



ISSN: 1984-3151

EMPREGO DAS SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA* LAM, COMO COAGULANTE ALTERNATIVO AO POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC), NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS POTÁVEIS

USE OF *MORINGA OLEIFERA* LAM, AS AN ALTERNATIVE COAGULANT TO POLYALUMINUM CHLORIDE IN THE TREATMENT OF DRINKING WATER

Livia de Oliveira Ruiz Moreti¹; Franciele Pereira Camacho²; Milene Carvalho Bongiovani³;
Ana Paula Stroher⁴; Leticia Nishi⁵; Angélica Marquetotti Salcedo Vieira⁶; Rosangela
Bergamasco⁷

- 1 Mestranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Bióloga. Universidade Estadual de Maringá, 2011. Maringá, PR. li.moreti@hotmail.com.
- 2 Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Bióloga. Universidade Estadual de Maringá, 2012. Maringá, PR. franciele_camacho@hotmail.com.
- 3 Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM. Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2011. Maringá, PR. mi-le-ne@hotmail.com.
- 4 Doutoranda em Engenharia Química PEQ/UEM Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2010.. Maringá, PR. ana_stroher@hotmail.com.
- 5 Doutora em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá. Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UEM. Maringá,PR. leticianishi@hotmail.com.
- 6 Professora adjunta do Departamento de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. angelicamsalcedo@hotmail.com.
- 7 Doutora em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 1984. Professora da Universidade Estadual de Maringá, PR. rosangela@deg.uem.br.

Recebido em: 01/04/2013 - Aprovado em: 30/04/2013 - Disponibilizado em: 11/06/2013

RESUMO: Este trabalho avaliou a eficiência das sementes de *Moringa oleifera* Lam como coagulante natural no processo de coagulação/floculação/sedimentação (C/F/S), seguido de ultrafiltração (UF), para a obtenção da remoção de cor, turbidez, coliformes totais, *Escherichia coli* e pH da água tratada. Para os ensaios, foi utilizada água bruta com turbidez na faixa de 150 à 550 uT proveniente do Rio Pirapó. O processo C/F/S foi realizado com o coagulante natural *Moringa oleifera* (MO) extraído em solução salina de KCl e NaCl (1M) e com o coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC), nas dosagens de 25 à 300 mg.L⁻¹. Para os ensaios de UF foi utilizada uma membrana de poli (éter sulfona) à pressão de 3 bar. Pode-se observar que a *Moringa* não influencia o pH do meio, o qual manteve-se estável em todas as dosagens. O processo combinado C/F/S+UF apresentou-se eficiente, pois os parâmetros analisados atingiram os valores estabelecidos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação/floculação/sedimentação, ultrafiltração, *Moringa oleifera*.

ABSTRACT: This study investigated the efficiency of *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant in coagulation/flocculation/sedimentation (C/F/S) process, followed by ultrafiltration (UF) for color, turbidity, total coliforms and *Escherichia coli* removal and pH of the treated water. For the tests a raw water with turbidity 150-550

uT, from the River basin Pirapó was used. The C/F/S process was performed using the *Moringa oleifera* extracted in saline solution of KCl and NaCl (1M), and Poly Aluminum Chloride (PAC) as chemical coagulant, in dosage from 25 to 300 mg.L⁻¹. In UF process, it was used a membrane of poly (eter sulfone) in a working pressure of 3 bar. In the results, one can observe that the *Moringa* does not influence the pH of the medium, which remained stable at all dosages. The combined process C/F/S+UF showed efficient, because the analyzed parameters reach the values established by Regulation nº 2914 of the Ministry of Health.

KEYWORDS: Coagulation/flocculation/sedimentation, ultrafiltration, *Moringa oleifera*, chemical coagulant.

1 INTRODUÇÃO

No tratamento convencional de água de abastecimento, os coagulantes a base de alumínio, tal como o Policloreto de Alumínio (PAC), são amplamente utilizados, devido à sua comprovada eficiência e o seu baixo custo. Contudo, pesquisas têm apontado algumas desvantagens, tais como problemas de saúde, como a doença de Alzheimer, causados pelo alumínio residual em águas tratadas, produção de grande volume de lodo, consumo da alcalinidade do meio, acarretando custos adicionais com produtos químicos utilizados na correção do pH da água tratada (RONDEAU *et al.*, 2000; KATAYON *et al.*, 2006). É necessário, portanto, buscar coagulantes alternativos e ambientalmente mais compatíveis.

Deste modo, os coagulantes naturais, como a *Moringa oleifera* Lam vem ganhando destaque no tratamento de água potável. *Moringa oleifera* Lam, é uma árvore pertencente à família das Moringaceae, nativa da Índia e amplamente cultivada nos trópicos de todo o mundo (KARADI *et al.*, 2006). Possui capacidade de crescimento rápido, sendo capaz de sobreviver em solos pobres e em longos períodos de seca, requerendo o mínimo de atenção (MCCONACHIE *et al.*, 1999). Vários estudos utilizando *Moringa oleifera* (MO) tem mostrado que suas sementes não são tóxicas a humanos e animais (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995; MUYIBI; EVISON, 1995). Além disso, estas sementes possuem atividade coagulante devido à presença de proteínas catiônicas solúveis em água, cujo principal mecanismo de

coagulação é a adsorção e neutralização de cargas (BHATIA; OTHMAN; AHMAD, 2007).

Quando comparada com coagulantes químicos, a *Moringa* apresenta uma série de vantagens, dentre elas, não altera o pH da água tratada, produz menor volume de lodo, sendo este biodegradável e possui baixo custo de obtenção (GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005; NKURUNZIZA *et al.*, 2009; NWAIWU; LINGMU; 2011). Assim, o uso das sementes de *Moringa oleifera* é uma alternativa viável como agente coagulante em substituição aos sais de alumínio, utilizados no tratamento de água em todo o mundo (NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998; GALLÃO *et al.*, 2006).

