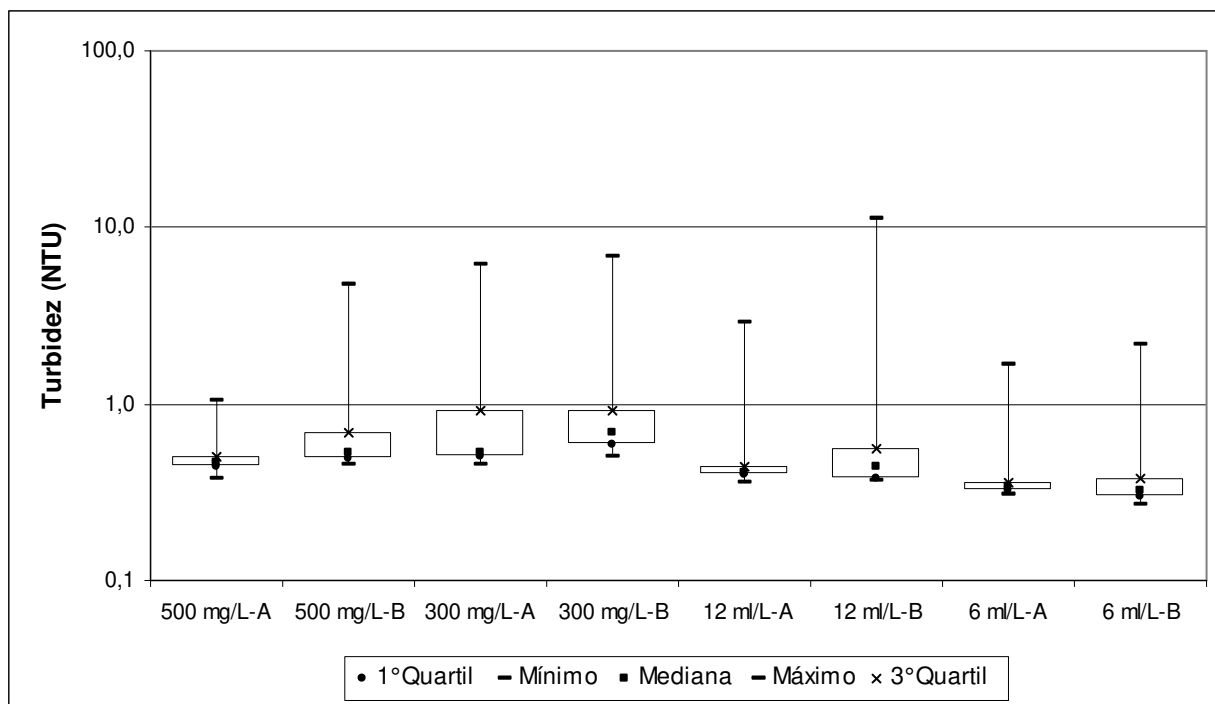


Figura 19. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

5.3.1.4. Ensaio 4

No quarto ensaio adotou-se gradiente médio de velocidade durante a coagulação de 800 s^{-1} pelo período de 60 segundos. A floculação foi efetuada com gradiente médio de 20 s^{-1} com tempo de agitação de 10 minutos.

Os valores médios de turbidez para as dosagens de coagulantes testadas ao longo do da filtração são apresentados na Figura 20.

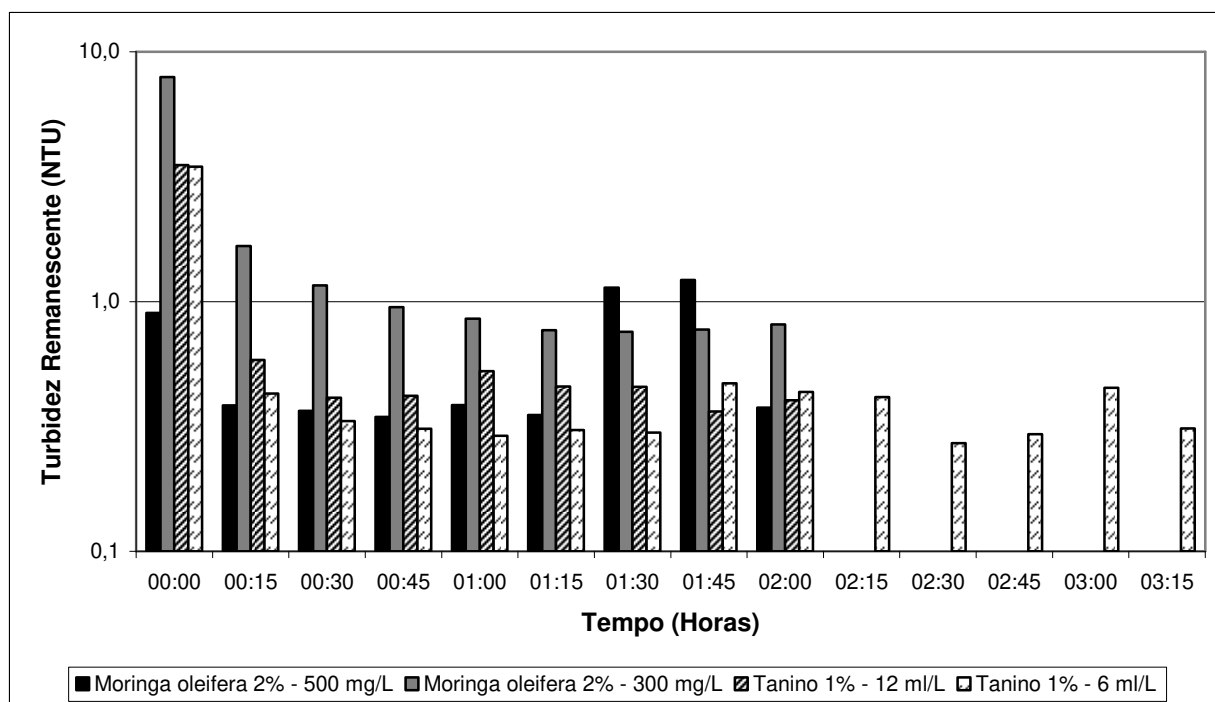


Figura 20. Turbidez remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Turbidez média AB = $108,1 \pm 4,5 \text{ NTU}$.

Com a utilização da *Moringa oleifera* com dosagem de 500 mg L^{-1} observou-se que já nos instantes iniciais de filtração a turbidez média da água era inferior a 1 NTU. No entanto em um determinado momento acontecerão picos de turbidez que atingiu valores superiores a 1 NTU, e em seguida observou-se novamente valores de turbidez inferiores a 1 NTU. Com dosagem de 300 mg L^{-1} verificou-se que os valores médios de turbidez até 30 minutos de filtração, eram superiores a 1 NTU e após este período todos os demais valores de turbidez ficaram próximos de 1 NTU. Para o tanino após 15 minutos de filtração verificou-se sempre valores de turbidez inferiores a 1 NTU. Novamente, a dosagem de 6 ml L^{-1} se mostrou mais eficiente, apesar de ter ocorrido oscilações no valor da turbidez ao longo da filtração.

As variações de turbidez ocorridas durante a filtração para cada ensaio em função da dosagem de coagulante adotada são apresentadas na Figura 21.

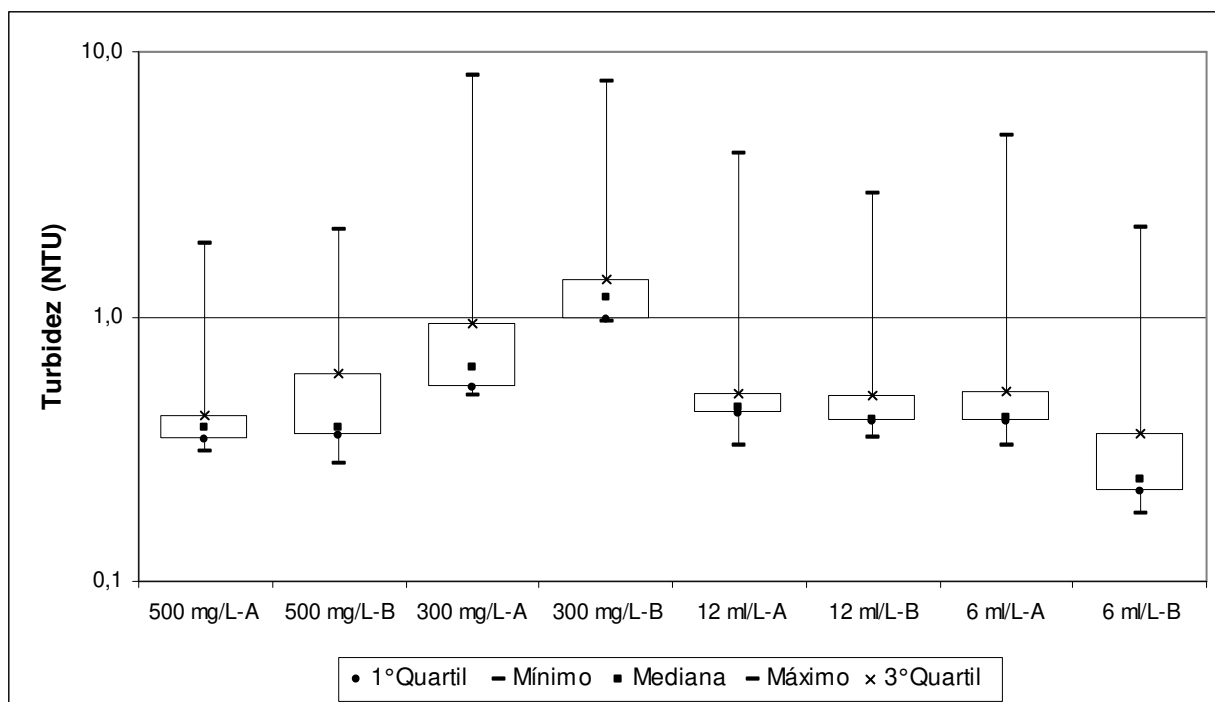


Figura 21. Variação dos valores de turbidez ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

Somente o ensaio 4B utilizando 300 mg L^{-1} de *Moringa oleifera* apresentou maior parte dos valores de turbidez superiores a 1 NTU. Nota-se que neste caso praticamente todas as amostras apresentavam turbidez acima de 1 NTU. Para o ensaio 4A com 300 mg L^{-1} de *Moringa oleifera* e demais dosagens observa-se que mais que 75% das amostras apresentavam turbidez inferior a 1 NTU.

5.3.1.5. Ensaio sem adição de coagulante

A Figura 22 demonstra os valores de turbidez observados para os dois ensaios efetuados sem adição de coagulante à água a ser tratada. Conforme já citado, em tais ensaios não se efetuou etapas de coagulação e floculação, tendo em vista que tais processos objetivam o contato e reações do coagulante com as impurezas presentes na

água a ser tratada. Como não se adicionou coagulante a água entende-se que a adoção de tais etapas seria desnecessária.

