



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

JULYANNA DAMASCENO PESSOA

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE
TRATAMENTO DE ÁGUAS: MEMBRANA CERÂMICA
DE MICROFILTRAÇÃO COM RESINA TROCADORA
IÔNICA

CAMPINA GRANDE

2015

JULYANNA DAMASCENO PESSOA

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA HÍBRIDO DE
TRATAMENTO DE ÁGUAS: MEMBRANA CERÂMICA
DE MICROFILTRAÇÃO COM RESINA TROCADORA
IÔNICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Processos Industriais de Engenharia Química.

Orientação: Prof. Kepler Borges França,
(Ph. D)

CAMPINA GRANDE

2015

JULYANNA DAMASCENO PESSOA

Avaliação de um sistema híbrido de tratamento de águas: Membrana cerâmica de microfiltração com resina trocadora iônica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

Prof. Dr. Kepler Borges França (Orientador)
Universidade Federal de Campina Grande
(UAEQ/CCT/UFCG)

Prof. Dr. Laércio Gomes de Oliveira (Examinador externo)
Universidade Federal de Campina Grande
(UAEQ/CCT/UFCG)

Prof. Hélio de Lucena Lira, Ph.D. (Examinador Externo)
Universidade Federal de Campina Grande
(UAEMa/CCT/UFCG)

Aprovada em: 15 de dezembro de 2014.

Local de defesa: Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) *campus* da Universidade Federal de Campina Grande

Dedico esta dissertação aos meus pais, Luzardo Pessoa de Medeiros e Eneide Damasceno Pessoa que me ensinaram os princípios para se ter uma vida de amor, paz e harmonia.

Minhas conquistas eu dedico a vocês que sempre me educaram e confiaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Á Deus. Pela sua sensível presença em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais Eneide Damasceno Pessoa e Luzardo Pessoa de Medeiros e irmão Henrique Bruno Damasceno Pessoa. Exemplos vivos de sabedoria e perseverança. Obrigada por me ensinarem a gostar de aprender e saber a importância de investir em minha educação e em mim. Obrigada irmão por ser o melhor irmão do mundo.

Ao meu esposo Janailson Bernardo da Silva. Por todo amor, companheirismo, cuidado, paciência, confiança, admiração e incentivo que me ajudaram a ter forças para continuar.

Ao Prof. Dr. Kepler Borges França (PhD). Pela oportunidade de vivenciar experiências tão ricas. Por sua orientação segura, atenção, confiança e compromisso. Agradeço o apoio em todos os momentos que precisei.

Aos colegas de trabalho no LABDES. Pelas valiosas contribuições, disponibilidade e colaboração, fundamentais para a consecução deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – PB. Juntamente com todos os docentes que me ajudaram no crescimento profissional.

"Não conheço ninguém que conseguiu realizar seu sonho, sem sacrificar feriados e domingos pelo menos uma centena de vezes. Da mesma forma, se você quiser construir uma relação amigável com seus filhos, terá que se dedicar a isso, superar o cansaço, arrumar tempo para ficar com eles, deixar de lado o orgulho e o comodismo. Se quiser um casamento gratificante, terá que investir tempo, energia e sentimentos nesse objetivo. O sucesso é construído à noite! Durante o dia você faz o que todos fazem. Mas, para obter um resultado diferente da maioria, você tem que ser especial. Se fizer igual a todo mundo, obterá os mesmos resultados. Não se compare à maioria, pois infelizmente ela não é modelo de sucesso. Se você quiser atingir uma meta especial, terá que estudar no horário em que os outros estão tomando chopp com batatas fritas. Terá de planejar, enquanto os outros permanecem à frente da televisão. Terá de trabalhar enquanto os outros tomam sol à beira da piscina. A realização de um sonho depende de dedicação, há muita gente que espera que o sonho se realize por mágica, mas toda mágica é ilusão, e a ilusão não tira ninguém de onde está. Em verdade a ilusão é combustível dos perdedores, pois... Quem quer fazer alguma coisa, encontra um MEIO. Quem não quer, encontra uma DESCULPA."

(Roberto Shinyashiki)

RESUMO

Em decorrência da degradação dos recursos hídricos e da crescente preocupação com microrganismos específicos na água, a utilização de membranas cerâmicas para separação de materiais contaminantes, passa a ser uma opção de tratamento para a produção de água potável, devido a motivos como, por exemplo, sua resistência ao ataque de produtos químicos, requerer uma menor área de construção do equipamento, maior economia de energia, dentre outros. O presente trabalho objetivou estudar o desempenho de um sistema híbrido, composto por membrana cerâmica tubular de microfiltração, recheadas por resinas trocadoras iônicas, para tratamento de água de qualidade inferior. As membranas utilizadas nesse trabalho são do tipo α -alumina (α -Al₂O₃), tamanho nominal de poro de aproximadamente 0,8 μ m, produzidas pelo Laboratório de Membranas Cerâmicas (LABCEM) do Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O sistema foi avaliado em função do fluxo e vazão do permeado, nas pressões de operação 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 bar; teste de presença / ausência e contagem bacteriológicas na água da alimentação e permeado para o sistema: membrana cerâmica; análises físico-químicas realizadas para o sistema: membrana cerâmica/ RTI; e tempo de residência hidráulica (τ), nas pressões de operação 1,0; 2,0 e 3,0 bar. A membrana cerâmica removeu completamente os *Coliformes totais* e *fecais* (*Escherichia coli*) da água. O comportamento do fluxo do permeado variou com a pressão de operação. No sistema híbrido: membrana cerâmica/ RTI, o tempo de residência foi de 15,55 segundos na pressão de operação 1,0 bar, removendo 71,9% dos íons da água de alimentação, para 66% na pressão 2,0 bar (τ = 11,73 segundos) e 61% na de 3,0 bar (τ = 10,11 segundos). O sistema híbrido mostrou-se eficiente na remoção dos parâmetros físico-químicos e produziu água tratada de boa qualidade quanto aos parâmetros bacteriológicos nas águas de qualidade inferior, com baixo consumo energético.

Palavras-chave: Membrana cerâmica. Resina trocadora iônica. Microfiltração. *Escherichia coli*. Coliformes Totais.

ABSTRACT

Due to the degradation of water resources and the increasing concern about specific microorganisms in water, the use of ceramic membranes for separation of contaminating materials, becomes a treatment option for the production of drinking water, due to reasons such as its resistance to chemicals, requires a smaller area of equipment construction, greater energy savings, among others. This study investigated the performance of a hybrid system consisting of a tubular microfiltration ceramic membrane, filled with ion exchange resins for substandard water treatment. The membranes used in this work are the α -alumina type (α -Al₂O₃), with pores which have a nominal diameter of about 0.8 microns produced by Laboratório de Membranas Cerâmicas (LABCEM), at Desalination in Reference Laboratory (LABDES) at the Federal University of Campina Grande (UFCG). The system was evaluated by the flow and permeate flow, the operating pressure 0.5; 1.0; 2.0 and 3.0 bar; presence / absence and bacteriological count tests in the feed and permeate water for the system: ceramic membrane; Physical and chemical analysis for the system: ceramic membrane / RTI; and hydraulic residence time (τ), at the operating pressures of 1.0; 2.0 and 3.0 bar. The ceramic membrane completely removed the Total and fecal (*Escherichia coli*) Coliform of the water. The permeate flux behavior varied with the operating pressure. In the hybrid system: ceramic membrane / RTI residence time was 15.55 seconds at the operating pressure of 1.0 bar by removing 71.9% of the feed water ions, to 66% at 2.0 bar pressure ($\tau = 11.73$ seconds), and 61% for the 3.0 bar ($\tau = 10.11$ seconds). The hybrid system was efficient in the removal of physical and chemical parameters and produced good quality treated water as for the bacteriological parameters in lower quality water with low power consumption.

Keywords: Ceramic membrane. Ion-exchange resin. Microfiltration. Total Coliform. *Escherichia coli*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações e forças motrizes dos distintos PSMs.....	12
Tabela 2 - Média das variáveis de medida do sistema água deionizada.....	60
Tabela 3 – Média das variáveis de medida do sistema água sintética após 120 minutos de batelada.....	63
Tabela 4 – Análise Bacteriológica Quantitativa e Qualitativa de Coliformes Totais realizadas em duplicata para a água sintética da alimentação e do permeado.....	64
Tabela 5 – Análise Bacteriológica Quantitativa e Qualitativa de Escherichia coli realizadas em duplicata para a água sintética da alimentação e do permeado.....	65
Tabela 6 - Produção e qualidade do permeado do sistema híbrido em função da pressão de operação. Dados da água de alimentação para comparação: Condutividade (k) = 855 μ S/cm, pH = 7,2, cor = 35,0; Turbidez (T). = 8,9 uT e TDS = 487 mg/L.....	66
Tabela 7 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 1 membranas cerâmicas/ RTI, em função da pressão de operação.....	72
Tabela 8 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 2 membranas cerâmicas/ RTI colocadas em paralelo, em função da pressão de operação.....	73
Tabela 9 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 3 membranas cerâmicas/ RTI colocadas em paralelo, em função da pressão de operação.....	73
Tabela 10 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 4 membranas cerâmicas/ RTI colocadas em paralelo, em função da pressão de operação.....	74