A solução coagulante de *Moringa* pode ser preparada por extração aquosa ou em salina, entretanto, há estudos relatando (OKUDA *et al.*, 1999; MADRONA *et al.*, 2010) que a extração de *Moringa oleifera* em solução salina, apresenta maior durabilidade de armazenamento, além de melhorar na eficiência da proteína presente e influenciar na remoção de cor e turbidez.

Normalmente não é possível obter água totalmente clarificada apenas por meio do uso da coagulação/floculação/sedimentação, é necessário complementar o tratamento com uma etapa de filtração. De acordo com Yoon *et al.* (2006), no tratamento de água para abastecimento, em que a preocupação é com os contaminantes orgânicos, o processo de ultrafiltração pode ser o mais adequado, devido ao menor consumo de energia e por apresentar maior eficiência para remover poluentes

orgânicos e matéria orgânica natural, em função do peso molecular de corte (PMC), da membrana selecionada.

Deste modo, o uso de coagulantes antes da etapa de ultrafiltração, pode aumentar a remoção de matéria orgânica natural e conseqüentemente diminuir a turbidez e a cor da água, auxiliando assim, no aumento do fluxo do permeado e na redução do *fouling* das membranas.

Em face ao exposto, este trabalho tem como objetivo principal avaliar a utilização de processos combinados de coagulação/floculação/sedimentação, utilizando a *Moringa oleifera* Lam como coagulante, seguido de ultrafiltração, visando assim obter uma água dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

2 METODOLOGIA

2.1 AMOSTRAS

Para este estudo foram utilizadas amostras de água superficial bruta proveniente do rio Pirapó, captada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) de Maringá-PR. Foi avaliado o parâmetro físico-químico turbidez na faixa de 150 – 550 uT, sendo que para a obtenção dessas turbidez foi necessário a diluição desta água bruta em água destilada.

2.2 PREPARO DOS COAGULANTES

A Estação de Tratamento de água (ETA) de Maringá utilizou durante muitos anos o sulfato de alumínio como coagulante em seu sistema de tratamento, porém visando a redução de perdas operacionais e um menor consumo de produtos químicos, a empresa SANEPAR optou por utilizar atualmente o policloreto de alumínio (PAC). Deste modo, a solução coagulante PAC é utilizada neste estudo. Esta solução foi

preparada a partir do Policloreto de Alumínio (PAC) concentrado comercial, líquido, cedido pela SANEPAR, na proporção de 1% v/v (concentração de 10.000 mg.L⁻¹) em água destilada (SANTOS, 2011).

A solução coagulante de Moringa foi preparada utilizando os sais NaCl e KCl na concentração de 1M, de acordo com estudos anteriores realizados por OKUDA *et al.*, 1999, NKURUNZIZA *et al.*, 2009 e MADRONA *et al.*, 2010.

Para a preparação das soluções de Moringa, utilizou-se a concentração de 1%, ou seja, a solução foi preparada utilizando-se 1g das sementes de moringa descascadas e trituradas no liquidificador em 100 mL de solução salina de KCl ou NaCl a 1M. Após trituração, a solução foi agitada por 30 min, em agitador magnético, e filtrada sob vácuo com filtro de 0,45µm (CARDOSO *et al.*, 2008; MADRONA *et al.*, 2010).

2.3 ETAPAS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

As dosagens das soluções coagulantes (extratos salinos de *Moringa oleifera* e Policloreto de Alumínio) avaliadas na coagulação/floculação foram de 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 mg.L⁻¹ (NKURUNZIZA *et al.*, 2009). Foram realizadas três réplicas para cada solução coagulante.

Na obtenção da dosagem ótima do coagulante, os ensaios de coagulação/floculação foram conduzidos em um equipamento Jar-Test simple, Nova Ética – modelo 218 LDB de seis provas, com regulador de rotação das hastes misturadoras. As condições experimentais para o processo de coagulação/floculação foram: gradiente de mistura rápida (100 s⁻¹), tempo de mistura rápida (3 min), gradiente de mistura lenta (10 s⁻¹), tempo de mistura lenta (15 min) e tempo de estabilização (60 min) (MADRONA *et al.*, 2010).

Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25 ± 2 ° C) e em pH neutro (7,0-7,7), que é comum em águas naturais.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos nos testes de coagulação/floculação/sedimentação foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) através do programa STATISTICA 6.0/2000, utilizando o teste F, com intervalo de confiança de 95%. Assim, a influência das variáveis sobre as respostas desejadas, ou seja, a possível interação estatística da turbidez inicial e dosagem do coagulante com os parâmetros medidos (turbidez, cor e pH) foi avaliada e as dosagens ótimas dos coagulantes foram encontradas.

2.5 PROCESSO COMBINADO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO/ULTRAFILTRAÇÃO

Após a otimização dos processos de coagulação/floculação/sedimentação, a ultrafiltração foi realizada em um módulo de UF de bancada (PAM-Membranas Seletivas), pelo princípio de filtração tangencial. A membrana utilizada possui forma de fibras ocas, de poli (éter sulfona) com peso molecular de corte de 50 KDa e área de filtração de 0,017 m².

Inicialmente foram realizados ensaios de filtração para a caracterização do fluxo das membranas com água pura, sendo utilizada água destilada. Foram coletadas massas de permeado em tempos pré-determinados, por intervalos de tempos conhecidos, e os fluxos calculados a partir da Equação 1.

$$f_{\text{permeado}} = \frac{m}{\rho_{25^\circ\text{C}} \times \Delta t \times A_m} \quad (1)$$

Em que f_{Permeado} é o fluxo de permeado (L.h⁻¹.m²), m , a massa de água coletada (g), ρ é a densidade da água à 25°C, Δt é o intervalo de tempo em que a

massa de água foi coletada (s) e A_m é a área filtrante da membrana (m²).