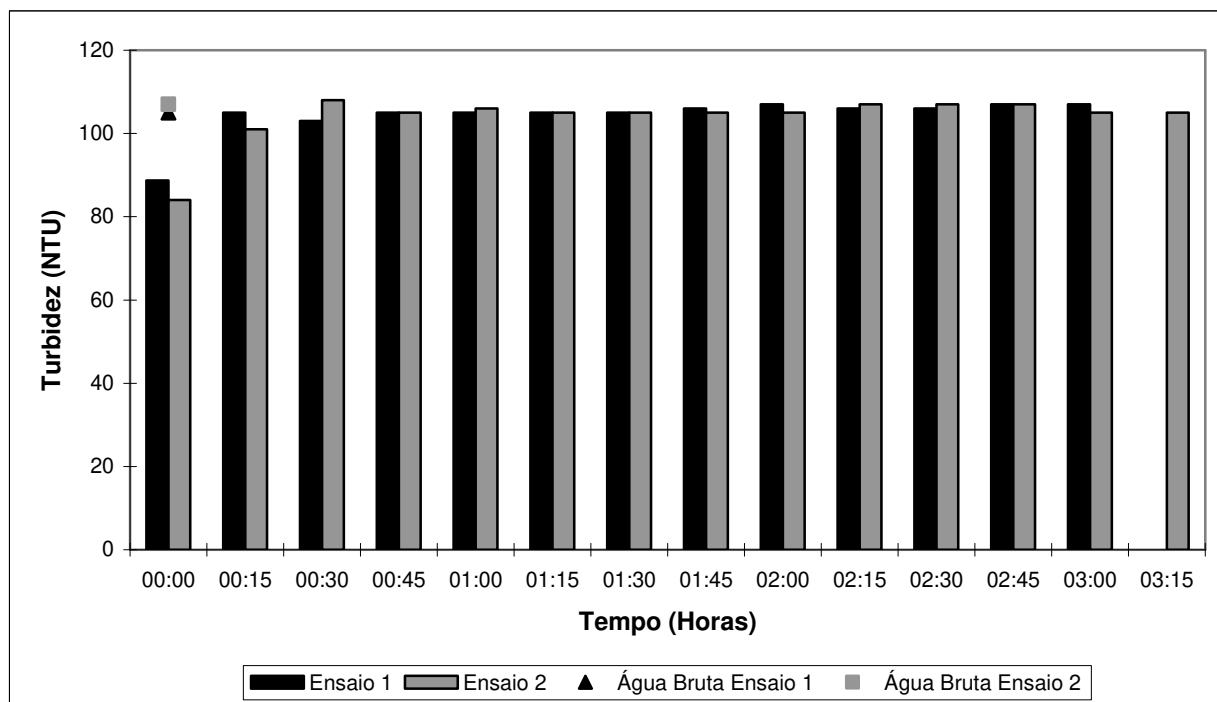


Figura 22. Turbidez remanescente em função do tempo de filtração para os 2 ensaios efetuados sem coagulante.

Conforme demonstra a Figura 22, nos ensaios de filtração da água bruta sem adição de coagulantes observou que não houve redução de turbidez ao longo da filtração. No início da filtração os valores de turbidez foram 88,7 e 84,0 NTU para os ensaio 1 e 2, respectivamente. Deve-se considerar que as mantas eram umedecidas com água destilada ao início de cada ensaio, o que provavelmente justifique esta redução de turbidez no início da filtração. Após este período os valores observados eram praticamente os mesmos observados para a água bruta.

5.3.2. Redução de cor aparente

Novamente, os resultados referentes à redução de cor aparente da água tratada foram divididos conforme as condições operacionais adotadas em cada ensaio, sendo possível comparar as 4 dosagens de coagulante adotadas levando-se em consideração os parâmetros operacionais adotados durante a coagulação e floculação. Os valores demonstrados nas figuras abaixo se referem às leituras efetuadas durante o período de filtração. Para a água filtrada sem uso adição de coagulante observou-se que, com exceção do início da filtração, não ocorreu redução de cor aparente.

5.3.2.1. Ensaio 1

Neste ensaio a etapa de coagulação foi efetuada com gradiente médio de mistura rápida de 400 s^{-1} e tempo de agitação de 30 segundos. Durante a floculação adotou-se gradiente médio de velocidade de 20 s^{-1} e tempo de agitação de 10 minutos.

A Figura 23 representa os valores médios de cor aparente ao longo da filtração para as diferentes dosagens de coagulante testadas.

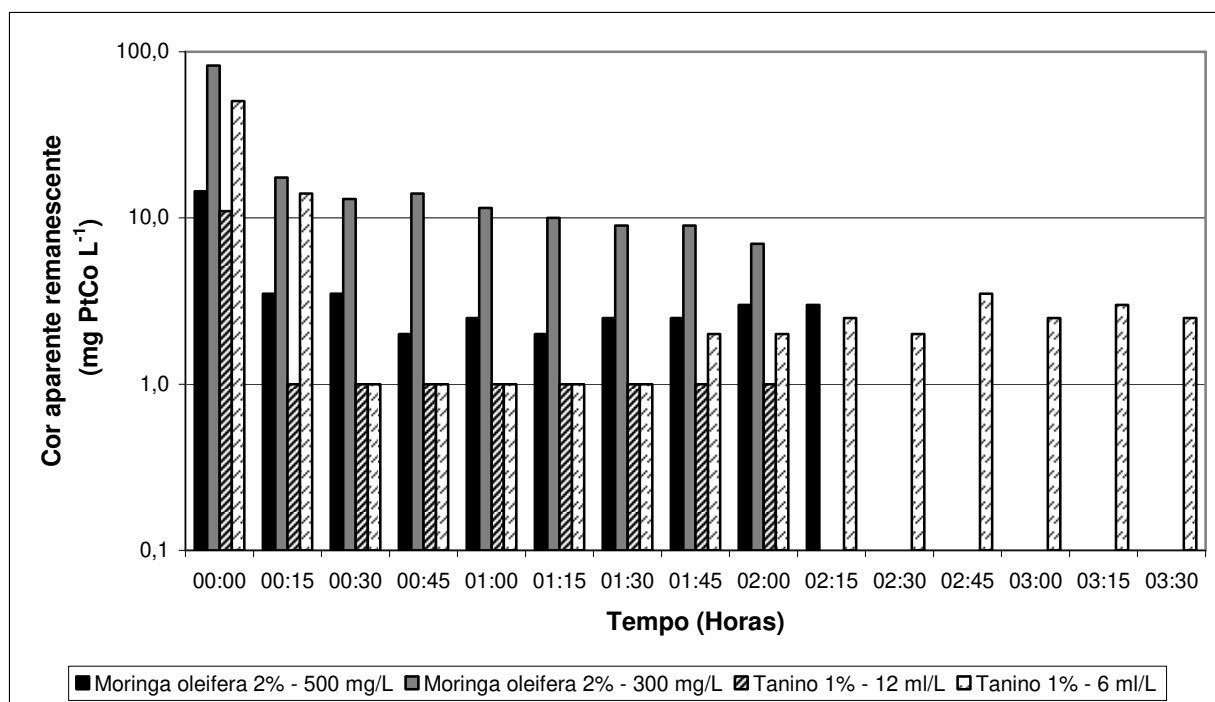


Figura 23. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Cor aparente média AB = $551,8 \pm 68,7 \text{ mgPtCo L}^{-1}$.

Observa-se que para este parâmetro maiores reduções de cor aparente foram obtidas com a utilização do tanino. Sendo que para a dosagem de 12 ml L^{-1} deste coagulante após 15 minutos de filtração o valor de cor aparente foi igual a 1 mgPtCo L^{-1} . Com a dosagem de 6 ml L^{-1} os valores médios de cor aparente até 01:30 h era iguais a 1 mgPtCo L^{-1} , sofrendo oscilações para valores superiores após este período até o final da filtração. Para a *Moringa oleifera* os valores médios de cor aparente foram superiores a 1 mgPtCo L^{-1} para as duas dosagens testadas, sendo que para a dosagem de 300 mg L^{-1} observou-se que tais valores ficaram a na faixa de 10 mgPtCo L^{-1} .

A Figura 24 representa as variações ocorridas durante cada ensaio para as diferentes dosagens de coagulante testadas.

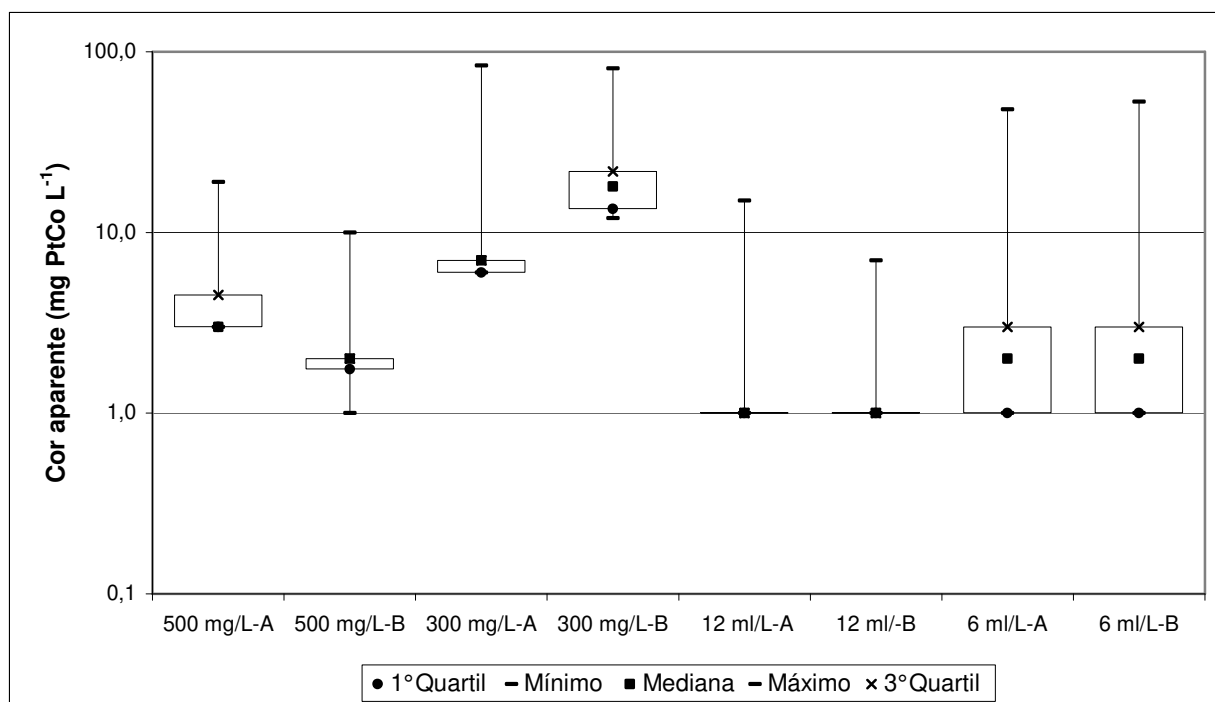


Figura 24. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

Comparando os diferentes ensaios (A e B) para um mesmo coagulante percebe-se que com a utilização da *Moringa oleifera* houve uma variabilidade maior entre os valores de cor aparente observados para os ensaios com dosagens iguais. Com a dosagem de 300 mg L^{-1} a variação de cor aparente foi a maior observada entre ensaios, sendo que para o ensaio A grande parte dos valores (acima de 75%) eram inferiores a 10 mgPtCo L^{-1} . Já no ensaio B para esta mesma dosagem observou-se que todos os valores de cor aparente eram superiores a 10 mgPtCo L^{-1} .

Para o tanino houve um comportamento similar entre as repetições para uma mesma dosagem. No entanto, com a dosagem de 12 ml L^{-1} percebeu-se uma menor variabilidade dos dados, com praticamente todos os valores permanecendo igual 1 mgPtCo L^{-1} . Para a dosagem de 6 ml L^{-1} , verificou-se que mais de 75% das amostras apresentavam valores de cor aparente inferior a 10 mgPtCo L^{-1} .

5.3.2.2. Ensaio 2

As condições operacionais adotadas no segundo ensaio foram: durante a coagulação o gradiente de velocidade foi 400 s^{-1} com tempo de agitação de 60 segundos. Para a floculação adotou-se gradiente médio de velocidade de 20 s^{-1} por um período de 10 minutos.

Os valores médios de cor aparente para as diferentes dosagens de coagulante testados ao longo da filtração encontram-se ilustrados na Figura 25.