- Tabela 11** – Valores médios dos fluxos do permeado operando a 1,0 bar, 2,0 bar e 3,0 bar para um sistema com até 4 membranas recheadas com RTI, em paralelo.....74
- Tabela 12** – Valor médio da vazão do permeado para membrana cerâmica sem recheio de RTI, em função da melhor pressão de operação da caracterização, 1,0 bar.....75
- Tabela 13** – Vazões do permeado para 1, 2, 3 e 4 membranas em paralelo, acopladas a uma coluna recheada com resina trocadora iônica, cujo fluxo médio, operando a 1,0 bar, é de 262,30 L/h.m².....76
- Tabela 14** – Valores médios das vazões do permeado operando a 1,0 bar para um sistema com até 4 membranas, sem recheio, em paralelo e acoplada com uma coluna recheada com resina trocadora iônica.....76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bactéria Escherichia coli.....	7
Figura 2 - Ilustração da estrutura das membranas isotrópicas.....	9
Figura 3 - Ilustração da estrutura das membranas anisotrópicas.....	9
Figura 4 – Módulo de membrana, permeado e concentrado.....	10
Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de duas fases separado por uma membrana, com as forças motrizes possíveis.....	11
Figura 6 - Tipos de Filtração: convencional (a) e filtração tangencial (b).....	15
Figura 7 - Modo de operação em reciclo total.....	16
Figura 8 - Modo de operação em batelada.....	17
Figura 9 - Modo de operação em diafiltração.....	17
Figura 10 - Variação esquemática no fluxo do permeado com o tempo de operação ocasionada por polarização de concentração e incrustação.....	19
Figura 11 - Representação do fouling superficial e interno em membranas.....	21
Figura 12 - a) Escoamento em fluxo tangencial; b) Declínio do fluxo de permeado.....	22
Figura 13 - Formação do biofilme na superfície da membrana.....	23
Figura 14 - Membranas cerâmicas tubulares do tipo multi e monocanal feita por extrusão.....	26
Figura 15 - Representação esquemática da reversão de fluxo.....	29
Figura 16 - Resina de troca iônica tipo gel convencional.....	31
Figura 17 - RTI. (a) resinas catiônicas, (b) resinas aniônicas.....	32

Figura 18 - Processo de troca iônica em uma resina catiônica e aniônica.....	33
Figura 19 - Curva típica de fluxo de permeado em função do tempo.....	37
Figura 20 - Organograma da metodologia utilizada neste trabalho.....	48
Figura 21 – Sistema 1: Tratamento de água com membrana cerâmica.....	50
Figura 22 – Sistema 2: Tratamento de água com membrana cerâmica recheada com RTI.....	51
Figura 23 – Sistema 3: Tratamento de água com membrana cerâmica acoplada a uma coluna recheada com RTI.....	52
Figura 24 – Cartela de contagem bacteriológica e seladora eletrônica.....	54
Figura 25 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 0,5 bar com a alimentação de água deionizada.....	57
Figura 26 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 1,0 bar com a alimentação de água deionizada.....	57
Figura 27 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 2,0 bar com a alimentação de água deionizada.....	58
Figura 28 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 3,0 bar com a alimentação de água deionizada.....	58
Figura 29 - Variação do fluxo do permeado pelo tempo do sistema contendo água deionizada às pressões de entrada de 0,5 bar; 1,0 bar; 2,0 bar; 3,0 bar.....	59
Figura 30 - Variação do fluxo pelo tempo do permeado e concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 0,5 bar.....	61

Figura 31 - Variação do fluxo pelo tempo do permeado e do concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 1,0 bar.....	61
Figura 32 - Variação do fluxo pelo tempo, do permeado e do concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 2,0 bar.....	62
Figura 33 - Variação do fluxo pelo tempo do permeado e do concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 3,0 bar.....	62
Figura 34 - Variação do fluxo do permeado pelo tempo do sistema contendo água sintética nas pressões de entrada de 0,5 bar; 1,0 bar; 2,0 bar; 3,0 bar.....	63
Figura 35 - Variação da Taxa de Remoção do TDS da água sintética do sistema híbrido membrana cerâmica/ RTI em função da pressão de operação.....	67
Figura 36 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água sintética do sistema híbrido membrana cerâmica/ RTI em função da pressão de operação.....	68
Figura 37 - Variação da taxa de redução (%) da condutividade elétrica e do TDS em função do tempo para um sistema híbrido membrana cerâmica/coluna recheada com 30g de RTI e pressão de operação 1,0 bar.....	69
Figura 38 - Variação da vazão do permeado pelo tempo para o sistema contendo água sintética, em série com uma coluna de RTI contendo 30g de resina na pressão de entrada de 1,0 bar.....	70
Figura 39 – Análises físico-químicas do sistema híbrido (Membrana cerâmica/ RTI).....	71
Figura 40 - Análises físico-químicas do sistema híbrido (Membrana cerâmica/RTI e Membrana cerâmica/ Coluna recheada com RTI).....	71
Figura 41 – Ilustração do sistema híbrido (membranas cerâmicas/ RTI) em paralelo.....	73
Figura 42 – Ilustração do sistema híbrido (membranas cerâmicas/ Coluna recheada com RTI), em paralelo.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área (m ²)
A.F.B	Resina Aniônica Forte
A.f.B	Resina Aniônica Fracamente Básica
APHA	American Public Health Association
C.F.A	Resina Catiônica Forte
C.f.A	Resina Catiônica Fracamente Ácida
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
Cc	Concentração do concentrado
CEPEMA	Centro de Pesquisa e Capacitação em Meio Ambiente
Cp	Concentração do permeado
D	Diálise
ED	Eletrodiálise
EDTA	Etilenodiamino Tetra-acético
EPA	Environmental Protection Agency
HP	Horse Power
J	Fluxo (L/h.m ²)
k	Condutividade elétrica (mS ou μ S)
LABCEM	Laboratório de Membranas Cerâmicas
LABDES	Laboratório de Referência em Dessalinização
MF	Microfiltração
MUG	4-metilumbeliferil- β -D-glucoronídeo
NF	Nanofiltração
OI	Osmose Inversa
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
ONPG	Orto-nitrofenil- β -Dgalactopiranosídeo
ONU	Organização das Nações Unidas
PB	Paraíba
PG	Permeação de Gases
pH	Potencial hidrogeniônico
PSM	Processo de Separação com Membranas
PVA	Acetato de Polivinila
PVC	Policloreto de Vinila
Q	Vazão (L/h)
Q _a	Vazão da alimentação (L/h)
Q _c	Vazão do concentrado (L/h)
Q _p	Vazão do permeado(L/h)
R	Recuperação
Ra	Adsorção
Rb	Bloqueio de poros
RBA	Rede Brasil Atual

Re	Número de Reynold
RTI	Resina Trocadora Iônica
T	Turbidez
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos (ppm)
TR	Taxa de Remoção (%)
TSD	Técnica de Substratos Definidos
UF	Ultrafiltração
UFC	Unidade Formadora de Colônias
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
ΔC	Variação da Concentração
ΔE	Variação de Elétrons
ΔP	Variação de Pressão
τ	Tempo de Residência Hidráulica (h)

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Sistema híbrido de tratamento de água com membrana cerâmica e resina trocadora iônica.....	45
Foto 2 - Sistema híbrido de tratamento de água com membrana cerâmica e coluna recheada com resina trocadora iônica.....	46
Foto 3 -. Membrana cerâmica tubular monocanal de microfiltração.....	47
Foto 4 - Módulo com membrana cerâmica de microfiltração.....	47

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
LISTA DE FOTOS	x
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CAPÍTULO 2	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 ÁGUA.....	4
2.2 BACTÉRIAS DO GRUPO COLIFORME.....	6
2.3 MEMBRANAS.....	8
2.3.1 Processos de Separação por Membranas (PSM).....	10
2.3.1.1 Tipos de PSMs.....	12
2.3.2 Transporte Através da Membrana.....	14
2.3.2.1 Escoamento Convencional (Dead End) e Tangencial (Cross flow).....	15
2.3.2.2 Modos de Operação.....	16

2.3.3	Principais Complicações nos PSMs.....	18
2.3.3.1	Polarização por Concentração.....	18
2.3.3.2	Fouling.....	20
2.3.3.3	Biofouling.....	23
2.3.4	Vantagens e desvantagens do uso do PSM.....	24
2.4	MEMBRANAS CERÂMICAS.....	25
2.4.1	Síntese de membranas.....	29
2.5	RESINA TROCADORA IÔNICA (RTI).....	31
2.5.1	Resina Trocadora Iônica em Tratamento de Água.....	34
2.5.2	Processo de Regeneração das RTIs.....	35
2.6	PRINCIPAIS PARÂMETROS DO PROCESSO.....	35
2.6.1	Fluxo (J).....	36
2.6.1.1	Característica da curva do fluxo de permeado.....	37
2.6.2	Recuperação.....	38
2.6.3	Coeficiente de Rejeição.....	39
2.6.4	Tempo de Residência Hidráulica (τ).....	39
2.7	LIMPEZA QUÍMICA DA MEMBRANA CERÂMICA.....	40
2.8	SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA E RESINA TROCADORA IÔNICA).....	41

CAPÍTULO 3 **43**

3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1	MATERIAIS.....	43
3.1.1	Água.....	44
3.1.2	Bactérias Utilizadas.....	44
3.2.	COMPONENTES DO SISTEMA HÍBRIDO.....	44
3.3.	FLUXOGRAMA.....	48
3.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	49
3.4.1	Análise Bacteriológica.....	52
3.4.1.1	Análise Qualitativa: Método do Substrato Cromogênico.....	52
3.4.1.2	Análise Quantitativa: Técnica do Substrato Definido Colilert® para Análise Quantitativa de Bactérias do Grupo Coliforme	53

3.4.2 Análises Físico-Químicas.....	54
3.5. LIMPEZA QUÍMICA DA MEMBRANA.....	55

CAPÍTULO 4 **56**

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....56

4.1. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS FLUXOS DO PERMEADO E CONCENTRADO.....	56
4.2. MEDIDAS DE FLUXO PARA MEMBRANA CERÂMICA COM ÁGUA SINTÉTICA.....	60
4.3 ANÁLISE BACTERIOLÓGICA DA ÁGUA PERMEADA PARA SISTEMA COM MEMBRANA CERÂMICA PARA ÁGUA SINTÉTICA.....	64
4.4. SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA/ RESINA TROCADORA DE ÍONS).....	65
4.5. SISTEMA HÍBRIDO COM MEMBRANA CERÂMICA ACOPLADA A UMA COLUNA COM 30,0g DE RESINA OPERANDO COM ÁGUA SINTÉTICA.....	69
4.6. PROJETO DE UM SISTEMA HÍBRIDO COM MEMBRANAS CERÂMICAS EM PARALELO.....	72

CAPÍTULO 5 **78**

5. CONCLUSÕES.....78

CAPÍTULO 6 **80**

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....80

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **81**

ANEXOS **90**

ANEXO A - PADRÃO MICROBIOLÓGICO DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	91
---	-----------

ANEXO B – CONTAGEM BACTERIOLÓGICA E PRESENÇA/ AUSÊNCIA DE BACTÉRIAS DO GRUPO COLIFORME.....	92
ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA CERÂMICA.....	93
ANEXO D – FLUXO E RECUPERAÇÃO - SISTEMA MEMBRANA CERÂMICA PARA ÁGUAS SINTÉTICAS.....	97
ANEXO E – CONDUTIVIDADE ELETRICA E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS NO PERMEADO – SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA + RESINA TROCADORA IÔNICA).....	101
ANEXO F – SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, FLUXO DO PERMEADO – SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA + COLUNA DE RESINA TROCADORA IÔNICA).....	110
ANEXO G – REAGENTES UTILIZADOS.....	115
ANEXO H – INSTRUMENTALIZAÇÃO UTILIZADA NAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS.....	116
ANEXO I – LAUDO DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	117
ANEXO J - LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA (FEITO EM DUPLICATA) DA ÁGUA SINTÉTICA.....	128

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A cultura do uso irracional da água associado à falta de investimentos em saneamento básico são fatores que vêm contribuindo para a degradação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos. A consequência disto é a diminuição da disponibilidade de água com qualidade para a utilização do homem (TRINDADE, 2010). Segundo o Fundo das Nações Unidas para Agricultura, em 20 anos, 60% da população mundial deverá enfrentar escassez de água (MAESTRI, 2007).