Depois do término da filtração com a água bruta, a membrana foi enxaguada e o fluxo de água destilada foi medido novamente, para comparação com o fluxo de água da membrana limpa e posterior cálculo do “fouling” percentual.

O entupimento ou “fouling” foi calculado de acordo com a Equação 2 (XU *et al.*, 2006):

$$\text{fouling}(\%) = \left(1 - \frac{f_p}{f_a}\right) \times 100 \quad (2)$$

Na qual, f_p é o fluxo de água destilada medido após o processo de filtração e f_a é o fluxo de água destilada antes da realização do experimento.

Para se ter uma uniformidade nos ensaios fixou-se o volume inicial da alimentação de 5 litros, tempo de ensaio de 60 min e pressão de operação de 3 bar.

Após realizadas as etapas de coagulação/floculação/sedimentação, seguidas de ultrafiltração, avaliou-se a eficiência do processo, pela remoção conjunta dos parâmetros cor, turbidez, pH, coliformes totais e *Escherichia coli* a fim de verificar se estes estão dentro do padrão de potabilidade de acordo com a Portaria nº2914/2011, do Ministério da Saúde, que são: Turbidez de 0,5 uT; Cor aparente <15 uH; pH 6,0 – 9,5; *Escherichia coli* (UFC.mL⁻¹) ausente; coliformes totais (UFC.mL⁻¹) ausentes.

2.6 PARÂMETROS ANALISADOS

A eficiência de todas as etapas foram avaliadas por meio de alguns parâmetros físico-químicos, como cor, turbidez e pH. A cor foi medida em um espectrofotômetro HACH DR/2010, por método de comparação visual com um padrão de cobalto-platina, a turbidez em um Turbidímetro (HACH, 2100P) e o pH em um pH-metro Digimed DM-2, segundo

procedimento recomendado pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

Os parâmetros bacteriológicos, foram analisados quanto à presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* na Placa 3M Petrifilm. A leitura foi

realizada após 24 horas da inoculação e incubação em estufa climatizada à 37°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da água superficial utilizada no presente estudo está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros da amostra de água utilizada no estudo antes do processo de coagulação/floculação.

Parâmetros	Unidades	Valores
Cor aparente	uH	1465
Turbidez	uT	550
pH	-	7,59
Coliformes totais	UFC.mL ⁻¹	169,5
<i>Escherichia coli</i>	UFC.mL ⁻¹	19

UFC.mL⁻¹ – Unidade Formadora de Colônia por mililitro

uH – Unidade Hazen

uT – Unidade de Turbidez

3.1 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO O PAC

A Figura 1, a seguir, apresenta a porcentagem de remoção de cor e turbidez e valores de pH, para diferentes dosagens de coagulante PAC utilizado no processo de coagulação/floculação/sedimentação de águas com vários valores de turbidez inicial.

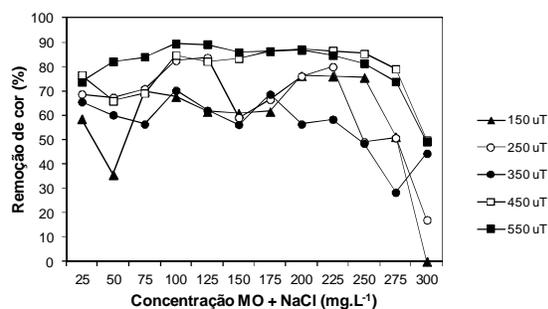
Observa-se por meio da Figura 1b, que ocorre uma boa eficiência de remoção de turbidez de 73,33 a 99,85%. As maiores porcentagens de remoção de turbidez ocorreram em águas de alta turbidez inicial (450 e 550 uT), nas concentrações 50 e 75 mg.L⁻¹. Já as menores porcentagens de remoção foram obtidas em concentrações maiores de coagulante, 175 à 300 mg.L⁻¹ em águas de turbidez inicial de 150 e 250 uT.

A porcentagem de remoção de cor variou de 43 a 100%, possibilitando assim uma melhor eficiência conforme aumentava a dosagem do coagulante, para todas as turbidez avaliadas. Sendo que as melhores porcentagens de remoção ocorreram nas turbidez

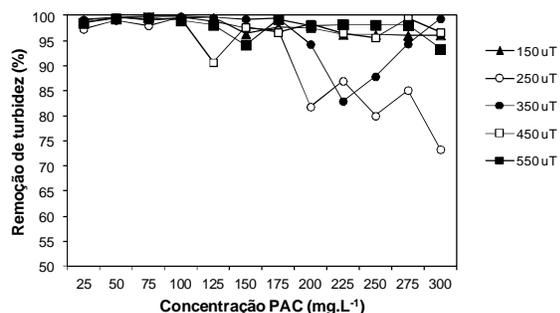
iniciais de 450 e 550 uT, nas concentrações de 100 e 125 mg.L⁻¹.

Na Figura 1c, pode-se observar que os valores médios de pH variaram de 8,32 à 4,80, apresentando um decréscimo, conforme o aumento da dosagem do coagulante. Em estações de tratamento de água, nas quais utilizam-se coagulantes químicos no processo de coagulação/floculação, é necessário a correção do pH da água antes e após a adição do coagulante para otimizar seu efeito-ação. Isto acarreta na adição de mais produtos químicos e conseqüente encarecimento do tratamento da água (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995).