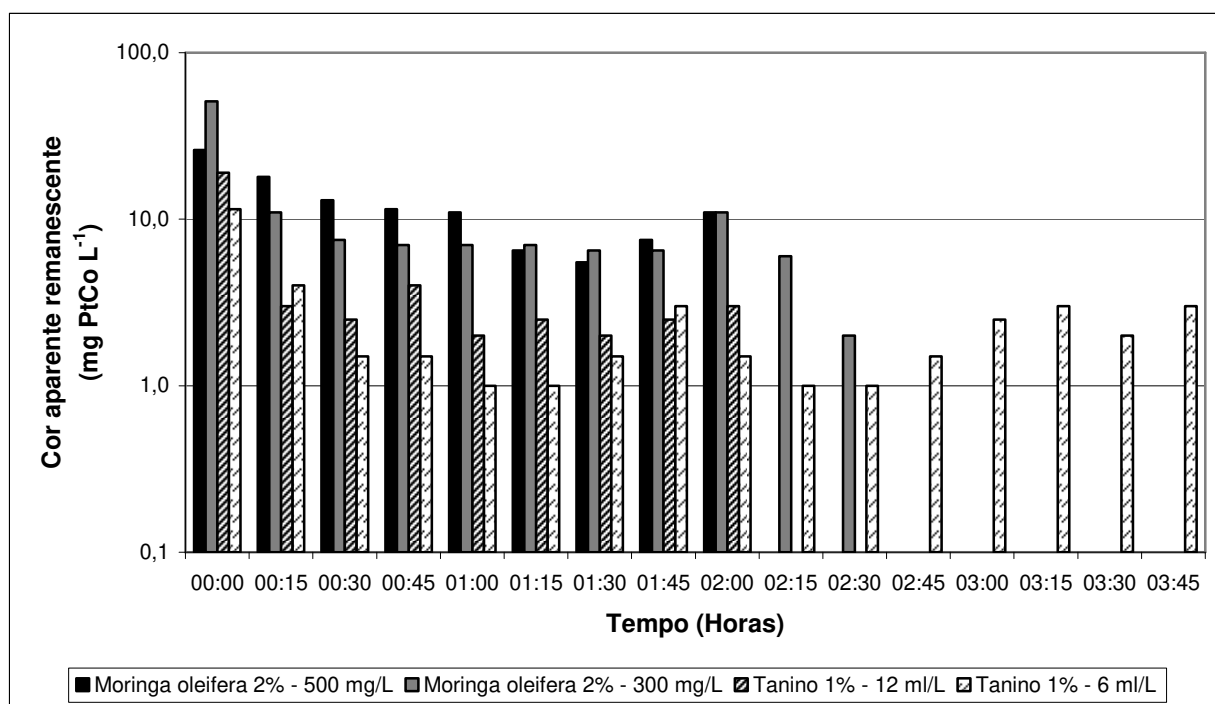


Figura 25. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 400\text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60\text{ s}$, $G_{ml} = 20\text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10\text{ min}$. Cor aparente média AB = $562,0 \pm 79,4\text{ mgPtCo L}^{-1}$.

Pode-se verificar que com a utilização da *Moringa oleifera* os valores médios de cor aparente permaneceram próximos a 10 mgPtCo L^{-1} durante a filtração. Com a utilização do tanino os valores médios de cor aparente foram inferiores ao observado

para a *Moringa oleifera*, sendo que a dosagem de 6 ml L⁻¹ apresentou os menores valores de cor aparente por um período, tendo ocorrido uma oscilação destes valores ao longo de todo ensaio.

A Figura 26 demonstra a variação de dados ocorrida durante a filtração para as diferentes dosagens de coagulante testadas em função do ensaio.

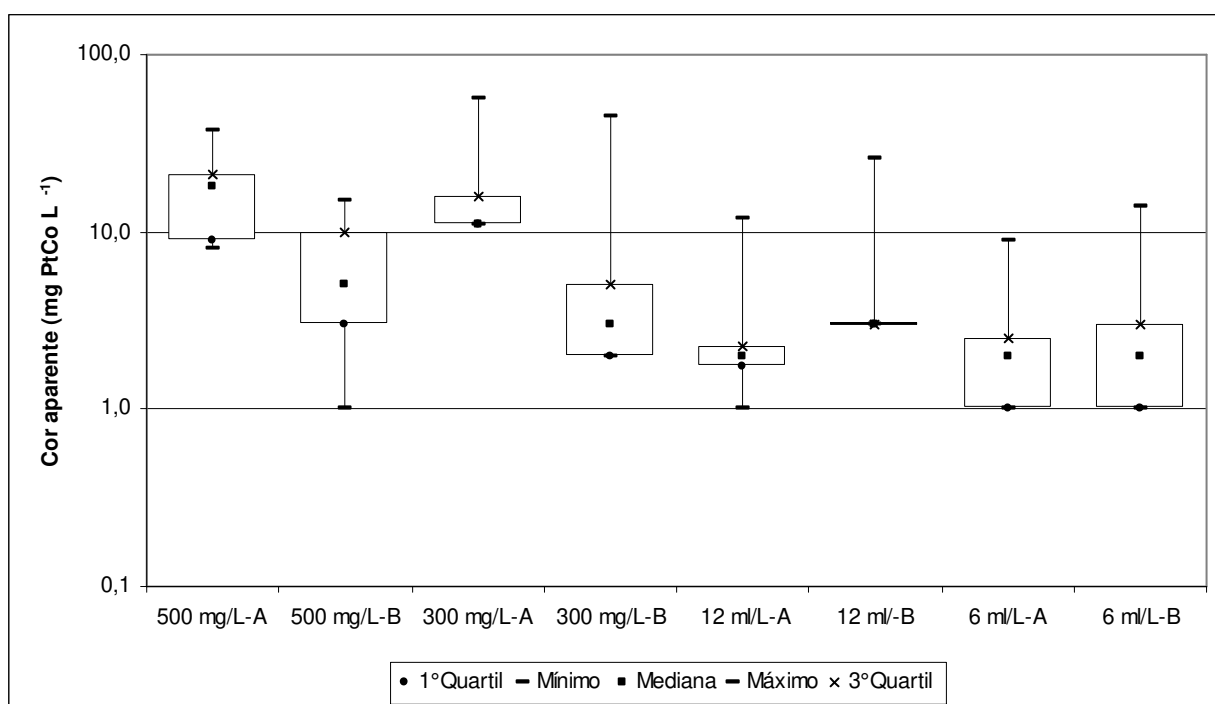


Figura 26. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

Novamente, verifica-se que uma maior variabilidade dos valores de cor aparente ocorreu quando se utilizou *Moringa oleifera* como coagulante. Comparando ensaios com mesma dosagem de coagulante, pode-se verificar que com a utilização de 500 mg L⁻¹ de *Moringa oleifera* em um dos ensaios (A) grande parte dos valores de cor aparente (praticamente 75%) estiveram acima de 10 mgPtCo L⁻¹. No ensaio B, foi observado o oposto, com praticamente 75% dos valores de turbidez situados 10

mgPtCo L⁻¹. Para a dosagem de 300 mg L⁻¹ o mesmo foi observado, porém com uma intensidade maior.

Com a utilização do tanino verificou-se uma menor variação de valores de cor aparente entre ensaios com mesma dosagem de coagulante. A dosagem de 6 ml L⁻¹ apresentou maior variação de cor aparente ao longo da filtração se comparada com a dosagem de 12 ml L⁻¹.

5.3.2.3. Ensaio 3

O gradiente médio de velocidade durante a coagulação no terceiro ensaio foi 800 s⁻¹ com tempo de agitação de 30 segundos. Para a etapa de floculação adotou-se as seguintes condições: gradiente médio de velocidade de 20 s⁻¹ com período de agitação de 10 minutos.

A Figura 27 representa os valores médios de cor aparente para cada dosagem de coagulante adotada ao longo da filtração.

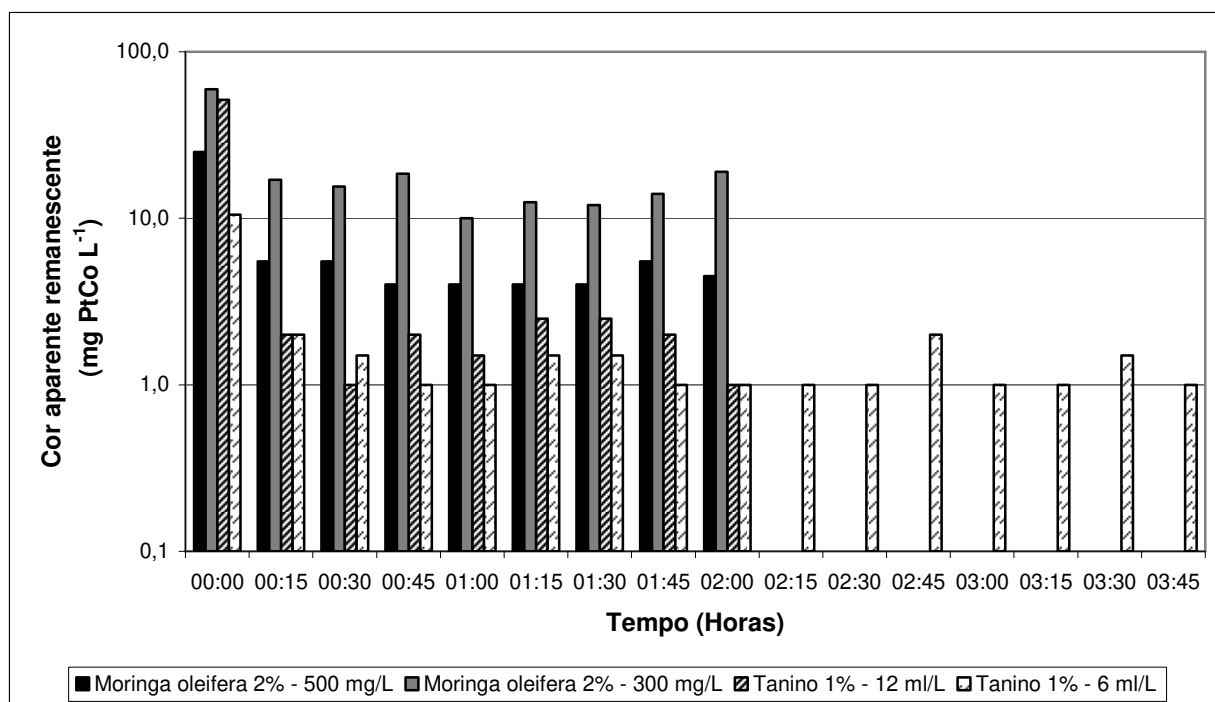


Figura 27. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$. Cor aparente média AB = $536,3 \pm 31,9 \text{ mgPtCo L}^{-1}$.

A Figura 27 demonstra que com a utilização de *Moringa oleifera* a dosagem de 500 mg L^{-1} apresentou maiores reduções de cor aparente se comparada à dosagem inferior, de 300 mg L^{-1} . Com 500 mg L^{-1} os valores médios de cor aparente permaneceram inferiores a 10 mgPtCo L^{-1} após 15 minutos de filtração, ao passo que com a utilização de 300 mg L^{-1} estes valores foram superiores a 10 mgPtCo L^{-1} .

O tanino apresentou uma redução considerável de cor aparente após 15 minutos de filtração, com valores iguais ou próximos 1 mgPtCo L^{-1} , sendo que a dosagem de 6 ml L^{-1} apresentou reduções ligeiramente superiores a dosagem de 12 ml L^{-1} .

A Figura 28 demonstra a variação ocorrida nos valores de cor aparente para as diferentes dosagens de coagulante testadas em função do ensaio ao longo da filtração.

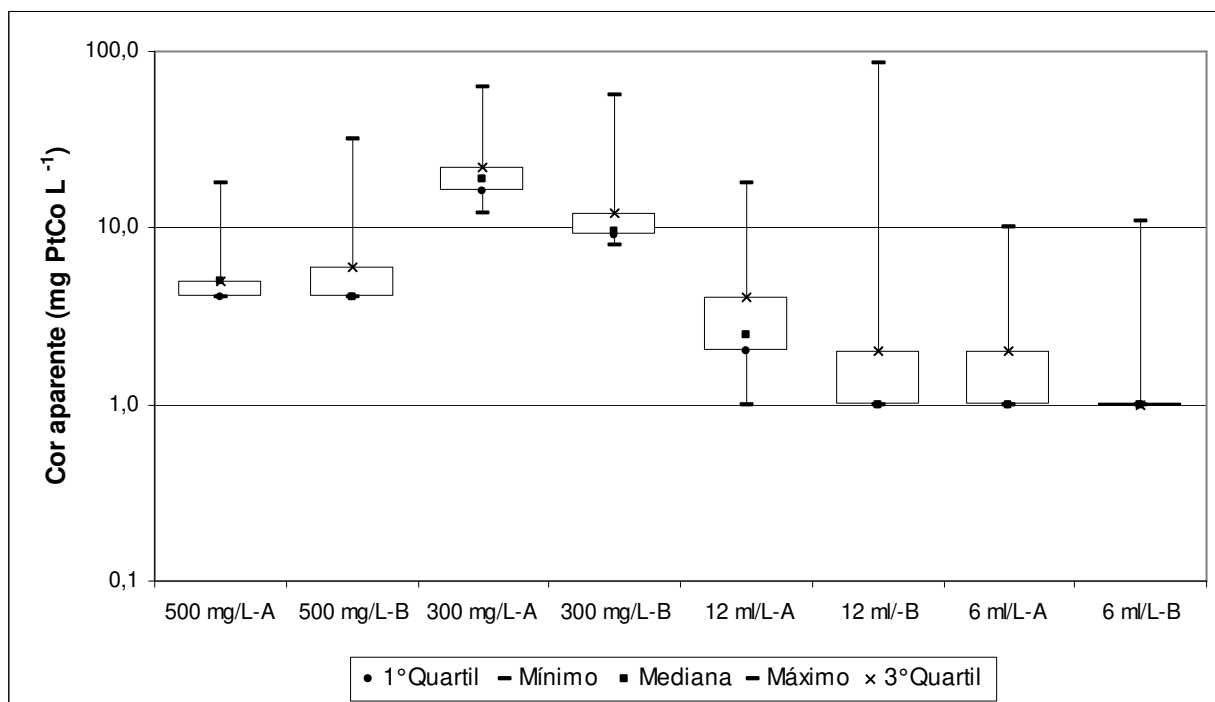


Figura 28. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 30 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

Utilizando *Moringa oleifera* com dosagem de 500 mg L^{-1} verifica-se que não ocorrerão variações consideráveis de cor aparente entre os ensaios A e B, assim como também não houve grandes variações de valores ao longo do tempo para cada ensaio. Com a utilização de 300 mg L^{-1} de *Moringa oleifera* os valores de cor aparente observados foram superiores aos da dosagem anterior, sendo que durante o ensaio A todos os valores estiveram acima de 10 mgPtCo L^{-1} . Para o tanino grande parte dos valores obtidos para as duas dosagens testadas nos ensaios A e B estiveram abaixo de 10 mgPtCo L^{-1} . Entre os ensaios utilizando uma mesma dosagem percebeu-se que os mesmos permaneceram em uma mesma faixa de cor aparente, não apresentando consideráveis diferenças entre um ensaio e outro.