O consumo de águas contaminadas é um dos importantes veículos de enfermidades diarréicas de natureza infecciosa, o que torna primordial a avaliação da sua qualidade microbiológica. Métodos que permitam a identificação de bactérias indicadoras, como os coliformes, indicam a possível existência de patógenos na água (CONSULPLAN, 2014).

Intoxicação alimentar ou gastrointestinal é um problema de saúde causado pela ingestão de água ou alimentos contaminados por bactérias, como *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphilococcus*, *Clostridium*. A prevenção está diretamente associada ao saneamento básico, aos cuidados principalmente com a água no preparo dos alimentos

A detecção de causas de variação da qualidade da água no sistema de abastecimento público é feita mediante inspeção sanitária do manancial ao consumidor, por meio de análises físicas, químicas e microbiológicas da água. E a responsabilidade pelo padrão de potabilidade da água para o consumo humano é do órgão produtor da água, e estes órgãos realizam rigoroso controle da qualidade a fim de que a água servida esteja dentro dos padrões estabelecidos e sem o risco de estar contaminada, e é monitorada pelas Secretarias de Saúde Estaduais (BRASIL, 2004). A água deve ter aspecto límpido, ser insípida, inodora e isenta de microrganismos patogênicos, o que é conseguido através do seu tratamento (GREGHI, 2005).

Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e aplicadas em estações de tratamento de água, para remover eficazmente os contaminantes das fontes e produzir uma água potável de acordo com os regulamentos da Organização Mundial da Saúde – OMS (LI et al., 2011).

Os processos de separação por membranas, recentemente, começaram a ser utilizados na purificação de água, seja na produção de água potável ou de água para reúso. As membranas têm sido amplamente usadas na separação sólido-líquido e na remoção de poluidores solúveis, especificamente a microfiltração. O processo é adequado na separação de partículas, tais como: bactérias, proteínas, emulsões, dentre outras misturas, (RIPPERGER e ALTMANN, 2002). A partir da filtração por membranas os regulamentos para a qualidade de água, não só a partir de aspectos químicos e físicos (como matérias orgânicas e turbidez), mas também a partir do aspecto biológico (como agentes patogênicos), podem ser melhor alcançados (LI et al., 2011).

A purificação de água através de resinas de troca iônica é chamada de desmineralização. As resinas são bastante utilizadas em indústrias, na purificação de águas para a alimentação de caldeiras, obtenção de água pura para química fina, extração de materiais orgânicos, extração de colóides, dessalinização de águas, extração de metais pesados, dentre outros (POHL, 2006). Esse processo remove praticamente todos os íons presentes em uma água, através de resinas catiônicas e aniônicas.

Processos com membranas são economicamente atrativos em grandes instalações, utilizando-se águas superficiais de boa qualidade. Atualmente, os objetivos são estender os processos de tecnologia com membranas para águas de qualidade inferior para a remoção de cor, sabor, matéria orgânica dissolvida e produtos de desinfecção (GUIGUI et al., 2002).

O objetivo principal deste trabalho consistiu em avaliar o desempenho de um sistema híbrido (membrana cerâmica de microfiltração/ resina trocadora iônica), quanto ao fluxo e a qualidade do permeado, quanto às características bacteriológicas e físico-químicas, para águas de qualidade inferior.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o desempenho de um sistema híbrido, composto por membrana cerâmica de microfiltração e resina trocadora iônica, para tratamento de águas sintéticas¹.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o desempenho da membrana cerâmica de microfiltração quanto ao fluxo, para água deionizada e sintética, em função das pressões de operação;
- Analisar a qualidade do permeado em termos bacteriológicos, no desempenho da membrana cerâmica sem resina; e em termos físico-químicos para os sistemas híbridos: membrana cerâmica/ resina trocadora de íons e membrana cerâmica/ coluna recheada com resina trocadora de íons, ambas para a água sintética;
- Estudar o desempenho da membrana cerâmica de microfiltração recheada com resina trocadora iônica, quanto ao fluxo, utilizando água sintética, em função das pressões de operação;
- Estudar a Taxa de Remoção de sais do permeado para os sistemas (membrana cerâmica/ resina trocadora iônica e membrana cerâmica/ coluna recheada com resina trocadora de íons), em função do tempo de saturação da resina;

¹ Água Sintética: Água tratada da rede de distribuição da cidade de Campina Grande, sendo adicionadas, em laboratório, bactérias do grupo Coliforme.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados temas relacionados ao projeto de pesquisa, como: água, bactérias, membrana cerâmica, resina trocadora iônica, parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água, os processos de separação por membranas, dentre outros.

O foco principal dessa fundamentação está no uso das membranas cerâmicas de microfiltração e quão eficientes elas são na remoção de bactérias (*Escherichia coli* e *Coliforme Totais*) presentes na água de alimentação, tratando também sobre a característica da curva do fluxo do permeado e em como a pressão tem influência sobre ele. Também será descrito o uso das resinas trocadoras iônicas, analisando os parâmetros físico-químicos da água tratada e tempo de residência.

2.1 ÁGUA

As águas superficiais provenientes de rios e lagos, quando destinadas ao abastecimento público e para que possam ser utilizadas para o consumo humano, devem reunir certos requisitos químicos, físicos e microbiológicos, enquadrando-se assim no conceito de água potável (DAVID et al., 1999).

A água subterrânea é considerada uma fonte imprescindível de abastecimento para o consumo humano, principalmente para populações que não têm acesso à rede pública de abastecimento ou mesmo para aqueles que tendo acesso, têm o fornecimento irregular. Suas fontes de contaminação estão, em geral, associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de resíduos sólidos, que quando dispostos de forma inadequada podem poluir e contaminar os lençóis freáticos com microrganismos patogênicos (FREITAS et al., 2001).

No *Relatório sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos*, documento que a ONU-Água divulga a cada três anos, os pesquisadores destacam que quase 10% das doenças registradas ao redor do mundo poderiam ser evitadas se os governos investissem mais em acesso à água, medidas de higiene e saneamento básico. As doenças diarréicas poderiam ser praticamente eliminadas se houvesse esse esforço, principalmente nos países em desenvolvimento. Esse tipo de doença, geralmente relacionada à ingestão de água contaminada, mata 1,5 milhões de pessoas anualmente (GONÇALVES, 2013).

Segundo o *Jornalismo Científico* (2014), a falta de água potável, de um esgoto tratado e da manutenção dos recursos hídricos, facilita a transmissão de doenças associadas a essa falha, sendo responsáveis por grande parte dos óbitos de crianças menores de um ano de idade. No Brasil, somente 37,5% das águas produzidas recebem algum tipo de tratamento (RBA, 2014).

Em relação à coleta e ao tratamento de esgotos sanitários, os municípios brasileiros dividem-se entre 20,2% que coletam e tratam o esgoto coletado, 32% que só coletam e 47,8% que não coletam nem tratam os esgotos. Nos dois últimos casos, o esgoto é despejado *in natura* nos corpos de água ou no solo. De acordo com IBGE (2000), do volume de esgoto gerado em 100 maiores cidades do Brasil, somente 36,28% são tratados, ou seja, apenas nas cidades analisadas, quase 8 bilhões de litros de esgoto são lançados todos os dias nas águas sem nenhum tratamento.

Dentre as alternativas existentes para viabilizar o reúso das águas, pode-se citar o desenvolvimento das técnicas de separação dos materiais poluidores por membranas, que evoluíram de simples ensaios laboratoriais a soluções eficientes e economicamente viáveis no tratamento de água (LAPOLLI et al,2011).

A água potável não deve conter microrganismos patogênicos e deve estar livre de bactérias indicadoras de contaminação fecal. Os indicadores de contaminação fecal tradicionalmente aceitos pertencem a um grupo de bactérias denominadas coliformes. O principal representante desse grupo de bactérias chama-se *Escherichia coli*.

A Portaria Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011 do Ministério da Saúde estabelece que sejam determinados, na água, para aferição de sua potabilidade, a presença de coliformes totais e termotolerantes de preferência *Escherichia coli* e a contagem de bactérias heterotróficas. A mesma portaria recomenda que a contagem padrão de bactérias não deve exceder a 500 UFC/mL de amostra, tal como não tolerar em nenhuma amostra de água tratada a presença de coliformes termotolerantes e admitir a presença de coliformes totais em algumas situações no sistema de distribuição.

No Anexo 1, a Tabela A.1 descreve os padrões microbiológico da água para consumo humano.

2.2 BACTÉRIAS DO GRUPO COLIFORME

Existem dois tipos de coliformes, os totais e fecais. Os totais compõem os grupos de bactérias do tipo bastonetes gram-negativas que podem ser aeróbicas ou anaeróbicas, não originam esporos e fermentam a lactose, produzindo ácido e gás entre 35 ou 37°C por 48h (RAY, 1996).