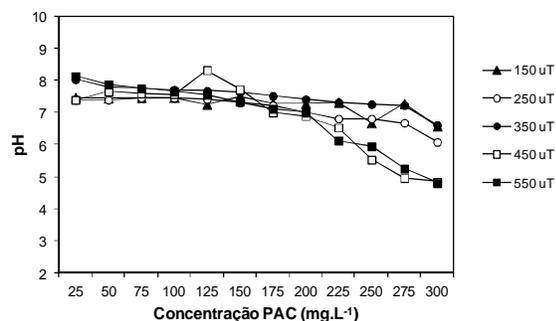
De acordo com a análise estatística aplicada, pode-se observar que os três parâmetros analisados apresentam relação estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para a dosagem de PAC e turbidez inicial da água, ou seja, cor, turbidez e pH da água tratada dependem da turbidez inicial da água a ser tratada bem como da dosagem de PAC utilizada.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 - Porcentagem de (a) remoção de cor, (b) remoção de turbidez e (c) os valores médios de pH para as diferentes concentrações da solução coagulante PAC no processo de C/F/S de águas com variados valores de turbidez inicial.

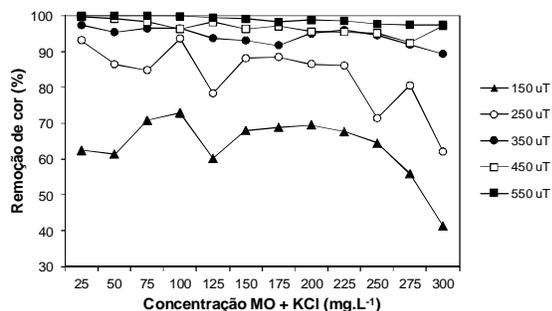
No entanto, as dosagens ótimas obtidas no intervalo de turbidez de 150 - 550 uT foram: 25 mg.L⁻¹ para turbidez inicial de 150 uT e 50 mg.L⁻¹ para as turbidez de 250, 350, 450 e 550 uT.

3.2 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO O COAGULANTE MORINGA-KCL

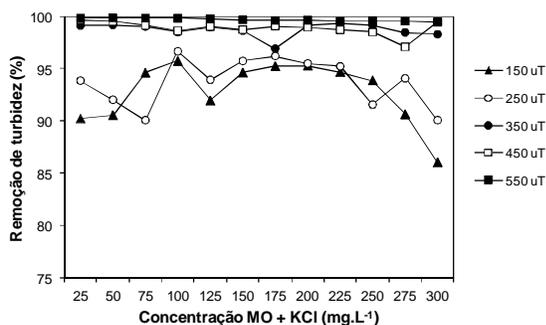
As Figuras 2a e 2b apresentam a porcentagem de remoção de cor e turbidez, respectivamente, para diferentes dosagens de solução de coagulante usado no processo de coagulação/ floculação/sedimentação para vários valores de turbidez inicial. A Figura 2c mostra o pH médio era estável em todas as concentrações.

Observa-se por meio da Figura 2a, que as melhores eficiências de remoção (99% e 100%) ocorreram para águas de alta turbidez (450 e 550 uT respectivamente) na concentração de 50 mg.L⁻¹. Já a menor eficiência foi obtida na turbidez inicial baixa (150 uT), com aproximadamente 40% de remoção na concentração de coagulante de 300 mg.L⁻¹. Para turbidez inicial de 150 e 250 uT, as melhores remoções de cor (72% e 93% respectivamente) ocorreram na concentração de 100 mg.L⁻¹.

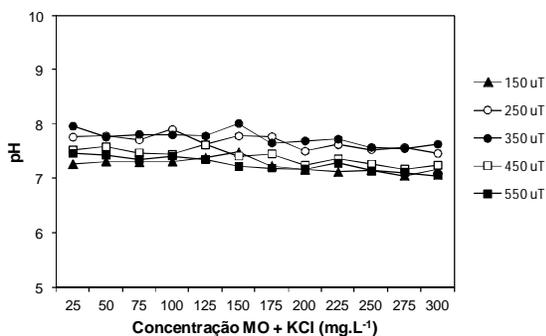
Segundo Nkurunziza *et al* (2009), geralmente águas com valores de cor e turbidez altos, exigem uma alta concentração de coagulante. Segundo Paterniani, Mantovani e Sant'anna (2009), quanto maior a turbidez da água bruta a ser tratada, maior também deve ser a dosagem da solução coagulante de Moringa empregada, seja para a remoção de partículas sólidas por sedimentação, quanto por filtração lenta. Tais afirmações não vêm de encontro aos resultados encontrados no presente trabalho, sendo que para os maiores valores de turbidez inicial, encontrou-se uma faixa de dosagem de Moringa de valores mais baixos para remoção de turbidez e cor em torno de 100%. Este fato pode ser atribuído à utilização do sal na solução coagulante, que pode melhorar a eficiência de remoção dos parâmetros mesmo em dosagens baixas de solução de Moringa.



(a)



(b)



(c)

Figura 2 - Porcentagem de (a) remoção de cor, (b) remoção de turbidez e (c) os valores médios de pH para as diferentes concentrações do coagulante Moringa-KCl para os diferentes valores de turbidez inicial avaliados.

O comportamento para remoção de turbidez (Figura 2b) foi similar ao de remoção de cor. A maior faixa de concentração encontrada foi de 100 mg.L⁻¹, para águas de turbidez inicial 150 e 250 uT. Observa-se

ainda que quanto maior o valor da turbidez inicial, menor é a concentração de coagulante a ser utilizada.

Observa-se por meio da Figura 2c, que a adição do coagulante não influencia o pH da água tratada, pois este se manteve estável em todas as concentrações, com valores neutros, sendo essa característica observada em pesquisas anteriores (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995).