5.3.2.4. Ensaio 4

No ensaio 4 adotou-se gradiente médio de velocidade de 800 s^{-1} durante a coagulação com tempo de agitação de 60 segundos. A floculação foi efetuada com gradiente médio de velocidade de 20 s^{-1} durante 10 minutos de agitação.

A Figura 29 demonstra os valores médios de cor aparente para as quatro dosagens de coagulante testadas em função do ensaio ao longo da filtração.

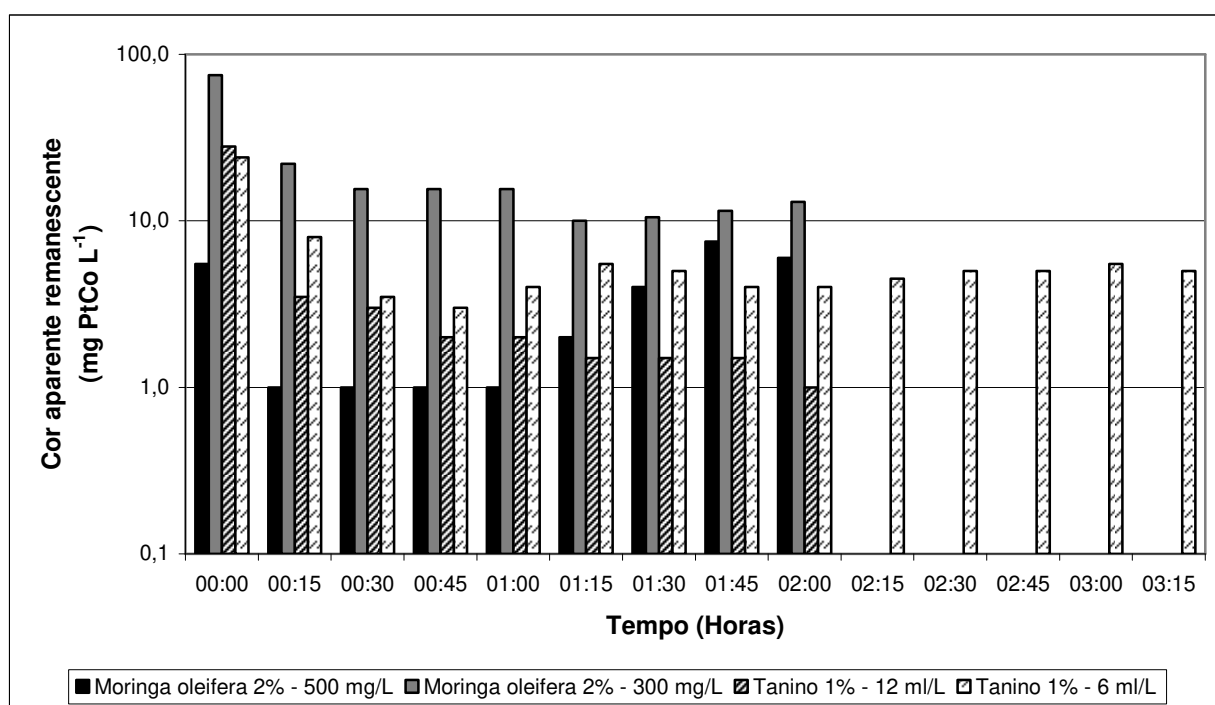


Figura 29. Cor aparente remanescente média em função do tempo de filtração para cada dosagem de coagulante testada. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s.}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min.}$ Cor aparente média AB = $520,4 \pm 33,9 \text{ mgPtCo L}^{-1}$.

No ensaio 4 observou-se que a dosagem de 500 mg L^{-1} de *Moringa oleifera* resultou em baixos valores de cor aparente durante a primeira hora de filtração, tendo ocorrido uma elevação gradativa destes valores ao longo do tempo após este período.

Quando se utilizou 300 mg L^{-1} observou-se que os valores médios de cor aparente permaneceram iguais ou superiores a 10 mgPtCo L^{-1} .

Para o tanino a dosagem de 12 ml L^{-1} apresentou menores valores médios de cor aparente ao longo da filtração, se comparada com a dosagem inferior deste coagulante, sendo que os valores médios de cor aparente foram sofrendo um decréscimo ao longo da filtração, atingindo valores médios próximos a 1 mgPtCo L^{-1} ao final da filtração. Quando se utilizou 6 ml L^{-1} os valores médios de cor aparente sofreram oscilações ao longo da filtração, permanecendo em uma faixa de valores entre 1 mgPtCo L^{-1} e 10 mgPtCo L^{-1} .

A Figura 30 representa as variações de cor aparente observadas durante a filtração para os ensaios efetuados em função da dosagem de coagulante utilizada.

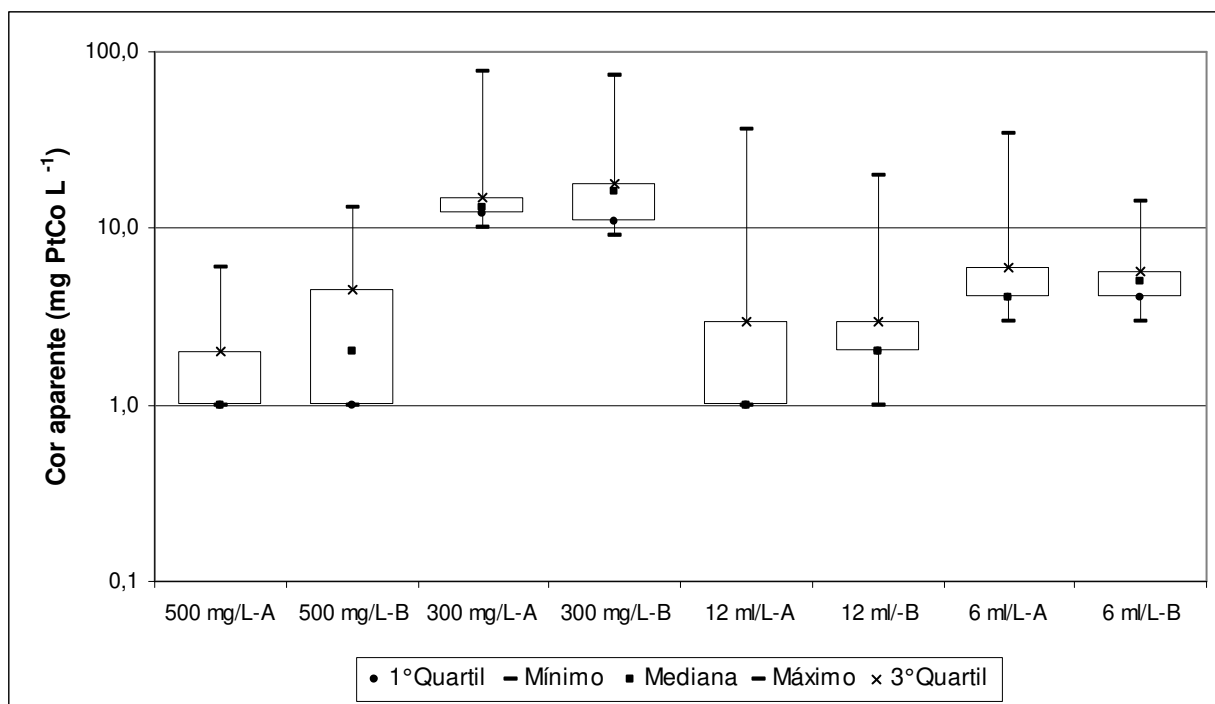


Figura 30. Variação dos valores de cor aparente ao longo da filtração em função da dosagem de coagulante adotada e do ensaio efetuado. $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 60 \text{ s}$, $G_{ml} = 20 \text{ s}^{-1}$ e $T_{ml} = 10 \text{ min}$.

Verificou-se que os ensaios tiveram comportamento semelhante entre si para uma mesma dosagem de um coagulante. Para a *Moringa oleifera* utilizada com dosagem de 500 mg L^{-1} , excetuando-se a amostra do início da filtração para o ensaio B, todos os valores de cor aparente permanecerão abaixo de 10 mgPtCo L^{-1} . Em contrapartida, para a dosagem de 300 mg L^{-1} , grande parte dos valores de cor aparente permanecerão superiores a 10 mgPtCo L^{-1} , com valores máximos próximos a $100 \text{ mgPtCo L}^{-1}$. Para o tanino, com as duas dosagens testadas verificou-se que nos quatro ensaios mais de 75% dos valores de cor aparente se encontravam na faixa de 1 a 10 mgPtCo L^{-1} .

5.3.2.5. Ensaio sem adição de coagulante

A Figura 31 representa os valores de cor aparente ao longo da filtração para os 2 ensaios realizados na ausência de coagulante. Deve-se ressaltar que em tais ensaios não foram efetuadas as etapas de coagulação e floculação.

Como já observado para o parâmetro turbidez, verifica-se que para a cor aparente, a realização de filtração sem adição de coagulante a água a ser tratada não promoveu melhoria na água tratada, com exceção dos instantes iniciais de filtração. A água bruta apresentava valores de turbidez obtidos sinteticamente a partir da adição de bentonita a água destilada. No valor da cor aparente pode estar incluída uma parcela referente à turbidez (VON SPERLING, 2005). Como no procedimento de preparo da água sintética adotou-se um período de sedimentação de 24 horas é possível que uma parcela das partículas passíveis de sedimentação e consequentemente com maiores dimensões tenham sido removidas durante o preparo da água. Desta forma, a água submetida ao tratamento provavelmente apresentava partículas com dimensões passíveis de redução após coagulação e floculação, o que justifica a não remoção de turbidez e cor aparente durante a filtração na ausência de coagulante.