Pertencem a este grupo predominantemente, bactérias dos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Destas, apenas a *Escherichia coli* tem como habitat primário o trato intestinal do homem e animais.

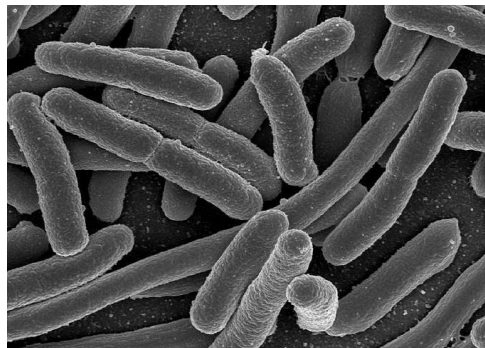
As bactérias do grupo coliforme apresentam a capacidade de se multiplicarem em águas com altos teores de nutrientes. A presença de coliformes fecais na água indica a possível presença de patógenos neste substrato, como *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Vibrio cholerae* e *Shigella sp.*, além de vírus (hepatite, poliomielite e gastroenterites) e protozoários como *Entamoeba sp* e *Giardia sp* (PELCZAR Jr. et al., 1997).

As coliformes fecais são também conhecidas como “termotolerantes” por suportarem uma temperatura superior a 40°C, convivem em simbiose com humanos,

bois, gatos, porcos e outros animais de sangue quente. São excretadas em grande quantidade nas fezes, e quando estão no trato digestivo, não causam doenças.

A *Escherichia coli* (Figura 1) são bactérias gram-negativas, anaeróbias facultativas, na forma bastonete, com tamanho variando entre 1.1 - 1.5 μm por 2.0 - 6.0 μm . São consideradas indicadoras da qualidade de água e alimentos, e detectadas através de análises de coliformes fecais e sua presença sugere a possibilidade de haver, naquele local, microrganismos intestinais capazes de provocar doenças. Integram a flora intestinal dos humanos na concentração de 10^6 a 10^9 UFC/g (Unidades Formadoras de Colônias), beneficiando os seus hospedeiros, não permitindo que bactérias prejudiciais ao organismo se desenvolvam e estimulando o sistema imunitário. No entanto, ao se direcionarem para a circulação sanguínea ou outras regiões do corpo, são capazes de provocar infecções do trato urinário, pneumonia em pacientes hospitalizados imunossuprimidos e meningite em recém-nascidos (KONEMAN et al., 2008).

Figura 1 - Bactéria *Escherichia coli*



Fonte: (MURRAY, 2004).

Existem diferentes cepas de *Escherichia coli*, sendo algumas delas capazes de causar doenças mesmo quando restritas aos intestinos. Uma delas é responsável por quadros de diarreia, com diferentes graus de gravidade. Todas elas são adquiridas após ingestão de água contaminada com fezes.

A contaminação através de alimentos também é comum e se dá por vegetais regados ou lavados com água contaminada ou alimentos crus ou mal cozido. Tornando-se de extrema necessidade que se tenha um bom tratamento para

adequar a água aos padrões de potabilidade, e a técnica de separação com membrana cerâmica de microfiltração vem atendendo essa necessidade.

2.3 MEMBRANAS

O desempenho de uma membrana é determinado por dois parâmetros: seletividade e fluxo. A seletividade é normalmente expressa pelo coeficiente de retenção e o fluxo de permeação é definido como o volume de solução que atravessa a membrana por unidade de área e por unidade de tempo (MORAES e CARDOSO, 2010).

A utilização de membranas em processos industriais para separação de fluidos, como líquidos e gases tem como objetivo adquirir produtos enriquecidos em um ou mais componentes, mas sem um grau de pureza muito elevado. Produtos com grau de pureza igual ou superior podem ser obtidos por destilação, liquefação, porém nestes processos há grande consumo de energia. Já processos que envolvem separação por membrana, podem operar a temperatura ambiente, gerando menos custos à empresa, e sendo economicamente mais viável, e até mesmo para processos biotecnológicos é mais empregado (MORAES e CARDOSO, 2010).

As membranas podem ser classificadas de acordo com a sua natureza e estrutura ou morfologia.

Relativamente à sua natureza, as membranas dividem-se em biológicas (vivas ou não vivas) e sintéticas (orgânicas ou inorgânicas). As orgânicas são as mais utilizadas, porém as inorgânicas, dentre elas as cerâmicas, vêm ganhando espaço e utilização crescente.

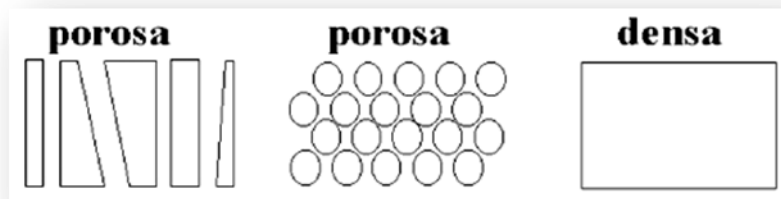
Quanto ao tipo de material empregado em sua fabricação dividem-se em orgânica (poliméricas) ou inorgânicas (metálicas e cerâmicas) As poliméricas são mais amplamente utilizadas e as cerâmicas são restritas aos processos de microfiltração e ultrafiltração.

Do ponto de vista estrutural e morfológico, classificam-se em isotrópica porosa e densa ou anisotrópica densa (composta e integral) e porosas (ANADÃO, 2010):

A Figura 2 mostra uma representação das estruturas das membranas isotrópicas.

As membranas porosas isotrópicas apresentam porosidade uniforme ao longo de sua espessura, já as anisotrópicas apresentam um gradiente de porosidade ao longo de sua espessura, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 2 - Ilustração da estrutura das membranas isotrópicas.



Fonte: (HABERT et al., 2006).

Quando as regiões são constituídas por um único material, a membrana é do tipo anisotrópica integral e caso materiais diferentes, sejam empregados no preparo de cada região, a membrana será do tipo anisotrópica composta.

Figura 3 - Ilustração da estrutura das membranas anisotrópicas.



Fonte: (HABERT et al. 2006).

A seletividade de uma membrana pode ser obtida por diferentes mecanismos:

- Exclusão por tamanho (peneiramento) – a separação ocorre quando as partículas no meio a ser filtrado têm tamanho maior que os poros da membrana.

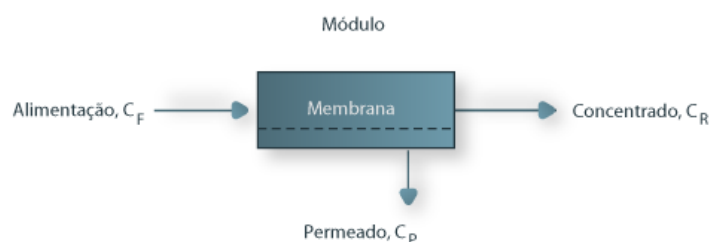
- Diferenças no coeficiente de difusão – movimento aleatório a que as pequenas partículas estão sujeitas.
- Diferenças nas cargas elétricas – atração elétrica entre a partícula e o meio filtrante.
- Diferenças na adsorção e/ou na reatividade superficial: forças físico-químicas que fazem com que as partículas ou moléculas fiquem imobilizadas na superfície de um meio poroso.

As vantagens da membrana inorgânica em comparação com a orgânica, é que a inorgânica possui elevada estabilidade química, térmica e estrutural; maior resistência a produtos químicos corrosivos, deterioração microbiana, e a abrasão da superfície causada por uma circulação de partículas grosseiras (MUHAMMAD et al., 2009), durabilidade e atividade eletroquímica facilmente realizável, ainda com controle adequado da distribuição do tamanho e dimensão de poros (SANTOS, 1999).

2.3.1 Processos de Separação por Membranas (PSM)

Uma membrana (Figura 4) pode ser definida como um filme fino sólido, que separa duas soluções e que atua como barreira seletiva, para transporte de componentes entre estas soluções, quando aplicada algum tipo de força externa.

Figura 4 – Módulo de membrana, permeado e concentrado.

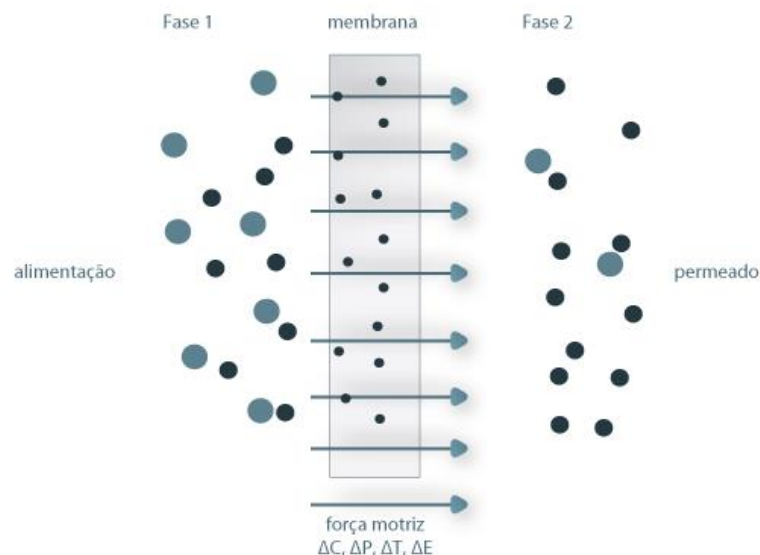


Fonte: (MORAES e CARDOSO, 2010).

Após a passagem pela membrana o líquido é denominado permeado, e o que não passa é o concentrado. Nesse processo de separação não ocorre transformação química ou biológica de componentes durante a filtração (ELLOUZE *et al.*, 2011).

A força motriz (Figura 5) pode ser uma diferença de pressão, temperatura, concentração ou potencial elétrico. A maioria dos PSMs utiliza o gradiente de pressão (PETER-VARBANETS, *et al.*, 2009).

Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de duas fases separado por uma membrana, com as forças motrizes possíveis.