Assim, as concentrações ótimas obtidas no intervalo de turbidez de 150 - 550 uT foram: 100 mg.L⁻¹ para as turbidez de 150 e 250 uT, 75 mg.L⁻¹ para 350 uT e 50 mg.L⁻¹ para 450 e 550 uT.

De acordo com a análise estatística aplicada, a influência da turbidez inicial e da concentração de Moringa em solução salina, para KCl, sobre a remoção de cor e turbidez foi significativa ($p < 0,05$). Nenhuma interação estatisticamente significativa foi observada em relação ao pH ($p = 0,97$). Esta característica de não alteração do pH da água tratada é considerada uma das vantagens da Moringa.

A concentração 1M do sal NaCl e KCl foi escolhida devido a estudos anteriores de Madrona *et al.* (2010), que avaliaram a eficiência do coagulante Moringa em solução salina de KCl em diferentes molaridades (0,01; 0,1 e 1M), e obtiveram melhores eficiências de remoção de cor, turbidez e compostos com absorção UV-254nm em solução salina de KCl (1M).

3.3 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO O COAGULANTE MORINGA-NACl

As Figuras 3a e 3b apresentam a porcentagem de remoção de cor e turbidez, respectivamente, para diferentes concentrações de solução de coagulante usado no processo de coagulação/floculação/sedimentação para vários valores de turbidez inicial. A Figura 3c mostra que o parâmetro pH médio era estável a todas as concentrações.

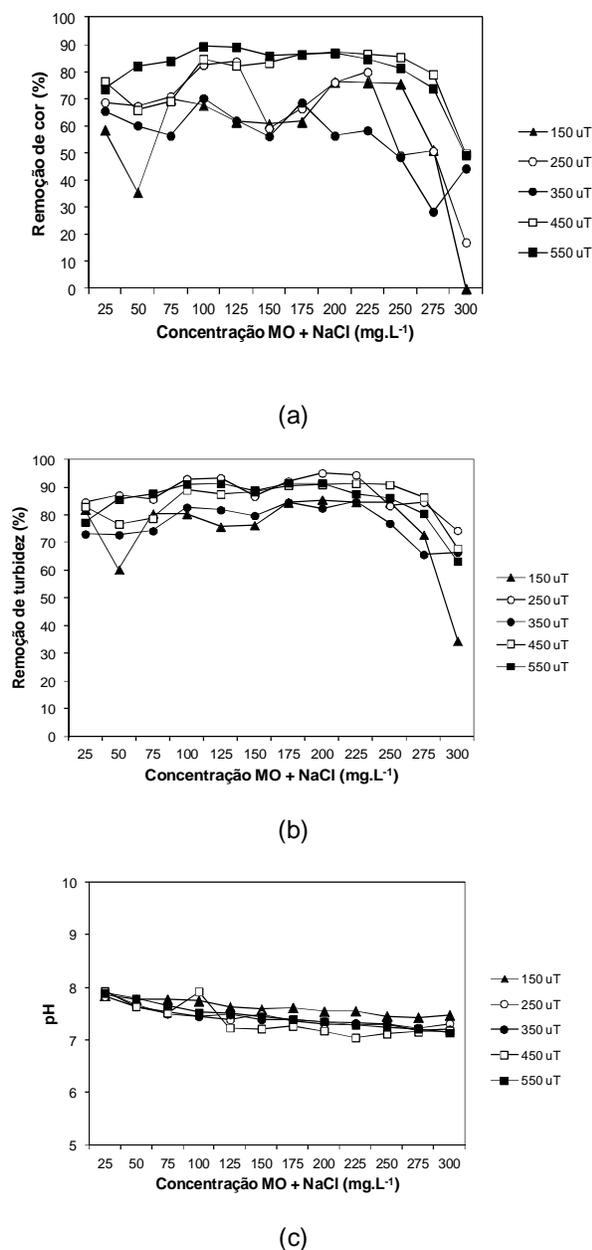


Figura 3 - Porcentagem de (a) remoção de cor, (b) remoção de turbidez e (c) os valores médios de pH para as diferentes concentrações da solução coagulante, utilizando extração com NaCl 1 M para os diferentes valores de turbidez inicial avaliados.

As concentrações ótimas encontradas para extração com KCl (1M) foram próximas das avaliadas para NaCl (1M).

Durante os ensaios com solução salina de KCl e NaCl (1M), foi observado que para a turbidez inicial baixa (150 uT), a utilização da Moringa em solução salina para remoção de cor e turbidez foi pouco eficiente,

principalmente a altas dosagens de coagulante (300 mg.L⁻¹). Esse comportamento pode estar diretamente relacionado ao aumento da carga orgânica, em decorrência da *Moringa oleifera* ser uma oleaginosa muito rica em substâncias orgânicas, tais como, óleo, proteína, gordura, vitaminas etc. No entanto, para água de alta turbidez inicial (450 e 550 uT) foram observadas as maiores remoção de turbidez, acima de 90%.

Não foi verificada disparidade nos resultados de pH, em relação à moringa extraída em solução salina NaCl. Os valores do pH foram mantidos em torno de 7,0, confirmando dados da literatura (Figura 3c).

Nkurunziza *et al.* (2009) utilizaram extração salina (NaCl – 1M) com semente de Moringa no processo de coagulação/floculação e obtiveram dosagens ótimas de coagulante de 150 mg.L⁻¹ para 50 uT e 125 mg.L⁻¹ para 150, 250 350 e 450 uT. Comparando estes resultados da literatura com os obtidos neste trabalho, percebe-se que utilizando extração da Moringa com solução salina, uma menor quantidade de coagulante é necessária para se obter a mesma eficiência de remoção.

De acordo com a análise estatística aplicada, o comportamento da solução salina (NaCl – 1M) foi o mesmo quando comparado à solução salina (KCl – 1M).