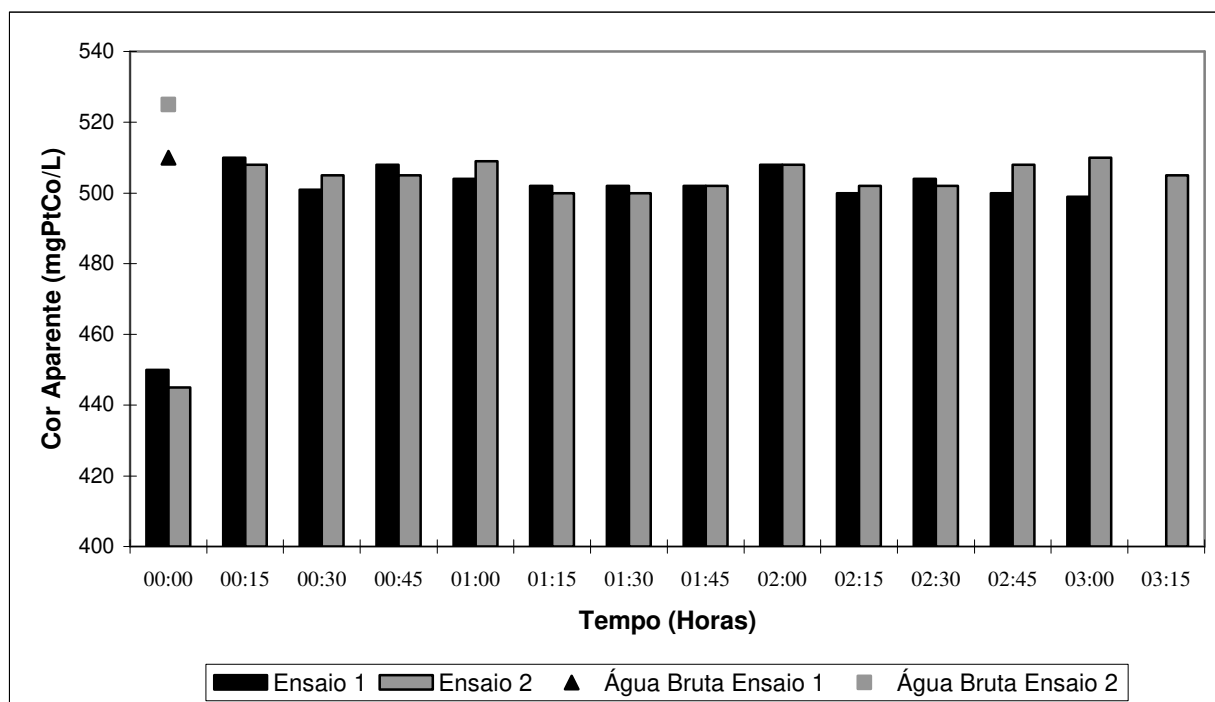


Figura 31. Cor aparente remanescente em função do tempo de filtração para os 2 ensaio efetuados sem coagulante.

5.3.3. Comparação entre os dois coagulantes utilizados

A Tabela 14 representa os valores médios, máximos e mínimos de eficiência de redução de turbidez ao longo do período de filtração para as quatro dosagens de coagulante testadas. Observou-se uma elevada eficiência média na redução da turbidez para as quatro dosagens de coagulantes testadas.

Tabela 14. Valores médios, máximos e mínimos de remoção turbidez ao longo da filtração para as diferentes condições de ensaio em função da dosagem de coagulante adotada. Turbidez média AB = $107,4 \pm 4,1$ NTU.

Ensaio	Gradiente Médio de Velocidade		Mistura Rápida (s.)	% remoção de turbidez ao longo da filtração											
				Moringa oleifera 2%						Tanino 1%					
	500 mg L ⁻¹			300 mg L ⁻¹			12 ml L ⁻¹			6 ml L ⁻¹					
	Média	Min.		Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.		
1A	400	20	30	99,46	97,06	99,80	98,12	89,71	99,48	99,34	97,62	99,64	99,12	92,85	99,69
1B	400	20	30	99,51	98,25	99,79	96,14	87,14	99,04	99,52	98,90	99,63	99,15	92,38	99,74
2A	400	20	60	97,51	93,15	99,44	98,02	92,27	99,24	99,44	98,25	99,64	99,63	98,94	99,76
2B	400	20	60	98,80	97,08	99,54	99,17	95,48	99,72	99,38	97,79	98,02	99,58	98,21	99,76
3A	800	20	30	97,84	94,05	99,52	98,81	94,26	99,58	99,32	97,31	99,66	99,57	98,36	99,69
3B	800	20	30	98,70	96,83	99,50	98,57	93,46	99,52	98,48	89,63	99,67	99,57	97,96	99,75
4A	800	20	60	99,51	98,35	99,73	98,56	92,53	99,53	99,13	95,88	99,68	99,30	95,61	99,70
4B	800	20	60	99,37	98,05	99,74	98,25	92,95	99,13	99,31	97,19	99,66	99,64	98,05	99,84

Min. = mínimo; Máx. = máximo.

Para o ensaio efetuado somente com água bruta sem adição de coagulante considerou-se não ocorrência de redução efetiva de turbidez, tendo em vista que somente no início da filtração a água apresentava valores de turbidez abaixo de 105 NTU e no decorrer da filtração a turbidez verificada apresentava valores próximos ou iguais à água bruta. Franco *et al.* (2010) constataram que a aplicação de coagulante à base de *Moringa oleifera* em um sistema piloto de filtração em múltiplas etapas resultou em maiores reduções de turbidez do que a filtração na ausência de coagulante.

Analisando os valores médios de redução de turbidez expostos na Tabela 14 pode-se verificar que as 4 dosagens dos coagulantes testados apresentaram índices de reduções consideráveis nos 4 ensaios efetuados, tendo em vista que os valores de turbidez da água bruta se encontravam na faixa de 105 NTU e após o tratamento, com exceção do início da filtração, tais valores se encontravam na faixa de 4,880 à 0,191 NTU. No entanto, uma observação mais detalhada dos valores de turbidez ao longo da

filtração permite concluir que variações nas condições operacionais durante a coagulação influenciaram a redução de turbidez. Para tal análise não se considerou os valores de turbidez obtidos no início da filtração.

Para a dosagem de 300 mg L^{-1} de *Moringa oleífera* a condição operacional durante a coagulação que propiciou melhores resultados após filtração foi com gradiente de velocidade de 800 s^{-1} durante 30 segundos, sendo que neste caso praticamente todos os valores de turbidez permaneceram abaixo de 1 NTU após filtração. Para o gradiente de 800 s^{-1} durante 60 segundos constatou-se que houve uma ocorrência considerável de valores de turbidez na faixa de 1 a 2 NTU após a filtração. Com gradiente de velocidade de 400 s^{-1} durante 30 e 60 segundos verificou-se que ocorreram maiores oscilações nos valores de turbidez após a filtração durante os ensaios, tendo sido observado valores de turbidez superiores a 1 NTU, atingindo o máximo de 4,222 NTU.

Para a dosagem de 500 mg L^{-1} verificou-se que o gradiente de 800 s^{-1} , tanto durante 30 como 60 segundos e gradiente de 400 s^{-1} durante 30 segundos, resultou em melhores resultados na redução de turbidez, tendo sido observado valores de turbidez inferiores a 1 NTU durante praticamente todo ensaio de filtração. Para o gradiente de 400 s^{-1} durante 60 segundos verificou-se elevada ocorrência de valores de turbidez na faixa de 4 a 1 NTU.

Ao contrário do observado para a *Moringa oleífera*, a variação das condições operacionais durante a coagulação não influenciaram de maneira significativa a redução no valor de turbidez com a utilização do tanino. Para as 4 condições operacionais testadas praticamente todos os valores de turbidez permaneceram na faixa de 0,100 a 1,000 NTU para as 4 dosagens de coagulante testadas.

Os valores médios, máximos e mínimos de eficiência para cor aparente estão representados na Tabela 15. Assim como observado para a redução de turbidez, constatou-se redução de cor aparente para as quatro dosagens de coagulante adotadas.

Tabela 15. Valores médios de remoção de cor aparente ao longo da filtração para as diferentes condições de ensaio em função da dosagem de coagulante adotada. Cor aparente média AB = 543 ± 57 mgPtCo L⁻¹.

Ensaio	Gradiente Médio de Velocidade		Mistura Rápida (s.)	% remoção de cor aparente ao longo da filtração											
				Moringa oleifera 2%						Tanino 1%					
	Gmr (s ⁻¹)	Gml (s ⁻¹)		500 mg L ⁻¹			300 mg L ⁻¹			12 ml L ⁻¹			6 ml L ⁻¹		
				Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.
1A	400	20	30	99,14	96,72	99,48	96,86	83,06	98,79	99,46	97,04	99,80	98,90	91,86	99,83
1B	400	20	30	99,60	98,56	99,86	94,92	83,54	97,56	99,68	98,64	99,81	98,99	90,19	99,81
2A	400	20	60	97,60	94,93	98,90	96,60	88,97	97,87	99,39	97,67	99,81	99,58	98,30	99,81
2B	400	20	60	98,92	97,64	99,84	98,59	91,16	99,61	98,86	94,96	99,42	99,48	97,43	99,82
3A	800	20	30	98,94	96,92	99,32	96,07	89,40	97,95	99,11	96,43	99,80	99,61	98,04	99,80
3B	800	20	30	98,57	93,96	99,25	96,92	88,93	98,45	98,03	84,14	99,81	99,67	97,90	99,81
4A	800	20	60	99,60	98,93	99,82	96,07	89,40	97,95	98,81	92,45	99,79	98,73	93,76	99,45
4B	800	20	60	99,27	97,64	99,82	96,92	88,93	98,45	99,18	95,99	99,80	99,03	97,45	99,45

Min. = mínimo; Máx. = máximo.

Os valores médios de redução de cor aparente obtidos permanecerão na faixa de 94% a 99%. Assim como ocorreu para a turbidez, nos ensaios efetuados somente com água bruta sem adição de coagulante não houve redução de cor aparente.

Para a dosagem de 500 mg L⁻¹ de *Moringa oleifera* com a utilização de gradiente de velocidade de 400 s⁻¹ por 30 segundos durante a coagulação verificou-se que um grande número de amostras apresentavam valores de cor aparente superior a 10 mgPtCo L⁻¹. Para as demais condições observou-se que praticamente todos os valores de cor aparente eram inferiores a 10 mgPtCo L⁻¹ após a filtração, indicando que estas condições de coagulação foram as melhores.

Com a utilização da dosagem de 300 mg L⁻¹ de *Moringa oleifera* percebe-se uma leve tendência de redução da eficiência, quando comparado com as demais dosagens, com predominância de valores médios na faixa de 96%. Considerando os

valores de cor aparente obtidos, verifica-se que para as quatro condições operacionais adotadas durante a coagulação, tais valores sofreram uma elevada oscilação, com valores desde 2 a 24 mg PtCo L⁻¹.

Com a utilização do tanino, assim como observado para a turbidez, houve elevada redução de cor aparente com as 4 condições operacionais adotadas durante a coagulação para as 2 dosagens de coagulante testadas, sendo que praticamente todos os valores de cor aparente eram inferiores a 5 mg PtCo L⁻¹ após a filtração.

De um modo geral, não há diferenças significativas relacionadas à redução de turbidez e cor aparente comparando os dois coagulantes testados nas diferentes dosagens, sendo que a eficiência obtida para *Moringa oleífera* pode ser considerada equivalente à do tanino. É importante salientar que o tanino é um produto industrializado e já comercializado, e a solução à base de sementes *Moringa oleífera* foi produzida artesanalmente. Considerando que a *Moringa oleífera* pode ser cultivada pelo próprio consumidor, sua utilização representa redução no custo do tratamento de água e confere maior sustentabilidade ao sistema.

5.3.4. pH

A Tabela 16 representa os valores de pH da água bruta bem como os valores máximos e mínimos observados durante a filtração para cada ensaio em função da dosagem de coagulante adotada.

Tabela 16. Valores de pH da água bruta e valores máximos e mínimos observados durante a filtração para os diferentes ensaios em função da dosagem de coagulante.

Ensaio	<i>Moringa oleifera</i> 2% 500 mg L ⁻¹			<i>Moringa oleifera</i> 2% 300 mg L ⁻¹			Tanino 1% 12 ml L ⁻¹			Tanino 1% 6 ml L ⁻¹		
	Água bruta	Água filtrada Máx.	Água filtrada Min.	Água bruta	Água filtrada Máx.	Água filtrada Min.	Água bruta	Água filtrada Máx.	Água filtrada Min.	Água bruta	Água filtrada Máx.	Água filtrada Min.
1A	7,26	7,12	7,04	7,97	7,16	6,69	8,18	6,83	6,37	8,74	6,58	6,27
1B	7,42	7,34	7,03	7,60	7,18	7,00	7,95	6,67	6,13	7,82	6,62	6,03
2A	7,54	7,37	7,29	7,81	7,24	6,98	7,55	6,65	6,31	7,39	6,51	6,09
2B	8,46	7,77	7,44	8,28	7,28	7,10	7,75	6,63	5,92	7,39	6,51	6,01
3A	7,24	7,28	7,13	8,07	7,38	7,01	8,14	6,58	6,21	7,41	6,71	6,44
3B	7,67	7,35	7,23	8,56	7,09	6,93	8,35	6,70	6,11	8,31	6,75	6,36
4A	8,46	7,56	7,13	8,21	6,94	6,76	7,72	6,74	5,92	7,50	6,57	6,23
4B	8,57	7,35	6,98	8,63	7,00	6,68	7,76	6,53	6,06	7,30	6,36	5,31

Máx.= Valor máximo, Min. = Valor mínimo

Considerando o valor do pH da água bruta houve redução para as quatro dosagens testadas. No entanto para a *Moringa oleifera* esta redução foi menos significativa do que para o tanino. Com a utilização do tanino a água tratada apresentou valores de pH inferiores a 7 em todos os ensaios, tendo variado dentro de uma faixa de 6,83 a 5,31, sendo que grande parte dos valores de pH eram superiores a 6. Já para a *Moringa oleifera* esta variação ficou na faixa de 7,77 a 6,68. Como já citado, uma das vantagens relacionadas ao uso destes coagulantes consiste no fato de não ocorrer alterações significativas nos valores de pH da água tratada (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998; TANAC, 2007), facilitando a operação e diminuindo custos.