Fonte: (MORAES e CARDOSO, 2010).

Segundo Habert *et. al* (1997), as aplicações dos processos de separação com membrana vão da área alimentícia e bebidas (por exemplo: concentração de leite, de soro do queijo, sucos de fruta e clarificação de vinhos e cervejas), no tratamento de água (por exemplo: dessalinização, eliminação de traços orgânicos e esgotos) e no tratamento de despejos industriais (por exemplo: separação água/ óleo, recuperação de índigo, de PVA, de íons metálicos e proteínas e no tratamento de água na indústria de papel e celulose)

2.3.1.1 Tipos de PSMs

Em processos que utilizam membranas porosas a capacidade de seletividade esta diretamente associada à relação entre o tamanho das espécies presentes e o tamanho dos poros da membrana. Este é o caso de processos como a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e diálise (D). A classificação dessas membranas se dá conforme a sua porosidade. É isto que define a capacidade de separação dos sólidos a serem retidos conforme o seu tamanho.

A Tabela 1 apresenta aplicações dos diversos tipos de PSMs, com os seus respectivos potenciais, massas molares, gradientes de concentração e pressão.

Tabela 1 - Aplicações e forças motrizes dos distintos PSMs.

Processo	Força motriz	Material retido	Material permeado	Aplicações
Microfiltração (MF)	ΔP (0,5 - 2atm)	Material em suspensão, bactérias.	Água e sólidos dissolvidos	Esterilização bacteriana; clarificação de sucos, vinhos e cervejas; concentração de células; oxigenação de sangue
Ultrafiltração (UF)	ΔP (1 - 7atm)	Colóides, macromoléculas	Água (solvente), sais solúveis de baixa massa molar	Fracionamento; concentração de proteínas; recuperação de pigmentos/óleos
Nanofiltração (NF)	ΔP (5 - 25atm)	Moléculas de massa molar média $500 < MM < 2000$ Da	Água, sais e moléculas de baixa massa molar	Purificação de enzimas; biorreatores a membrana
Osmose Inversa (OI)	ΔP (15 - 80atm)	Todo material solúvel ou em suspensão	Água (solvente)	Dessalinização de águas; concentração de sucos de frutas; desmineralização de águas
Diálise (D)	ΔC	Moléculas de massa molar > 5000 Da	Íons e compostos orgânicos de baixa massa molar	Hemodiálise; rim artificial; recuperação de NaOH

Fonte: (HABERT et. al., 2006).

A Microfiltração é um processo de separação por membranas em que a força diretriz é a diferença de pressão através da membrana e os poros da membrana. Uma membrana típica de microfiltração possui tamanho de poros entre 0,1 a 10 μm . Considerada técnica alternativa de tratamento de água, entretanto, sua viabilidade técnica/econômica tem aumentado sensivelmente.

Este processo permite realizar a clarificação de bebidas sem a utilização de métodos químicos, mantendo a qualidade e o sabor do produto. Retém completamente microrganismos e a taxa de remoção de bactérias atinge 99,99% em testes laboratoriais (PETER-VARBANETS et al., 2009), retém sólidos suspensos e demais componentes responsáveis pela turbidez de sucos, vinhos e cervejas. Este processo elimina a necessidade de centrifugação, sedimentação, filtros prensa e outras operações caras, demoradas e trabalhosas. Usado largamente em tratamento de água para abastecimento, removendo a maioria dos patógenos e contaminantes, como cistos de *Giardia lamblia*, oocistos de *Cryptosporidium*, protozoários, bactérias maiores e vírus.

A força motriz desse processo é o gradiente de pressão entre os dois lados da membrana (ANADÃO, 2010).

A ultrafiltração é um processo de separação por membranas em que a força diretriz é a diferença de pressão através da membrana e os poros da membrana conseguem reter macromoléculas.

As membranas de ultrafiltração apresentam poros na faixa entre 1 a 100 nm (0,001 a 0,1 μm), portanto mais fechadas do que as membranas de microfiltração e com permeabilidade consideravelmente inferior. Como os poros das membranas de ultrafiltração são menores, é necessário uma maior força motriz para se obter fluxos permeados elevados o suficiente para que o processo possa ser utilizado industrialmente (BETANCOURT e ROSE, 2004).

Na nanofiltração os poros variam entre 0,1 e 1,0 nm. Espécies iônicas maiores, incluindo íons bivalentes e multivalentes, e moléculas mais complexas são amplamente retidas (GEAFILTRATION, 2008).

A osmose é um processo natural, no qual a água passa através de uma membrana semipermeável. Neste caso não há fluxo de um soluto de um lado de menor concentração para um lado de maior concentração, para reverter o fluxo de água, uma diferença de pressão maior que o gradiente pressão osmótica é aplicada, assim a separação da água dos solutos se torna possível. O processo de osmose inversa é empregada em membrana densa semipermeável, altamente permeável à água e altamente impermeável à microrganismos, colóides, sais dissolvidos e orgânicos.

Os processos de purificação por osmose reversa e por nanofiltração, realizados por membranas não porosas (em geral poliméricas) ou por membranas que apresentam estrutura porosa ultrafina (microporosas), necessitam que se faça um pré-tratamento da água com a finalidade de diminuir a concentração de material na forma coloidal ou suspenso na forma de micropartículas. Este pré-tratamento, que pode ser realizado por microfiltração, tem a finalidade de retardar entupimentos reversíveis e evitar os irreversíveis, prolongando a vida útil destas membranas (ZAHID, 1993).

Um setor promissor de aplicação da membrana de nano e ultrafiltração é na extração e purificação da lignina, composto que apresenta elevado poder calorífico, para uso como biocombustível em substituição aos obtidos por fontes não renováveis de energia (JÖNSSON e WALLBERG, 2009; WALLBERG e JARWON, 2003).

No processo de separação de sólidos suspensos utiliza-se a MF e UF, já para separação de compostos orgânicos com elevados peso moleculares utiliza-se a UF e NF e a separação de espécies dissolvidas, a NF e OI.

2.3.2 Transporte Através da Membrana

Para que ocorra a separação, é necessário um transporte através da membrana e existem três formas básicas: passivo (convectivo e/ou difusivo); facilitado (força motriz é o gradiente de potencial químico); ativo (transporte através

das biomembranas, células, por exemplo, onde a membrana é chamada de membrana plasmática) (PORTER, 1990; NOBLE e STERN, 1995).

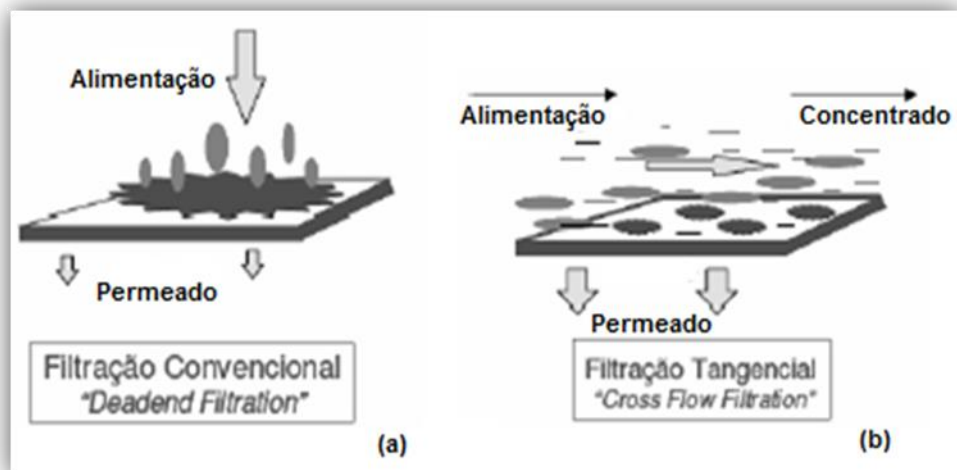
2.3.2.1 Escoamento Convencional (*Dead End*) e Tangencial (*Cross flow*)

Uma das características dos processos de separação com membranas é que eles podem ser operados em filtração convencional ou perpendicular (*dead end*), ou filtração tangencial (*cross flow*) (TREVISOLI, 2010).

Na filtração *dead end*, mostrado na Figura 6 (a), uma solução ou suspensão é perpendicularmente pressionada contra a membrana causando um grande acúmulo de partículas na superfície microporosa, fenômeno chamado de formação de torta. Esta torta aumenta a resistência do meio filtrante e causa a diminuição do fluxo permeado de forma contínua.

Enquanto que na filtração tangencial mostrada na Figura 6 (b), a solução escoava paralelamente à superfície da membrana e o permeado é transportado transversalmente (HABERT et. al., 2006).

Figura 6 - Tipos de Filtração: convencional (a) e filtração tangencial (b).



Fonte: (HABERT et. al., 2006).

Este escoamento paralelo com o consequente cisalhamento na superfície garante em parte, a limpeza da membrana promovendo menor entupimento de seus poros reduzindo a formação de torta, quando comparada à filtração em modo clássico.

As partículas e os solutos retidos na superfície da membrana são continuamente eliminados pelo concentrado que flui tangencialmente ao longo da superfície da membrana, denominado de fluxo cruzado. A solução purificada flui através da membrana como permeado.

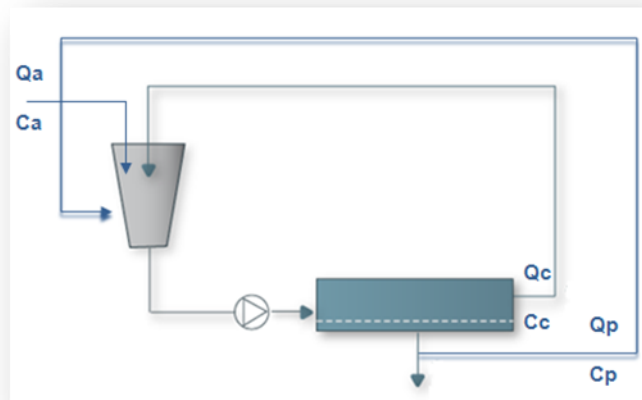
O fluxo do permeado é uma variável crítica na determinação da eficiência do processo de separação por membranas, sendo desejável a máxima taxa de permeação, com mínimo consumo de energia.