Assim, as concentrações ótimas de solução salina NaCl (1M) encontradas para a faixa de turbidez de 150 – 550 uT foram: 200 mg.L⁻¹ para 150 uT, 100 mg.L⁻¹ para 250, 350, 450 e 550 uT.

A escolha da solução salina como coagulante foi devido a estudos anteriores que demonstram que há uma relativa melhora no tempo de armazenamento do extrato salino ao compará-lo com a extração com água. Quando essa semente é extraída por meio de uma solução salina NaCl 1M, sua atividade coagulante apresenta uma eficiência de 7,4 vezes maior que a solução preparada somente com água destilada

(MADRONA *et al.*, 2010; OKUDA *et al.*, 1999). Além disso, baixas dosagens do coagulante são necessárias para se obter altas remoções.

3.4 PROCESSOS COMBINADO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO/ULTRAFILTRAÇÃO

De acordo com Madrona *et al.* (2010), pode-se verificar que os resultados finais de turbidez e cor, obtidos nas concentrações ótimas das diferentes

soluções salinas testadas com *Moringa oleifera* Lam, não foram satisfatórios apenas com o processo de coagulação/floculação, exigindo assim, a etapa de filtração. Estes resultados vão ao encontro com os obtidos no presente trabalho, pois, conforme mostra a Tabela 2, a turbidez final, os valores de cor, assim como os parâmetros microbiológicos analisados, não atingiram os valores exigidos pela legislação em vigor, apenas com o processo de coagulação/floculação.

Tabela 2 - Eficiência do processo combinado (coagulação/floculação/sedimentação/ultrafiltração), para todas as turbidez iniciais, utilizando os diferentes coagulantes, com suas respectivas dosagens ótimas, à pressão de 3 bar.

Turbidez inicial (uT)	Parâmetros analisados	CFS			CFSU			R (%)		
		PAC	MO+KCl	MO+NaCl	PAC	MO+KCl	MO+NaCl	PAC	MO+KCl	MO+NaCl
150 uT	Cor aparente (uH)	0	0	100	154	0	100	112	0	100
	Turbidez final (uT)	1,36	0,49	99,66	6,39	0,31	99,79	11,3	0,31	99,34
	pH	7,47	8,24	-	7,31	6,48	-	7,48	7,79	-
	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)	3	0	99,99	0	0	99,99	0	0	99,99
	coliformes totais (UFC.mL ⁻¹)	56	0	99,99	17	0	99,99	13	0	99,99
250 uT	Cor aparente (uH)	0	0	100	50	0	100	171	0	100
	Turbidez final (uT)	1,75	0,29	99,85	8,31	0,2	99,91	11,25	0,22	99,84
	pH	7,4	7,45	-	7,9	8,36	-	7,36	7,98	-
	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)	5	0	99,99	0	0	99,99	0	0	99,99
	coliformes totais (UFC/ml)	53	0	99,99	20	0	99,99	19	0	99,99
350 uT	Cor aparente (uH)	0	0	100	29	0	100	96	0	100
	Turbidez final (uT)	1,08	0,37	99,87	3,1	0,26	99,92	13,1	0,45	99,07
	pH	7,81	8,06	-	7,96	8,26	-	7,92	7,99	-
	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)	9	0	99,99	2	0	99,99	1	0	99,99
	coliformes totais (UFC.mL ⁻¹)	68	0	99,99	32	0	99,99	23	0	99,99
450 uT	Cor aparente (uH)	5	0	100	13,5	0	100	217	0	100
	Turbidez final (uT)	1,23	0,5	99,88	2,12	0,27	99,93	24,9	0,3	99,71
	pH	7,65	8,32	-	7,58	8,26	-	7,63	7,97	-
	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)	7	0	99,99	3	0	99,99	0	0	99,99
	coliformes totais (UFC.mL ⁻¹)	57	0	99,99	34	0	99,99	33	0	99,99
550 uT	Cor aparente (uH)	0	0	100	0	0	100	101	0	100
	Turbidez final (uT)	1,87	0,43	99,92	0,84	0,2	99,92	12,45	0,4	99,53
	pH	7,88	7,77	-	7,43	8,12	-	7,48	8,12	-
	<i>E. coli</i> (UFC.mL ⁻¹)	10	0	99,99	1	0	99,99	3	0	99,99
	coliformes totais (UFC.mL ⁻¹)	43	0	99,99	22	0	99,99	21	0	99,99

Sendo: C/F/S- Coagulação/floculação/sedimentação ; R – Porcentagem de remoção do processo combinado e CFSU- Coagulação/floculação/sedimentação/ultrafiltração

No entanto, após a utilização do processo combinado, os três coagulantes testados apresentaram excelentes

resultados para todos os parâmetros, sendo que os dois coagulantes à base de *Moringa* apresentaram

resultados semelhantes. Não foi encontrada presença de *Escherichia coli* nem coliformes totais para todas as turbidez analisadas. Houve 100% de remoção de cor e a turbidez apresentou valores abaixo de 0,5 uT. (Tabela 2).

A partir da Figura 4, que apresenta o fluxo de permeado versus tempo para ultrafiltração de água

coagulada/floculada com PAC, MO + KCl e MO + NaCl, à pressão de 3 bar, pode-se observar que ocorre um decréscimo de todos os fluxos de permeado com o tempo de operação, até que o mesmo se torne constante.