Räder (2009) verificou que a substituição do sulfato de alumínio por tanino em uma estação de tratamento de água possibilitou a eliminação da etapa de correção de pH, devido à baixa interferência deste produto no valor do pH da água tratada.

5.3.5. Considerações finais

Os ensaios de filtração demonstraram que, de um modo geral o tanino apresenta uma resposta mais rápida em termos de redução turbidez do que a *Moringa oleifera*, sendo possível observar valores de turbidez baixos com quinze minutos de filtração para as quatro condições operacionais adotadas durante as etapas de coagulação e floculação. Com a utilização do tanino valores de turbidez superiores a 1 NTU só foram observados no início da filtração, sendo que ao longo desta tais valores permaneceram abaixo de 1 NTU para as duas dosagens testadas com as quatro condições operacionais adotadas durante a coagulação. Para a redução de cor aparente verificou-se comportamento semelhante, sendo que com exceção do início da filtração, valores de cor aparente na faixa de 1 a 10 mgPtCo L⁻¹ foram observados durante toda a filtração para as dosagens de 6 e 12 ml L⁻¹ nas quatro condições operacionais adotadas.

Já para a *Moringa oleifera*, apesar das reduções médias de turbidez e cor aparente terem sido consideradas satisfatórias, percebeu-se que nos instantes iniciais de filtração havia uma maior tendência para valores mais elevados de tais parâmetros.

No Apêndice A encontram-se detalhados todos os valores de turbidez e cor aparente obtidos após filtração para as quatro dosagens de coagulantes testadas nas diferentes condições operacionais adotadas durante a coagulação.

Uma observação deve ser efetuada com relação ao uso do termo solução coagulante. As características da mistura água destilada e pó de sementes de *Moringa oleifera* são de uma suspensão. No entanto, a literatura referente à coagulantes a base de *Moringa oleifera* (OKUDA, *et al.*, 2001; NDABIGENGESERE, *et al.*, 1995) adota o termo solução coagulante. Desta forma neste trabalho foi adotado o utilizado pela literatura.

6. CONCLUSÕES

A realização desta pesquisa demonstrou que a utilização de coagulantes naturais como auxiliares da filtração lenta no tratamento de água com níveis de turbidez obtidos sinteticamente contribuiu de maneira significativa para a redução de turbidez e cor aparente da água tratada. No entanto, a adição de tais coagulantes à água a ser tratada apresenta uma tendência à diminuição do período de filtração, devido à rápida colmatação do meio filtrante. As seguintes conclusões foram obtidas a partir da realização desta pesquisa:

- A condição de processamento que garantiu maior eficiência ao tratamento da água (coagulação/floculação e sedimentação) foi com a utilização de máquina de moer e pilão, sendo que na ocorrência de peneiramento do pó após moagem houve um ganho ainda maior na redução de turbidez e cor aparente.
- Para a *Moringa oleífera* há uma relação entre o valor inicial de turbidez da água a ser tratada e a eficiência na redução deste parâmetro, sendo que para valores mais baixos de turbidez da água bruta ocorre redução na eficiência de remoção deste parâmetro.
- Constatou-se que existe uma relação linear para valores de turbidez situados na faixa de 18 a 80 NTU e dosagens de *Moringa oleífera*. Para o tanino não foi possível estabelecer esta relação com base somente nos resultados obtidos nesta pesquisa.
- A utilização dos coagulantes naturais à base de sementes de *Moringa oleífera* e tanino como auxiliares da filtração lenta apresentou elevada eficiência na redução de turbidez e cor aparente, com valores médios na faixa de 99% a 94%, tendo ocorrido predominância de 99%. No entanto, verificou-se que o uso de *Moringa oleífera* nas dosagens de 300 e 500 mg L⁻¹ e da dosagem de 12 mg L⁻¹ de tanino resulta em considerável redução no tempo de filtração, provavelmente devido à carga de sólidos presente nos coagulantes.

- Com a utilização do coagulante à base de tanino percebeu-se que variações nas condições operacionais durante a etapa de coagulação não influenciaram na filtração. Excetuando o início da filtração, obteve-se valores de turbidez inferiores a 1 NTU e valores de cor aparente na faixa de 10 mgPtCo L⁻¹ durante toda a filtração para as duas dosagens testadas nas quatro condições operacionais adotadas durante a coagulação.
- As variações nas condições operacionais durante a etapa de coagulação influenciaram a eficiência da filtração quando se utilizou *Moringa oleifera* como coagulante. Para a dosagem de 300 mg L⁻¹ de *Moringa oleifera* a condição operacional durante a coagulação que propiciou melhores resultados após filtração foi com gradiente de velocidade de 800 s⁻¹ durante 30 segundos. Para a dosagem de 500 mg L⁻¹ verificou-se que o gradiente de 800 s⁻¹, tanto durante 30 como 60 segundos e gradiente de 400 s⁻¹ durante 30 segundos, resultou em melhores resultados na redução de turbidez e cor aparente após a filtração.

7. RECOMENDAÇÕES

Com a realização deste trabalho é possível efetuar as seguintes recomendações:

- Realização de um estudo mais detalhado avaliando a relação entre a granulometria do pó e a eficiência da solução obtida a partir do mesmo, além da influência do processamento das sementes com equipamento cortante e em meio líquido.
- Realização de ensaios de sedimentação com os coagulantes tanino e *Moringa oleífera* em uma ampla faixa de turbidez, verificando se há uma relação que possa ser descrita por meio de uma equação entre turbidez inicial da água a ser tratada e melhor dosagem de coagulante.
- Considerando a elevada eficiência relacionada à redução de turbidez e cor aparente com a aplicação de *Moringa oleífera* nas condições propostas neste trabalho, recomenda-se desenvolvimento de uma metodologia de aplicação do coagulante à base de sementes de *Moringa oleífera* que diminua a interferência da carga de sólidos presentes nesta solução, tornando possíveis carreiras de filtração mais longas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AMARAL, L. A., ROSSI JUNIOR, O.D., SOARES E BARROS, L.S., LORENZON, C.S., NINES, A.P. **Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de *Moringa oleifera* e radiação solar**. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v.73, n.3, p.287-293, jul./set., 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. 20 ed. New York: APHA, 1998.

ARANTES, C. C. **Análise comparativa entre os coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino na remoção de cor e Turbidez**. Trabalho de Graduação Interdisciplinar. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, SP, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras referências. Disponível em: <http://www.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518.pdf>. Acesso em: 21 de Janeiro de 2010.

BERGAMASCO, R.; MORAES, L. C. K.; CARDOSO, K. C.; VIEIRA, A, M, S. MADRONA, G. S.; KLEN, M. R. F. **Diagramas de coagulação utilizando *Moringa oleifera* lam e o sulfato de alumínio, visando remoção de cor e turbidez da água**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 25., 2009, Recife-PE. CD-ROM.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTE, V. G.; MEDEIROS FILHO, S. **Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato**. *Hortic. Bras.*. 2004, vol.22, n.2, pp. 295-299.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.** 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

BRÍGIDA, A. I. S., ROSA, M. F. **Determinação do teor de taninos na casca de coco verde (*Cocos nucifera*).** Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort, V. 47, p. 25-27, 2003.

CEPIS. **Teoria, diseño y control de los process de clarificacion del água.** 2ª reimpressão 1981. Lima - Peru, 1981. 558 p.

CEPIS. **Teoria, diseño y control de los process de clarificacion del água.** Lima - Peru, 1973. 558 p. *apud* PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. 233f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

CRUZ, B. A. S.; HELLER, L.; LIMA, S. C. R. B. **Gestão comunitária em saneamento no pré-assentamento Ho Chi Minh, MG, do MST: uma experiência de participação na concepção de intervenções.** In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife-PE. CD-ROM.

CRUZ, J. G. H.; MENEZES, J. C. S. S.; RUBIO, J.; SCHNEIDER, I. A. H. **Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande – MS.

DIAS, A. C. V, DEZOTTI, M., MASSARANI, G. **Estudo comparativo entre os efeitos do tanino e de um coagulante convencional sobre a filtração rápida usada no tratamento de água para abastecimento.** In: 23 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande – MS.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água,** vol. 1. ABES, Rio de Janeiro. 1993.

DI BERNARDO, L. (Coord.). **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. 1ºed. Rio de Janeiro: ABES, 1999, 114 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ºed. São Carlos: RiMa, 2005. Vol. 1, 792 p.

DUKE, J. A., Moringaceae: horseradish-tree, drumstick-tree, sohnja, moringa, murunga-kai, mulungay. In: BENGE, M. .D. (Ed.) Moringa a multipurpose tree that purifies water. Boston. **Science and techonology for Environment and Natural Resources**, p. 19-28, 1987. *apud* GALLÃO, M. I., DAMASCENO, L. F., BRITO, E. S. "Avaliação Química e Estrutural da Semente de Moringa". Revista Ciência Agronômica, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

FERRAZ, C. F. **Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento**. 2001. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FERRAZ, F.C., PATERNIANI, J.E.S., **Redução da espessura da camada suporte através da substituição por mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta de água de abastecimento**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, Vol 7, nº 6 e 7, p. 8, 15, Jan/Jun 2002.

FRANCO, M.; ARANTES, C.C.; SILVA, G. K.; CHAMLET, J; PATERNIANI, J. E. S. **Uso de coagulante a partir de semente de *Moringa oleífera* na etapa do pré-filtro no sistema de filtração em múltiplas etapas**. In: VI Congresso Internacional de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile. 2010. CD.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE (FUNASA). **Manual de saneamento**. 3ª edição. Brasília, 2006. 407 p.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. **Avaliação química e estrutural da semente de *Moringa***. Revista Ciência Agronômica, v.37, nº1, p.106-109. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2006.

GHEBREMICHAEL, K. A., GUNARATN, K.R., HENRIKSSON, H., BRUMER, H., DALHAMMAN, G. **A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed.** Water Research, v. 39, p.2338-2344, 2005.

HAARHOFF, J.; CLEASBY, J. L. **Biological and phisical mechanisms in slow sand filtration.** In: LOGSDON, G. S. Slow sand filtration. Nova lorque:ASCE, 1991 *apud* DI BERNARDO, L. (Coord.). Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. 1ªed. Rio de Janeiro: ABES, 1999 , 114 p.

JOYCE, T. M.; McGUIGAN, K. G.; ELMORE-MEEGAN, M.; CONROY, R. M. **Inactiavtion of fecal bacteria in drinking water by solar heating.** Applied Environmental Microbiology , v.62, n.2, p.399-402, 1996.

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

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 2. ed. Campinas: Editora Átomo, 2008. 444 p.

MANZ, D. H. **New horizons for slow sand filtration.** In: Proceedings of the eleventh Canadian national conference and second policy forum on drinking water and the biennial conference of the federal-provincial- territorial committee on drinking water, promoting public health through safe drinking water. April 3 – 6, 2004, Calgary, Alberta, pp 682 – 692.

MARONI, L. G.; PUBLIO FILHO, W. T.; SAITO, J.; LIMA, C. G. **Classificação, identificação e aplicação de não-tecidos.** Associação Brasileira das indústrias de não-tecidos. Manual. 1999.

MARRARA, D. A. F. **Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso.** 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MBWETTE, T. S. A. & GRAHAM, N. J. D. **Protected slow sand filtration: specification of now-woven synthetic fabric layers.** Water supply, vol. 8. 1990. p. 157-160.