2.3.2.2 Modos de Operação

Os modos de operação mais simples utilizados em PSMs são: reciclo total, batelada e diafiltração.

Reciclo total: modo de operação que consiste em retornar a corrente de permeado e concentrado para o tanque de alimentação, visto na Figura 7.

Figura 7 - Modo de operação em reciclo total.

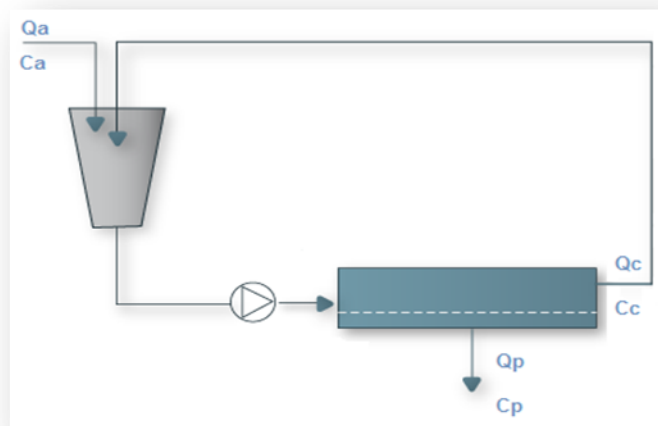


Fonte: (Adaptado de GHIGGI 2011).

O objetivo deste modo de operação é determinar quais as melhores condições de operação do processo; estudo das interações entre a membrana e a solução; e, também, a caracterização de membranas.

Batelada: modo de operação que consiste na retirada da corrente de permeado, enquanto que a corrente de concentrado retorna para o tanque de alimentação, visto na Figura 8.

Figura 8 - Modo de operação em batelada.



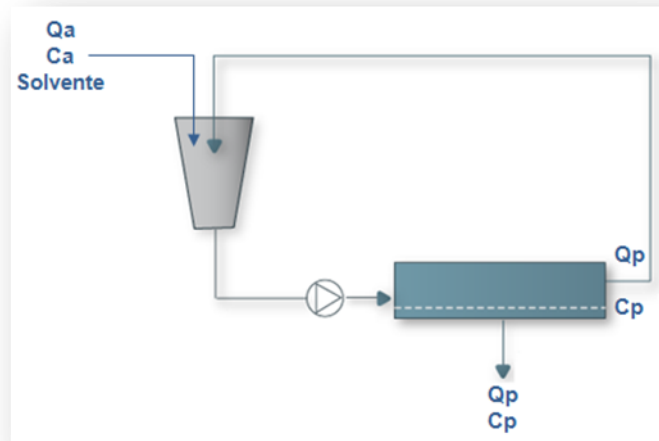
Fonte: (Adaptado de GHIGGI 2011).

O objetivo principal do modo de operação batelada é a concentração de soluções. Através deste modo de operação pode ser determinado o fator de concentração.

Diafiltração: modo de operação que envolve a adição de solvente (diluyente) na alimentação do sistema enquanto que o permeado é retirado, visto na Figura 9. Trata-se de uma forma de “lavagem” da solução problema.

O objetivo é aumentar a recuperação de soluto (concentrado) ou aumentar a pureza do permeado. Diafiltração pode ser utilizada em todos os processos, desde MF a OI. Tanto sistemas em batelada como os contínuos podem ser operados por difração.

Figura 9 - Modo de operação em diafiltração.



Fonte: (Adaptado de GHIGGI 2011).

2.3.3 Principais Complicações nos PSMs

Em operações de escoamento tangencial é comum observar uma queda contínua do fluxo permeado com o tempo, indicando a ocorrência de fenômenos como: incrustação, polarização por concentração e/ou *biofouling*.

2.3.3.1 Polarização por Concentração

Os sólidos arrastados para a superfície da membrana por transporte convectivo tendem a se concentrar na interface, formando um gradiente de concentração, chamado de polarização de concentração.

Durante a filtração, inicia-se uma precipitação dos solutos acumulados na polarização de concentração, que leva ao bloqueio dos poros e à adsorção dos componentes na membrana. Quando a concentração de solutos na interface aumenta a ponto de depositar uma camada na superfície da membrana, tem-se a

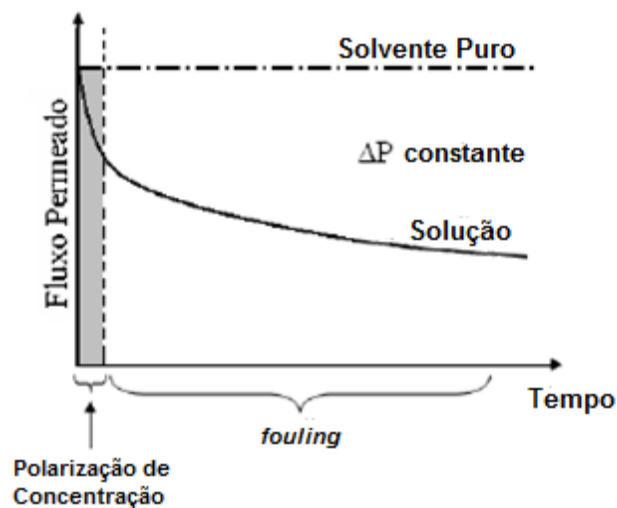
formação da camada de polarização ou “torta”, que oferece uma resistência adicional ao fluxo (HABERT et al., 2006).

A deposição de partículas na superfície ou nos poros da membrana é normalmente considerada um dos principais fatores responsáveis pelo declínio do fluxo de permeado ao longo do processo de microfiltração.

Estes fenômenos ocorrem gradativamente ao longo do processo de microfiltração até que o fluido atinja um possível estado estacionário (fluxo constante). Esta cinética pode ser visualizada na Figura 10.

Polarização por concentração é um fenômeno inerente aos processos de transporte seletivo, sendo reversível ao cessar a operação do sistema. Em escala laboratorial, pode ser minimizada aumentando-se a velocidade de escoamento do fluido. No entanto, em escala industrial, este método possui limitações. Para minimizar o efeito da camada polarizada, deve-se melhorar o *design* dos módulos de membrana e se desenvolver métodos de controle da vazão de fluido nos módulos (BAKER, 2004).

Figura 10 - Variação esquemática no fluxo do permeado com o tempo de operação ocasionada por polarização de concentração e incrustação.



Fonte: (HABERT et al., 2006).

Fatores que provocam a polarização por concentração são:

- ✓ Concentração da alimentação;
- ✓ Condições de escoamento da corrente da alimentação, quantificadas pelo número de Reynolds (Re);
- ✓ Aumento da concentração de espécies retidas na superfície da membrana que provoca um movimento difusivo deste soluto no sentido de retornar ao seio da solução
- ✓ Aumento do fluxo permeado aumenta a concentração das espécies retidas próximo à superfície da membrana, o que tende a provocar uma queda no fluxo permeado.
- ✓ Aumento da pressão aumentará também a resistência ao transporte de solvente de forma equivalente para compensar a resistência ao transporte do solvente, logo não alterará o fluxo permeado.

2.3.3.2 Fouling

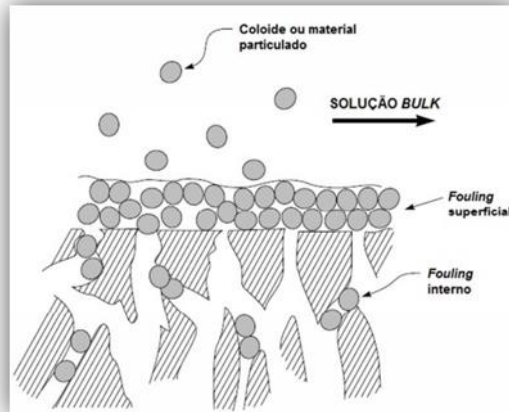
O *fouling* (Figura 11) é a obstrução causada nos poros da membrana, em que a passagem do fluxo de permeado fica prejudicada, causando diminuição da permeabilidade da membrana, porém não tem efeito na qualidade da água permeada (GAO et al. 2011).

Ao se filtrar um fluido, partículas de tamanhos menores do que os poros da membrana serão adsorvidas pela sua superfície, conseqüentemente causando um acúmulo destas partículas, levando à diminuição do diâmetro efetivo do poro, e com a constante filtração, levará ao entupimento total e irreversível dos poros da membrana. O mesmo vale para partículas com diâmetro maior que dos poros da membrana.

Realiza-se o processo de microfiltração e ao término faz-se o enxágue da membrana utilizando somente água. Este enxágue garante que o *fouling* seja removido

Em operações com escoamento tangencial é comum observar uma queda contínua do fluxo permeado com o tempo, indicando que outros fenômenos, além da polarização por concentração, devem estar presentes durante o processamento.

Figura 11 - Representação do *fouling* superficial e interno em membranas.



Fonte: (GHIGGI, 2011).

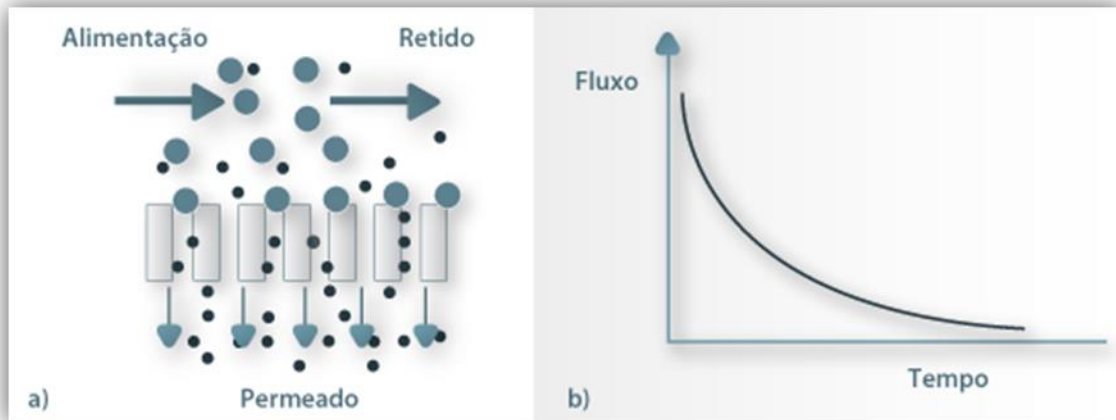
O entupimento ou “*fouling*” é complexo e difícil de ser descrito teoricamente. Mesmo para uma solução conhecida, sua ocorrência e intensidade irão variar de acordo com os parâmetros físico-químicos como concentração, temperatura, pH, força iônica, pontes de hidrogênio e interações polares. Ele permanece quando cessada a operação do sistema, porém pode ser reversível ou irreversível. Se permanecer mesmo após a lavagem química da membrana, ele é dito irreversível.