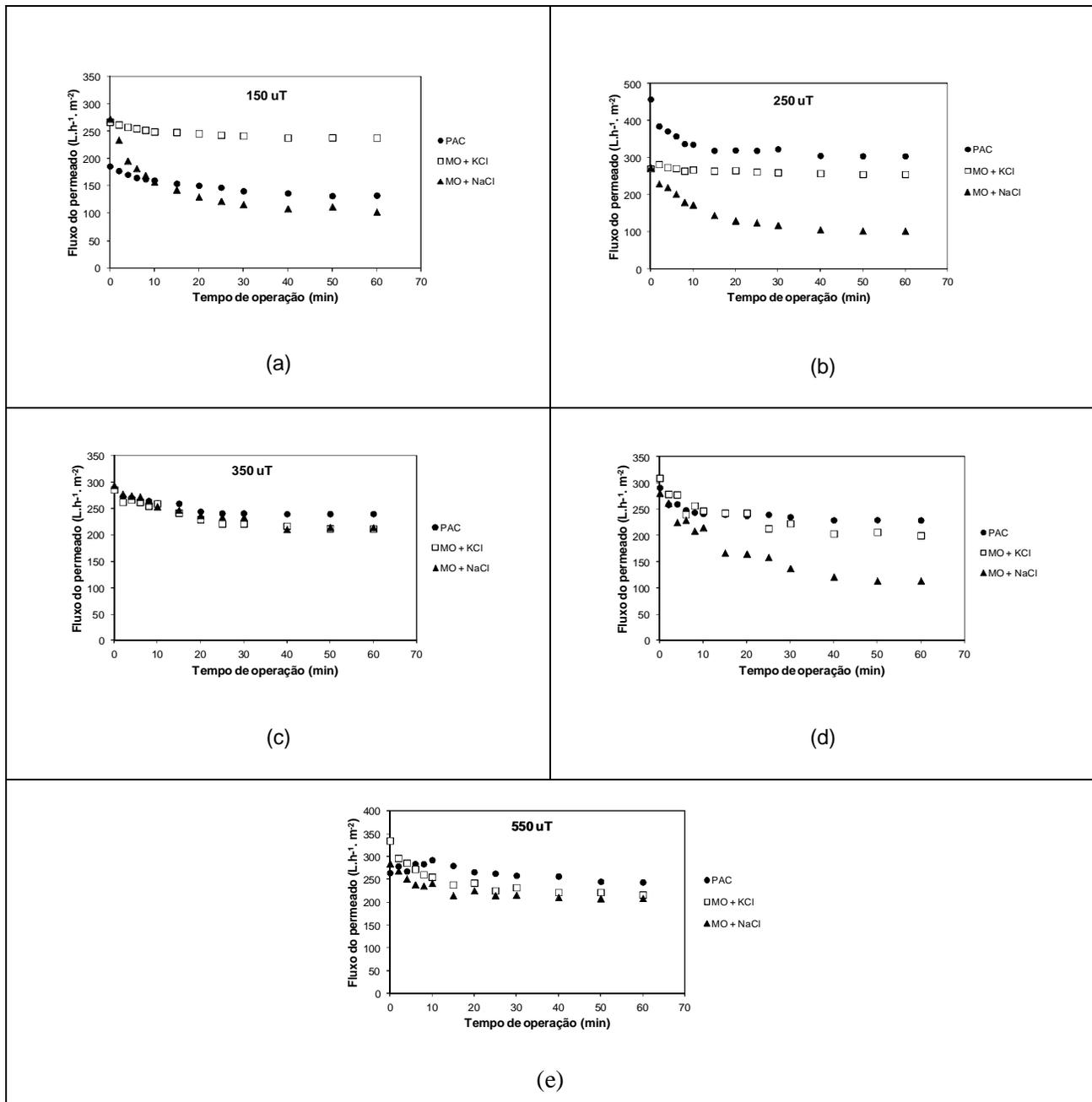


Figura 4 - Fluxo permeado referente aos ensaios de coagulação/floculação/UF com a concentração ideal de Policloreto de Alumínio, extração de Moringa em KCl e extração de Moringa em NaCl na turbidez inicial de (a) 150 uT; (b) 250 uT; (c) 350 uT; (d) 450 uT; (e) 550 uT.

A redução de fluxo durante o processo de filtração pode ser atribuída à deposição de material sobre a superfície das membranas ou no interior dos poros, caracterizando fenômenos como a polarização por concentração e o *fouling*. Conforme descrito por Eagles e Wakeman (2002), partículas menores do que os poros tendem a se depositar nas paredes do poro, ocasionando uma redução efetiva no diâmetro deste, reduzindo, dessa forma, o fluxo permeado. Quanto maior o diâmetro da partícula depositada na superfície da membrana, mais drástica tende a ser a redução do fluxo.

Na Tabela 3 está apresentada a porcentagem do *fouling* para os 3 tipos de coagulantes utilizados.

Tabela 3 - Porcentagem de *fouling* da membrana UF

Turbidez inicial	<i>Fouling</i> da membrana de UF (%)		
	PAC	MO+KCl	MO+NaCl
150 uT	26,1	15,5	69,4
250 uT	2,8	15,5	65,8
350 uT	14,9	14,2	33,66
450 uT	9,6	26	66,26
550 uT	6,1	23,5	52,9

De todos os coagulantes testados, o coagulante MO + NaCl foi o que apresentou maiores entupimentos, sendo que para águas de baixa cor e turbidez, o *fouling* foi de 70% para 150 uT.

O aumento da porcentagem de *fouling* em turbidez menores, pode ser explicado pelo fato destas apresentarem uma menor quantidade de sólidos totais suspensos, dificultando a formação de aglomerados no processo de coagulação/floculação, restando assim, maior quantidade de colóides responsáveis pelo entupimento dos poros da membrana.

Como apresentado na literatura, embora a rejeição do íon K⁺ seja maior que do íon Na⁺, utilizando membrana de ultrafiltração (MIR; SHUKLA, 2010), no presente trabalho, como foi utilizado um pré-tratamento de coagulação/floculação, observou-se que houve uma maior eficiência de remoção quando se utilizou como coagulante MO + KCl (1M). Devido a isso, por apresentar uma menor quantidade de partículas coloidais na solução de alimentação do processo de ultrafiltração, este coagulante é responsável por um menor entupimento (*fouling*).