MENDES, C. G. N. **Estudo da Coagulação e Floculação de Águas Sintéticas e Naturais com Turbidez e Cor Variáveis.** 1989, Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

MENDES, C. G. N. **Aspectos de qualidade da água, fluxogramas de ETA's e coagulação.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP, 2008. Notas de aula.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. **Taninos: Uma abordagem da química à ecologia.** Revista Química Nova. Vol. 28, Nº5, pág. 892-896, 2005.

MORAES, L. C. K.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G.; BONGIOVANI, M. C.; HENNING, D. **Avaliação da eficiência de remoção de cor e turbidez, utilizando como agente coagulante os taninos vegetais, com a finalidade de obtenção de água tratada.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte-MG.

MURTHA, N. A.; HELLER, L. **Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), v. 8, n. 4, p. 257-267, Out/Dez 2003.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. **Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds.** Water Research, vol. 29, nº 12, p. 2689-2695, 1995.

NASCIMENTO, N. O.; NAGHETTINI, M.; HELLER, L.; VON SPERLING, M. **Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 3: Análise estatística de dados e modelos.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), v. 1, n. 4, p. 152-168, Out/Dez 1996.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S. & TALBOT, B.G. **Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera***. Water Research, vol. 29, nº 2, pp. 703-710, 1995.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S. **Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds**. Water Research, vol. 32, nº3, p. 781-791, 1998.

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. 59.8, p. 1551-1558, 2009.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. **Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution**. Water Research, vol. 35, nº2, p. 405-410, 2001.

OKUDA, T., BAES, A. U., NISHIJIMA, W., OKADA, M. **Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed**. Water Research, v. 33, n. 15, p.3373-3378, 1999.

PATERNIANI, J. E. S. **Aplicabilidade de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta de águas de abastecimento**. 1991. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos, 1991.

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.

PAVANELLI, G. **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Água com Cor ou Turbidez Elevada**. 2001. 233f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PIO CORRÊA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: IBDF, v.5, p. 276-283, 1984. *apud* GALLÃO, M. I., DAMASCENO, L. F., BRITO, E. S. Avaliação Química e Estrutural da Semente de *Moringa*. Revista Ciência Agronômica, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. **Sistema simplificado para a melhoria da qualidade da água consumida por comunidades rurais do semi-árido de Brasil**. In: 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Teresina, 11 a 14 de julho de 2005.

PRICE, M. L., DAVIS, K. **The moringa tree**. Echo technical note. Publicado em 1985, revisado em 2000. Disponível em: < <http://www.echonet.org/>> Acesso em 25 de junho de 2009.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Falta de esgoto e água mata uma criança a cada 19 segundos**. Disponível em < http://www.pnud.org.br/arquivos/rdh/rdh2006/rdh2006_crianca.pdf>. Acesso em 28 de Setembro de 2009.

RÄDER, A. S. **Uso de coagulante orgânico à base de tanino no tratamento de água para consumo humano – um estudo de caso**. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009, Recife-PE. CD-ROM.

RAMOS, R. O. **Clarificação de água com turbidez baixa e cor moderada utilizando sementes de *Moringa oleifera***. 2005. 276 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

REWALD, G. F. **Tecnologia dos não tecidos**. Apostila referente ao Curso Básico não tecidos. 1999. *apud* FERRAZ, C. F. Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento. 2001. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

RITCHER, C. A. & AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água – tecnologia atualizada**. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1991. 332 p.

SERRA, T. M.; SILVA, J. P. V.; SANTOS, I. C. F.; MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P.; WOLF, C. R. & GOSSMANN, M. 2007. **Obtenção de biodiesel metílico a partir de óleo de *Moringa oleifera* em presença de catalisador básico e ácido**. In: 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2007, Águas de Lindóia. V. TC-053. Pág. 155.

SILVA, T. S. S. **Estudo da Tratabilidade Físico-Química com Uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento e Esgoto.** 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz. [s.l.] 1999.

SILVA, F. J. A.; MATTOS, J. E. X. **Sobre dispersões de *moringa oleifera* para tratamento de água.** Rev. Tecnologia Fortaleza, v.29, n.2, p. 157-163, dez. 2008.

SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P. **Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), v. 12, n. 4, p. 361-370, Out/Dez 2007.

STACIARINI, R. **Análise do comportamento experimental de um sistema de filtração lenta com mantas sintéticas não tecidas.** 1998. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

TANAC S.A. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – TANFLOC SG.** Disponível em: <www.tanac.com.br> Acesso em 10 de Julho de 2007.

TANAC S.A. **Manual – TANFLOC SG.** Disponível em: <www.tanac.com.br> Acesso em 10 de Julho de 2007.

TEIXEIRA, A. R.; SANTOS, E. P. C.; PÁDUA, V. L.; HELLER, L.; DI BERNARDO, L.; MARCELO, L. **A confiabilidade analítica dos valores de turbidez da água filtrada e seu efeito no cumprimento do padrão de potabilidade.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), v. 9, n. 1, p.65-72, Jan/Mar 2004.

TRUGILHO, P. F.; CAIXETA, R. P.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. 1997. **Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro.** Revista CERNE, V. 3, n. 1, p. 01-013, 1997.

VOET D., VOET J. G. **Biochemistry.**Wiley, New York, 1990. *apud* OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJMA, W.; OKADA, M. Coagulation mechanism of salt solution extrated

active component in *Moringa oleifera* seeds. Water Research, V. 35, n. 3, p. 830-834, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. Vol.1, 243p.

WHITE A., HANDLER P., SMITH, E. L. **Principles of Biochemistry**, 4th ed. McGraw-Hill, New York, 1968. *apud* OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJMA, W.; OKADA, M. Coagulation mechanism of salt solution extrated active component in *Moringa oleifera* seeds. Water Research, V. 35, n. 3, p. 830-834, 2001.

Apêndice A – Valores de pH, turbidez e cor aparente.

Tabela A1. Valores de pH observados nos ensaios da 1ª fase.

Tempo	pH																	
	Máquina Peneirado			Máquina sem peneirar			Pilão peneirado			Pilão sem peneirar			Liquidificador			Mixer		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
0 min.	7,60	7,66	7,79	7,66	7,75	8,17	7,48	7,69	7,90	7,60	7,79	7,95	7,66	7,77	7,83	7,62	7,69	7,96
10 min.	7,53	7,61	7,71	7,58	7,73	8,24	7,52	7,20	7,87	7,60	7,74	7,9	7,57	7,69	8,10	7,56	7,69	7,93
20 min.	7,49	7,63	7,82	7,58	7,74	7,88	7,55	7,62	7,81	7,59	7,74	7,84	7,54	7,73	7,88	7,56	7,70	7,85
30 min.	7,52	7,60	8,10	7,55	7,71	7,92	7,51	7,66	7,83	7,56	7,69	7,98	7,50	7,85	7,78	7,55	7,76	8,14

E1 = Ensaio 1; E2 = Ensaio 2; E3 = Ensaio 3

Tabela A2. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 1 da 3ª fase.

Turbidez (NTU)								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	400		30		20		10	
Tempo de Filtração	Moringa oleífera 2% -500 mg L ⁻¹		Moringa oleífera 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	1A	1B	1A	1B	1A	1B	1A	1B
	AB = 106	AB = 106	AB = 104	AB = 105	AB = 108	AB = 104	AB = 110	AB = 108
00:00	3,090	1,850	10,700	13,500	2,570	1,140	7,870	8,230
00:15	0,380	0,596	1,480	4,220	0,642	0,512	0,855	0,835
00:30	0,260	0,345	0,852	3,570	0,475	0,386	0,483	0,527
00:45	0,210	0,317	0,991	3,940	0,397	0,479	0,342	0,396
01:00	0,490	0,314	0,866	3,100	0,405	0,406	0,423	0,353
01:15	0,390	0,274	0,675	1,790	0,389	0,396	0,392	0,340
01:30	0,220	0,224	0,544	1,330	0,389	0,398	0,368	0,360
01:45	0,220	0,261	0,657	1,010	0,394	0,427	0,377	0,343
02:00	0,230	---	0,859	---	---	0,393	0,432	0,355
02:15	0,210	---	---	---	---	---	0,713	0,314
02:30	---	---	---	---	---	---	0,719	0,394
02:45	---	---	---	---	---	---	0,342	0,279
03:00	---	---	---	---	---	---	0,390	0,357
03:15	---	---	---	---	---	---	0,402	0,341
03:30	---	---	---	---	---	---	0,434	0,363

Tabela A3. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 2 da 3ª fase.

<i>Turbidez (NTU)</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	400		60		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	2A	2B	2A	2B	2A	2B	2A	2B
	AB = 106	AB = 114	AB = 105	AB = 108	AB = 107	AB = 106	AB = 109	AB = 108
00:00	7,260	3,330	8,120	4,880	1,870	2,340	1,150	1,930
00:15	4,260	2,500	2,340	0,651	0,542	0,534	0,421	0,476
00:30	3,420	1,450	1,440	0,605	0,410	0,462	0,468	0,348
00:45	2,010	1,390	1,620	0,305	0,415	0,451	0,349	0,443
01:00	2,240	1,250	1,410	0,542	0,387	0,355	0,498	0,420
01:15	1,900	0,763	1,100	0,407	0,395	0,398	0,364	0,353
01:30	1,270	0,547	0,898	0,391	0,395	0,407	0,290	0,307
01:45	0,787	0,559	0,796	0,507	0,393	0,444	0,324	0,347
02:00	0,591	0,520	0,946	0,465	---	0,534	0,321	0,365
02:15	0,210	---	---	0,636	---	---	0,336	0,286
02:30	---	---	---	0,467	---	---	0,265	0,482
02:45	---	---	---	---	---	---	0,309	0,281
03:00	---	---	---	---	---	---	0,303	0,300
03:15	---	---	---	---	---	---	0,372	0,384
03:30	---	---	---	---	---	---	0,305	0,259
03:45	---	---	---	---	---	---	---	0,283

Tabela A4. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 3 da 3ª fase.

<i>Turbidez (NTU)</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	800		30		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	3A	3B	3A	3B	3A	3B	3A	3B
	AB = 122	AB = 105	AB = 107	AB = 105	AB = 106	AB = 109	AB = 101	AB = 105
00:00	1,040	4,690	6,140	6,870	2,850	11,300	1,660	2,140
00:15	0,469	0,774	1,270	1,320	0,498	0,692	0,420	0,529
00:30	0,503	0,530	0,924	0,791	0,426	0,452	0,339	0,368
00:45	0,468	0,489	0,614	0,729	0,358	0,373	0,319	0,321
01:00	0,373	0,504	0,533	0,602	0,389	0,555	0,319	0,299
01:15	0,537	0,650	0,486	0,509	0,404	0,365	0,323	0,282
01:30	0,465	0,458	0,448	0,557	0,400	0,377	0,343	0,335
01:45	0,443	0,695	0,500	0,635	0,409	0,397	0,338	0,315
02:00	0,409	0,480	0,535	---	---	0,445	0,347	0,375
02:15	---	---	---	---	---	---	0,333	0,318
02:30	---	---	---	---	---	---	0,310	0,322
02:45	---	---	---	---	---	---	0,331	0,284
03:00	---	---	---	---	---	---	0,354	0,401
03:15	---	---	---	---	---	---	0,357	0,292
03:30	---	---	---	---	---	---	0,419	0,381
03:45	---	---	---	---	---	---	---	0,266

Tabela A5. Valores de turbidez ao longo da filtração para o ensaio 4 da 3ª fase.

<i>Turbidez (NTU)</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹) 800		Tempo de agitação (s.) 60		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹) 20		Tempo de agitação (min.) 10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	4A	4B	4A	4B	4A	4B	4A	4B
	AB = 115	AB = 109	AB = 108	AB = 110	AB = 100	AB = 104	AB = 109	AB = 110
00:00	0,609	1,190	8,070	7,750	4,120	2,920	4,790	2,150
00:15	0,421	0,347	1,500	1,840	0,663	0,506	0,542	0,314
00:30	0,319	0,412	0,938	1,380	0,428	0,397	0,428	0,237
00:45	0,411	0,280	0,710	1,190	0,430	0,408	0,407	0,212
01:00	0,381	0,388	0,536	1,170	0,408	0,646	0,401	0,180
01:15	0,341	0,361	0,507	1,030	0,513	0,402	0,389	0,222
01:30	1,900	0,377	0,533	0,982	0,493	0,419	0,406	0,191
01:45	0,310	2,130	0,582	0,961	0,324	0,403	0,575	0,365
02:00	0,376	---	0,646	0,973	0,455	0,350	0,508	0,361
02:15	---	---	---	---	---	---	0,427	0,403
02:30	---	---	---	---	---	---	0,327	0,215
02:45	---	---	---	---	---	---	0,342	0,247
03:00	---	---	---	---	---	---	0,683	0,221
03:15	---	---	---	---	---	---	0,396	0,224

Tabela A6. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 1 da 3ª fase.