A Figura 12 mostra a diminuição do fluxo permeado devido o *fouling* que bloqueia os poros da membrana. A redução do fluxo, em longo prazo, é o maior limitante da aplicação dos processos com membranas, pois resulta em uma menor produção de água tratada ou maior consumo de energia para atender a demanda de produção, e a necessidade de limpezas químicas frequentes na membrana (NAKATSUKA et al. 1996).

O *fouling* depende do material da membrana, das condições da solução de alimentação (natureza dos componentes e concentração) e das condições hidrodinâmicas do processo (NAKATSUKA et al. 1996). A pesquisa na área de membranas tem se voltado bastante para a caracterização e o entendimento dos

mecanismos, formas de se reduzir e controlar esse fenômeno, em especial para o tratamento de água.

Figura 12 - a) Escoamento em fluxo tangencial; b) Declínio do fluxo de permeado.



Fonte: (MORAES e CARDOSO, 2010).

Outra técnica para se minimizar o *fouling* é fazer modificações na superfície da membrana. Galjaard et al. (2001) estudaram uma técnica de pré-revestimento da membrana, que diminui a área de contato da mesma com a solução. No início de cada ciclo de filtração, uma suspensão de partículas selecionadas são dosadas na membrana, por um curto período. Essas partículas formam uma camada facilmente removível, permeável e incompressível na membrana.

Após esse período, o ciclo de filtração começa, e a matéria orgânica suspensa será absorvida pela camada de pré-revestimento em vez da membrana.

Quando a pressão transmembrana atinge um determinado valor, é feita a retrolavagem. O pré-revestimento com a torta então se desprende e é retirado da membrana. Foram testados diversos materiais, e os que apresentaram as melhores características para serem utilizados com pré-revestimento foram a diatomita, o carvão ativado em pó, a caulinita e o óxido de ferro. Concluiu-se que o pré-revestimento aumenta a taxa de *fouling*, que se estabiliza depois de vários ciclos de filtração, porém resulta em uma melhor restauração da permeabilidade após a retrolavagem.

2.3.3.3 Biofouling

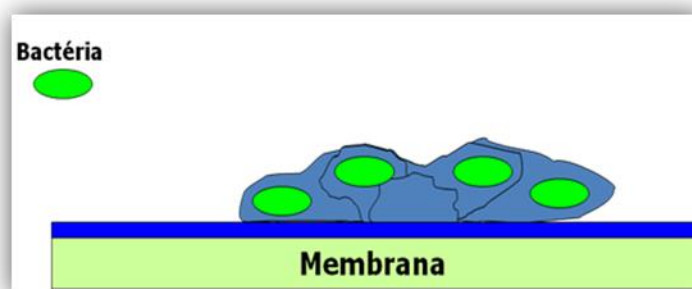
A formação de *biofouling* (Figura 13) é um problema crítico nos processos de separação por membranas, e refere-se à formação de uma camada viscosa sobre a superfície da membrana, resultante do acúmulo de microrganismos, devido sua adesão e crescimento. O *biofouling* estabelecido serve como uma fonte de microrganismos para o sistema e a contagem microbiana é um indicativo da sua existência.

Normalmente, a formação de *biofouling* é mais problemática que a ocorrência de depósitos coloidais ou a incrustação. A razão para isto é que os microrganismos se multiplicam em progressão geométrica, podendo resultar em danos severos às membranas, e mesmo para águas com baixa contagem de microrganismos, sua formação é inevitável.

A presença de sólidos em suspensão em combinação com o biofilme pode resultar na formação de depósitos que irá conduzir à perda da eficiência do sistema.

Em qualquer situação, a ocorrência de biofilme reduz o desempenho do sistema, e seus efeitos são mais pronunciados em sistemas de NF e OR, devido a pequena espessura e a fragilidade dessas membranas.

Figura 13 - Formação do biofilme na superfície da membrana.



Fonte: (CHEN et. al. 2004).

De Oliveira (2012) avaliou o desempenho de um sistema de pré-tratamento para água do mar constituído por um filtro lento de areia, com uma etapa prévia de filtração por um filtro de discos. O sistema removeu 97% dos sólidos suspensos

totais presentes na água bruta, causadores de *fouling* em membranas de osmose reversa. E 90% das concentrações de microrganismos, principais fatores causadores da formação de *biofouling*. Em sistemas de dessalinização de água do mar por osmose reversa, o pré-tratamento da água de alimentação constitui a principal estratégia no controle da formação do *biofouling*.

Alicio et al. (2008) compararam o fluxo permeado e a qualidade do produto obtido na clarificação de cerveja por microfiltração tangencial, para uma membrana cerâmica tubular de α - alumina, às pressões de 1, 2, 3 e 4 bar e temperatura de $6 \pm 1^\circ\text{C}$ para cada teste, sendo realizado o estudo do mecanismo de fouling: bloqueio completo, parcial e interno de poros e formação de torta. O estudo de fouling demonstrou que o mecanismo para a pressão de 1 e 3 bar foi o de bloqueio completo de poros e para a pressão de 2 e 4 bar o de formação de torta.

2.3.4 Vantagens e desvantagens do uso do PSM

O mercado da MF está por volta de 1 bilhão de dólares, sendo o maior mercado dos PSM depois da hemodiálise (HABERT et. al., 2006).

Entre as principais vantagens dos PSM, destacam-se (MAESTRI, 2007; PELEGRIN, 2004):

1. Alta seletividade: permite a obtenção de permeado com características bastante específicas, a partir do uso de um só processo ou do acoplamento de processos;
2. Em geral são operados em temperatura ambiente, sendo desnecessário o controle da temperatura para promover a separação das fases;
3. Simplicidade de escalonamento: é facilitada a passagem de unidades pilotos para escala comercial pela utilização de módulos comerciais em unidades experimentais;
4. Fácil associação a outros sistemas;
5. Pequena área construída: o módulo de membrana necessita de uma pequena área construída para seu funcionamento. Isso ocorre porque a filtração por

membranas pode trabalhar com concentrações de sólidos maiores do que o tratamento convencional de decantação;

As principais desvantagens apresentadas neste processo, ainda se devem ao aspecto inovador desta tecnologia, e são (MAESTRI, 2007):

1. Custo elevado: O custo das membranas é alto enquanto a vida útil é pequena, quando comparados às técnicas convencionais. A força motriz da separação por membranas é a pressão, que significa custos operacionais elevados (alto consumo de energia);
2. Resistência à adoção de novas tecnologias: a tecnologia tem sido pouco testada em escala comercial e é necessária a operação por períodos mais longos de tempo visando avaliar melhor seu desempenho e determinar os valores de parâmetros chaves do processo;
3. Troca periódica dos módulos de membranas: A substituição de membranas ainda é uma necessidade, contudo com o desenvolvimento da tecnologia a frequência para essa troca vem diminuindo.

2.4 MEMBRANAS CERÂMICAS

Para muitos usos, membranas inorgânicas representam um produto relativamente novo, mas na realidade seu desenvolvimento iniciou-se na década de 1940, podendo ser dividido em três períodos (BHAVE e RAMESH, 1991; KOROS et al., 1996):

1º) desenvolvimento e produção em massa de membranas inorgânicas para separação de isótopos de urânio por difusão gasosa utilizando o gás UF₆ (membranas de carbono e cerâmicas assimétricas);

2º) desenvolvimento e uso industrial das matrizes inorgânicas como um novo gênero de membranas adaptado à ultra e microfiltração para processos de separação de produtos em fase líquida;

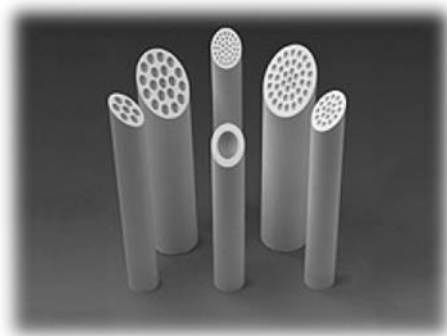
3º) pesquisa (recente) visando à variação dos processos fundamentais e das características das membranas já existentes (propriedades químicas e físicas), a fim de aperfeiçoar os processos de separação seletiva e tornar viável a aplicação em reações catalíticas.

Segundo Randon et al. (1993), as membranas cerâmicas são obtidas pela associação de várias camadas e cada camada é caracterizada pela sua espessura, sua porosidade e seu diâmetro médio de poros.

A maior aplicação atual das membranas cerâmicas microfiltrantes é no tratamento da água de abastecimento e os principais materiais cerâmicos utilizados são as aluminas, cordieritas, óxido de silício, zircônia e titânia (SILVA e LIRA, 2006).

As membranas tubulares cerâmicas (Figura 14) também são confeccionadas em camadas, sendo constituídas de duas partes principais: o substrato – com resistência mecânica elevada com gramatura na faixa de 1,0 a 3,0 μm , enquanto que a película superior, com variação granulométrica entre 0,1 a 0,8 μm , garante a seletividade (ROSA et al., 2006).

Figura 14 - Membranas cerâmicas tubulares do tipo multi e monocanal feita por extrusão.



Fonte: (DIEL, 2010).