4 CONCLUSÕES

A utilização das sementes de *Moringa oleifera* Lam nos processos combinados com membrana, apresentou bons resultados, mostrando-se uma alternativa à utilização de coagulantes químicos em sistemas de tratamento de água, pois além de oferecer uma água de boa qualidade, é uma alternativa em benefício do meio ambiente.

Com base nos estudos experimentais realizados concluiu-se que a utilização das sementes da *Moringa oleifera* Lam mostrou-se eficiente na remoção dos parâmetros físico-químicos analisados, sendo assim considerada viável ao processo de coagulação/floculação de um sistema de tratamento de água de abastecimento. Porém, para que estes parâmetros estivessem dentro dos limites exigidos pela Portaria nº2914/MS, foi necessário a utilização da etapa de ultrafiltração, onde os resultados obtidos foram satisfatórios.

Em ambas as soluções de *Moringa* não houve alteração do pH da água, no entanto, a solução de KCl se apresentou ligeiramente mais eficiente nos seus resultados de remoção de cor e turbidez. A *Moringa* foi pouco eficiente para águas de baixa turbidez inicial, verificando dificuldade na remoção de cor e turbidez.

REFERÊNCIAS

- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (2005), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st, Centennial Edition, Washington.
- BHATIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD, A.L. (2007) Coagulation-flocculation process for POME treatment using *Moringa oleifera* seeds extract: Optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 133, n. 1-3, p. 205-212.
- CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E.S.; KONRADT-MORAES, L.C. (2008) Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. *Revista Acta Sci. Tech.*, v. 30, n. 2, p. 193-198.
- EAGLES, W. P. WAKEMAN, R. J. (2002) Interaction between dissolved material and the *fouling* layer during microfiltration of a model beer solution. *Journal of Membrane Science*, v. 206, n. 1-2, p. 253-264.
- GALLÃO, I. M.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. (2006) Avaliação química e estrutural da semente de *Moringa*. *Cienc. Agron., Fortaleza*, v. 37, n. 1, p. 106-109.
- GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K.R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. (2005) A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*, v. 39, n. 11, p. 2338-2344.
- KARADI, R.V.; GADGE, N. B.; ALAGAWADI, K. R.; SAVADI, R. V. (2006) Effect of *Moringa oleifera* Lam. root-wood on ethylene glycol induced urolithiasis in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 105, p. 306-311.
- KATAYON, S.; NOOR, M. J. M. M.; ASMA, M.; ABDUL, G. L. A., THAMER, A. M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B. C.; SULEYMAN, A. M. (2006) Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. *Bioresource Technology*, v. 97, p. 1455-1460.
- MADRONA, G.S.; SERPELLONI, G.B.; VIEIRA, A.M.S.; NISHI, L.; CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R. (2010) Study of the Effect os saline Solution on the Extraction of the *Moringa oleifera* Seed's Active Component for Water Treatment. *Water, Air, Soil Pollut*, v. 211, p. 409-415.
- MCCONACHIE, G.L.; FOLKARD, G.K.; MATAWALI, M.A. & SUTHERLAND, J.P. (1999) Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. *Water Research*, v. 33, n. 6, p. 1425-1434.
- MIR, F. Q.; SHUKLA, A. (2010) Negative Rejection of NaCl in Ultrafiltration of Aqueous Solution of NaCl and KCl Using Socialite Octahydrate Zeolite-Clay Charged Ultrafiltration Membrane. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, v. 49, n. 14, p. 6539-6546.
- MUYIBI, S., A.; EVISON, L. M. (1995) *Moringa Oleifera* Seeds for Softening Hardwater. *Water Research*, v. 29, n. 4, p. 1099-1105.
- NWAIWU, N. E., LINGMU, B. (2011) Studies on the effect of settling time on coliform reduction using *Moringa oleifera* seed powder. *Journal of applied Sciences in Environmental Sanitation*, v.6, n. 3, p. 279-286.
- NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., (1998) Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds, *Water Research*, v.32, n. 3, p. 781-791.
- NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. (1995) Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Reserch, New York*, v. 29, n. 2, p. 703-710.
- NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J. B., BANADDA, E.N.; NHAPI, I. (2009) The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science & Technology*, v. 59, n. 8, p. 1551-1558.
- OKUDA, T., BAES, A. U., NISHIJIMA, W. & OKADA, M. (1999) Improvements of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*, v.33, n.15, p. 3373-3378.
- PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. (2009) Uso de sementes de *Moringa Oleifera* para tratamento de águas superficiais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 06, p. 765-771.
- RONDEAU, V.; COMMENGES, D.; JACQMIN-GADDA, H.; DARTIGUES, JF. (2000) Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: an 8-year follow-up study. *American Journal of Epidemiology*, v. 152, n. 1, p. 59-66.
- SANTOS, N. A. P. (2011) Avaliação do desempenho de produtos químicos na coagulação da água produzida na ETA do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro com vistas à redução dos seus custos. Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Ambiental/UFRJ, Rio de Janeiro /RJ, Brasil, p. 57.
- YOON, Y.; WESTERHOFF, P.; SNYDER, S. A.; WERT, E. C. (2006) Nanofiltration and ultrafiltration of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals and

personal care products. *Journal of Membrane Science*, v. 270, p. 88-100.

XU, P., DREWES, J. E., KIM, T. U., BELLONA, C., AMY, D., (2006). Effect of membrane fouling on

transport of organic contaminants in NF/RO membrane applications. *J. Membr. Sci.*, 279 (1-2), 165-175.