<i>Cor aparente (mgPtCo L⁻¹)</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹) 400		Tempo de agitação (s.) 30		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹) 20		Tempo de agitação (min.) 10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	1A	1B	1A	1B	1A	1B	1A	1B
	AB = 580	AB = 695	AB = 496	AB = 492	AB = 507	AB = 514	AB = 590	AB = 540
00:00	19	10	84	81	15	7	48	53
00:15	5	2	11	24	1	1	3	3
00:30	5	2	7	19	1	1	1	1
00:45	3	1	7	21	1	1	1	1
01:00	3	2	6	17	1	1	1	1
01:15	3	1	6	14	1	1	1	1
01:30	3	2	6	12	1	1	1	1
01:45	3	2	6	12	1	1	3	1
02:00	3	---	7	---	---	1	3	1
02:15	3	---	---	---	---	---	3	2
02:30	---	---	---	---	---	---	2	2
02:45	---	---	---	---	---	---	1	6
03:00	---	---	---	---	---	---	2	3
03:15	---	---	---	---	---	---	3	3
03:30	---	---	---	---	---	---	2	3

Tabela A7. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 2 da 3ª fase.

<i>Cor aparente (mgPtCo L⁻¹)</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	400		60		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 2 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	2A	2B	2A	2B	2A	2B	2A	2B
	AB = 730	AB = 635	AB = 517	AB = 509	AB = 514	AB = 516	AB = 530	AB = 545
00:00	37	15	57	45	12	26	9	14
00:15	26	10	16	6	3	3	3	5
00:30	21	5	11	4	2	3	2	1
00:45	18	5	12	2	2	6	1	2
01:00	19	3	11	3	1	3	1	1
01:15	12	1	11	3	2	3	1	1
01:30	9	2	11	2	1	3	1	2
01:45	8	7	11	2	2	3	3	3
02:00	8	14	18	4	---	3	1	2
02:15	---	---	---	6	---	---	1	1
02:30	---	---	---	2	---	---	1	1
02:45	---	---	---	---	---	---	2	1
03:00	---	---	---	---	---	---	2	3
03:15	---	---	---	---	---	---	3	3
03:30	---	---	---	---	---	---	2	2
03:45	---	---	---	---	---	---	---	3

Tabela A8. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 3 da 3ª fase.

<i>Cor aparente (mgPtCo L⁻¹)</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	800		30		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	3A	3B	3A	3B	3A	3B	3A	3B
	AB = 585	AB = 530	AB = 585	AB = 515	AB = 504	AB = 536	AB = 510	AB = 525
00:00	18	32	62	57	18	85	10	11
00:15	5	6	21	13	2	2	3	1
00:30	7	4	22	9	1	1	1	2
00:45	4	4	28	9	2	2	1	1
01:00	4	4	12	8	2	1	1	1
01:15	4	4	16	9	4	1	2	1
01:30	4	4	14	10	4	1	1	2
01:45	5	6	16	12	3	1	1	1
02:00	5	4	19	---	---	1	1	1
02:15	---	---	---	---	---	---	1	1
02:30	---	---	---	---	---	---	1	1
02:45	---	---	---	---	---	---	3	1
03:00	---	---	---	---	---	---	1	1
03:15	---	---	---	---	---	---	1	1
03:30	---	---	---	---	---	---	2	1
03:45	---	---	---	---	---	---	2	1

Tabela A9. Valores de cor aparente ao longo da filtração para o ensaio 4 da 3ª fase.

<i>Cor aparente (mgPtCo L⁻¹)</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	800		60		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	4A	4B	4A	4B	4A	4B	4A	4B
	AB = 560	AB = 550	AB = 494	AB = 488	AB = 477	AB = 499	AB = 545	AB = 550
00:00	2	9	77	73	36	20	34	14
00:15	1	1	26	18	5	2	10	6
00:30	1	1	15	16	3	3	4	3
00:45	1	1	13	18	1	3	3	3
01:00	1	1	10	21	2	2	3	5
01:15	1	3	10	10	1	2	4	7
01:30	5	3	12	9	1	2	4	6
01:45	2	13	12	11	1	2	4	4
02:00	6	---	13	13	1	1	4	4
02:15	---	---	---	---	---	---	4	5
02:30	---	---	---	---	---	---	6	4
02:45	---	---	---	---	---	---	5	5
03:00	---	---	---	---	---	---	6	5
03:15	---	---	---	---	---	---	6	4

Tabela A10. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 1 da 3ª fase.

<i>pH</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	400		30		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	1A	1B	1A	1B	1A	1B	1A	1B
	AB = 7,26	AB = 7,42	AB = 7,97	AB = 7,60	AB = 8,18	AB = 7,95	AB = 8,74	AB = 7,82
00:00	7,06	7,06	6,69	7,00	6,83	6,53	6,58	6,62
00:15	7,08	7,03	7,05	7,17	6,63	6,54	---	6,42
00:30	7,06	7,34	7,09	7,18	6,68	6,49	6,42	6,33
00:45	7,04	7,10	7,04	7,17	6,55	6,67	6,33	6,21
01:00	7,04	7,13	7,13	7,13	6,52	6,29	6,34	6,13
01:15	7,07	7,12	7,16	7,17	6,39	6,33	6,27	6,10
01:30	7,08	7,18	7,15	7,14	6,37	6,29	6,33	6,03
01:45	7,11	7,12	7,12	7,08	6,37	6,23	6,31	6,10
02:00	7,12	---	7,14	---	---	6,13	6,27	6,11
02:15	---	---	---	---	---	---	6,37	6,20
02:30	---	---	---	---	---	---	6,32	6,14
02:45	---	---	---	---	---	---	6,38	6,15
03:00	---	---	---	---	---	---	6,40	6,19
03:15	---	---	---	---	---	---	6,41	6,18
03:30	---	---	---	---	---	---	6,29	6,17

Tabela A11. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 2 da 3ª fase.

<i>pH</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	400		60		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	2A	2B	2A	2B	2A	2B	2A	2B
	AB = 7,54	AB = 8,46	AB = 7,81	AB = 8,28	AB = 7,55	AB = 7,75	AB = 7,39	AB = 7,39
00:00	7,36	7,53	7,16	7,10	6,65	6,63	6,51	6,51
00:15	7,34	7,52	7,24	7,28	6,56	6,60	6,41	6,39
00:30	7,35	7,49	7,19	7,25	6,53	6,56	6,23	6,27
00:45	7,29	7,45	7,10	7,22	6,47	6,50	6,19	6,09
01:00	7,37	7,45	7,12	7,22	6,47	6,32	6,28	6,21
01:15	7,34	7,48	7,09	7,18	6,40	6,31	6,18	6,12
01:30	7,37	7,44	7,11	7,18	6,32	6,20	6,17	6,05
01:45	7,33	7,77	7,04	7,17	6,31	6,08	6,16	6,11
02:00	7,31	7,55	6,98	7,15	---	5,92	6,13	6,15
02:15	---	---	---	7,19	---	---	6,16	6,01
02:30	---	---	---	7,10	---	---	6,10	6,11
02:45	---	---	---	---	---	---	6,09	6,13
03:00	---	---	---	---	---	---	6,15	6,03
03:15	---	---	---	---	---	---	6,17	6,02
03:30	---	---	---	---	---	---	6,17	6,36
03:45	---	---	---	---	---	---	---	6,05

Tabela A12. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 3 da 3ª fase.

<i>pH</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	800		30		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleifera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleifera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	3A	3B	3A	3B	3A	3B	3A	3B
	AB = 7,24	AB = 7,67	AB = 8,07	AB = 8,56	AB = 8,14	AB = 8,35	AB = 7,41	AB = 8,31
00:00	7,13	7,23	7,11	7,09	6,54	6,70	6,67	6,75
00:15	7,22	7,26	7,14	7,01	6,58	6,46	6,63	6,59
00:30	7,18	7,24	7,07	7,01	6,44	6,42	6,56	6,51
00:45	7,28	7,32	7,35	6,93	6,39	6,49	6,60	6,45
01:00	7,25	7,35	7,14	7,00	6,32	6,20	6,58	6,40
01:15	7,18	7,29	7,01	7,03	6,21	6,22	6,44	6,41
01:30	7,18	7,32	7,38	6,94	6,21	6,11	6,53	6,36
01:45	7,22	7,30	7,01	6,97	6,26	6,18	6,56	6,41
02:00	7,22	7,34	7,02	---	---	6,15	6,51	6,41
02:15	---	---	---	---	---	---	6,59	6,39
02:30	---	---	---	---	---	---	6,63	6,40
02:45	---	---	---	---	---	---	6,60	6,40
03:00	---	---	---	---	---	---	6,71	6,40
03:15	---	---	---	---	---	---	6,67	6,41
03:30	---	---	---	---	---	---	6,71	6,39
03:45	---	---	---	---	---	---	---	6,41

Tabela A13. Valores de pH ao longo da filtração para o ensaio 4 da 3ª fase.

<i>pH</i>								
Condições operacionais	Mistura rápida (coagulação)				Mistura lenta (floculação)			
	Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (s.)		Gradiente médio de velocidade (s ⁻¹)		Tempo de agitação (min.)	
	800		60		20		10	
Tempo de Filtração	<i>Moringa oleífera</i> 2% -500 mg L ⁻¹		<i>Moringa oleífera</i> 2% -300 mg L ⁻¹		Tanino 1% 12 ml L ⁻¹		Tanino 1% 6 ml L ⁻¹	
	4A	4B	4A	4B	4A	4B	4A	4B
	AB = 8,46	AB = 8,57	AB = 8,21	AB = 8,63	AB = 7,72	AB = 7,76	AB = 7,50	AB = 7,30
00:00	7,20	7,10	6,89	6,88	6,74	6,13	6,57	5,31
00:15	7,22	6,98	6,91	7,00	6,53	6,52	6,46	6,24
00:30	7,14	7,07	6,87	6,96	6,34	6,53	6,35	6,30
00:45	7,15	7,26	6,80	6,81	6,30	6,50	6,31	6,14
01:00	7,14	7,23	6,76	6,77	6,19	6,43	6,23	6,18
01:15	7,17	7,18	6,94	6,80	6,12	6,34	6,24	5,97
01:30	7,13	7,35	6,76	6,78	6,05	6,12	6,26	6,36
01:45	---	7,31	6,87	6,78	6,00	6,06	6,27	6,18
02:00	7,56	---	6,85	6,68	5,92	6,13	6,30	6,23
02:15	---	---	---	---	---	---	6,52	6,26
02:30	---	---	---	---	---	---	6,40	6,17
02:45	---	---	---	---	---	---	6,31	6,29
03:00	---	---	---	---	---	---	6,48	6,36
03:15	---	---	---	---	---	---	6,29	6,22

Tabela A14. Valores de turbidez, cor aparente e pH da água filtrada sem adição de coagulante.

Tempo de filtração	<i>Turbidez (NTU)</i>		<i>Cor aparente (mgPtCoL⁻¹)</i>		<i>pH</i>	
	Ensaio		Ensaio		Ensaio	
	1	2	1	2	1	2
	AB = 105	AB = 107	AB = 510	AB = 525	AB = 8,35	AB = 7,42
00:00	89	76	450	432	7,31	7,15
00:15	105	101	510	505	7,49	7,18
00:30	103	108	501	510	7,59	7,18
00:45	105	107	508	515	7,50	7,16
01:00	105	106	504	520	7,48	7,15
01:15	105	104	502	515	7,50	7,18
01:30	105	107	502	515	7,48	7,15
01:45	106	105	502	510	7,48	7,16
02:00	107	104	508	508	7,45	7,14
02:15	106	104	500	510	7,50	7,17
02:30	106	104	504	510	7,45	7,15
02:45	107	104	500	508	7,53	7,16
03:00	107	105	499	510	7,44	7,16
03:15	---	105	---	505	---	7,16