A α -alumina como material base é muito utilizada na elaboração de membranas, pois representa um material cerâmico de baixo custo e com uma variabilidade de propriedades possíveis de obtenção em função do tipo, forma de sinterização e composição química da fonte de extração (argila). Com a combinação de variedades deste material, pode-se compor um conjunto membrana-substrato, utilizando α -alumina e aditivos (modeladores de poros, agentes fundentes) adequados à microfiltração. Com a variação da gramatura, observa-se uma

mudança significativa na permeabilidade média da membrana, como foi observado no trabalho de SONDHI, BHAVE e JUNG (2003), em que foram confeccionadas diversas membranas de α -alumina com gramaturas distintas e obtiveram valores de permeabilidade média distintas.

Estudos foram realizados por Bottino et al. (2001), com membrana cerâmica 0,2 nm, nos quais foram avaliados a remoção de partículas, microrganismos, algas e precursores dos produtos de desinfecção. A remoção de coliformes totais e fecais foi de 100 % e para a maioria das algas estudadas a remoção foi total.

Combinações de diversos materiais inorgânicos vêm sendo utilizadas para confeccionar módulos cada vez mais eficientes, como demonstraram YANG et al. (1998), com a combinação de α -alumina e zircônia em um módulo seletivo para a emulsão água em óleo.

Apesar do elevado custo, a utilização de membranas cerâmicas está crescendo no setor de tratamento de efluentes industriais. Estima-se um crescimento anual de 15%, apesar de ser ainda restrito o conhecimento a respeito de suas aplicações comerciais (SILVA e LIRA, 2006).

Algumas vantagens das membranas cerâmicas em comparação com as poliméricas são:

- Resistência a temperaturas acima de 280° C;
- Boa resistência à corrosão: resistente a solventes orgânicos e extensa faixa de pH;
- Membranas cerâmicas são apropriadas para limpeza e esterilização;
- Longa vida operacional;
- Quimicamente inerte: aplicações variadas na indústria.

As desvantagens em relação às membranas poliméricas são:

- Devido sua fragilidade devem ser manuseadas com cuidado;
- São suscetíveis à propagação de trincas devido ao uso e ao choque térmico;
- A taxa superficial área/volume é baixa, conduzindo a sistemas com maiores dimensões;
- O investimento inicial em membranas cerâmicas é alto (SCOTT, 1995).

Clarificação de sucos de fruta natural, como maçã e uva, é também uma das mais amplas e bem sucedidas aplicações de membranas cerâmicas. Tais membranas são uma alternativa particularmente atrativa por substituir métodos convencionais, pois produzem clarificação superior de sucos a baixo custo comparado com processos convencionais de clarificação (SONDH et al., 2003).

São resistentes ao ataque biológico e esterilização à vapor, havendo menor contaminação por bactérias. Tal aspecto é de grande interesse para indústrias do setor alimentício e farmacêutico.

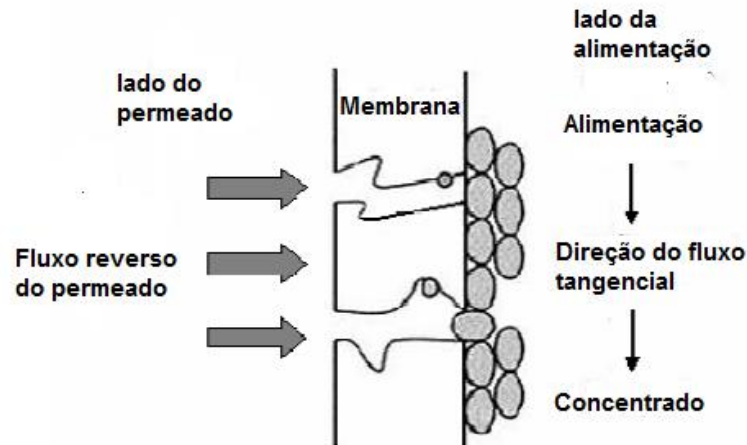
No trabalho de DelColle et al. (2010) tubos microporosos de alumina com partículas de prata em sua estrutura foram usados para a microfiltração de suspensões de bactérias do soro residual do processamento de queijo. Constatou-se que esses tubos foram eficientes na retenção de bactérias devido às partículas de prata aderidas na estrutura cerâmica porosa.

Koltuniewicz e Field (1996) estudaram experimentalmente a separação de óleo presente em água por meio de membranas, variando parâmetros que influenciam diretamente o processo, tais como: pressão transmembrana, regime de escoamento, concentração de óleo e temperatura. O desempenho de membranas cerâmicas e poliméricas foi comparado e constatou-se que as membranas cerâmicas demonstraram (dentro das condições estudadas) melhor desempenho, tendo pouca diminuição do fluxo transmembrana e inibição do efeito de polarização.

Essas membranas também foram usadas com êxito em sistemas tinta/água para a recuperação de tintas de impressão. Poros com tamanho de 0,2 μm formam uma barreira suficiente para pigmentos coloridos. Mas o alto custo de módulos cerâmicos limita seu uso em condições de operação extremas (PSOCH et al., 2004).

Fluxo reverso pode ser usado como método de limpeza das membranas. Tal método consiste na inversão do fluxo do permeado por aplicar pressão do lado do permeado (SONDHI et al., 2003). Desta forma, o líquido do permeado é forçado a voltar através da membrana para o lado da mistura de alimentação, conforme mostra a Figura 15. Esse procedimento auxilia a reduzir o *fouling* e aumentar a eficiência da filtração.

Figura 15 - Representação esquemática da reversão de fluxo.



Fonte: (SONDHI et al., 2003).

A forma, tamanho e distribuição dos poros da membrana são parâmetros fundamentais na sua permeseletividade (BENFER *et al.*, 2001).

Outra aplicação importante é no controle de bactérias da água potável, tratamento terciário de esgoto, na indústria química, indústrias de transformação e de alimentos (BAKER, 2004).

2.4.1 Síntese de membranas

A natureza do material que constitui a membrana bem como a sua morfologia define o tipo de aplicação e a eficiência da membrana nos processos de separação. Portanto, projetar uma membrana com características desejadas para uma determinada aplicação, é o grande ideal dos pesquisadores que trabalham em síntese de membranas.

Membranas sintéticas comerciais podem ser produzidas a partir de duas classes de material: os materiais orgânicos, sendo a grande maioria polímeros, e os inorgânicos, como metais, óxidos e cerâmicos. As membranas de natureza orgânica apresentam menor custo de produção do que as inorgânicas. Por outro lado, estas

apresentam várias vantagens como, maior vida útil e maior resistência a processos de limpeza mais agressivos (QUEIROZ, 2004).

Existem muitas técnicas de manufatura de membranas micro porosas (simétricas ou não), tais como: inversão de fase, precipitação térmica, por evaporação de solvente e por imersão, estiramento e sinterização. Esta técnica consiste na fusão incipiente de materiais na forma de pó, com granulometria controlada, em um molde sob pressão. A porosidade final da membrana e o tamanho médio de poros dependem, entre outros fatores, do material, da granulometria do pó, da pressão aplicada no molde e da temperatura de sinterização. Esta técnica pode ser aplicada para vários tipos de materiais como, polímeros, metais e cerâmicos (HABERT et al., 2006).

Membranas cerâmicas de microfiltração têm sido preparadas pela técnica de sinterização, o processo consiste em preparar primeiro uma suspensão de finas partículas (de um material cerâmico) que serão depositadas em um suporte poroso, em seguida o suporte revestido é aquecido para sinterizar as partículas.

Yang et al. (1998) sintetizaram membranas assimétricas de zircônia sobre suporte tubular de α - alumina através dessa técnica. Para tanto, foi preparada uma suspensão de zircônia em água deionizada, utilizando polímero como ligante, disperso em solução ácida de HNO_3 ou HCl .

Gomes et al. (2011) estudaram a eficiência da membrana cerâmica tubular de α -alumina de microfiltração na separação de biodiesel e glicerina. O baixo teor de glicerina obtido no permeado demonstrou forte perspectiva da utilização de membranas cerâmicas de alumina na etapa de separação de biodiesel.

Barbosa et al. (2014) prepararam, caracterizaram e avaliaram a capacidade das membranas cerâmicas do tipo (α -alumina e γ -alumina) em sistema de separação emulsão óleo/água e concluíram que as membranas desempenharam boas performances no tratamento de água contaminada com óleo, sendo que a membrana cerâmica α -alumina foi mais eficaz do que a membrana cerâmica γ -alumina.

2.5 RESINA TROCADORA IÔNICA (RTI)

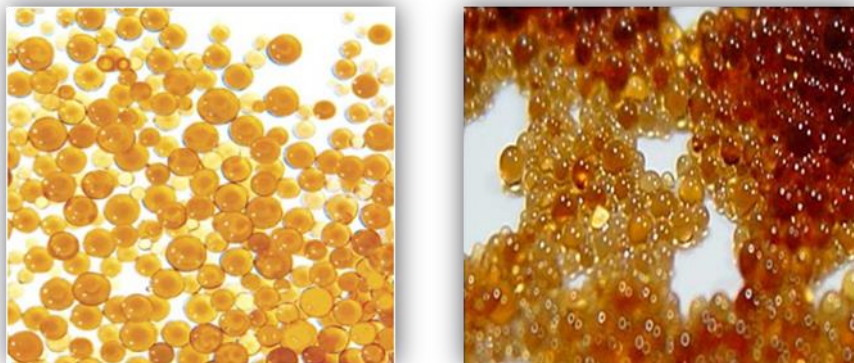
O termo troca iônica tem, geralmente, a significação de permuta de íons de mesmo sinal, entre uma solução e um corpo sólido altamente insolúvel que está em contato com ela (MENDHAM et al., 2002). As resinas trocadoras de íons são substâncias complexas insolúveis em água, obtidas sinteticamente na forma de pequenos grânulos de aproximadamente 0,5 mm (ALMEIDA et al., 2002).

A Figura 16 representa as resinas de troca iônica, que são grânulos sintéticos que tem em sua estrutura molecular radical ácido ou básico passíveis de troca por outros íons em solução, e quando colocados na água os íons positivos ou negativos fixos nestes radicais são substituídos pelos íons contaminantes na solução.

As resinas de troca iônica são aplicadas em várias áreas de atuação: tratamento de águas; resíduos nucleares; indústria alimentícia; indústria farmacêutica; agricultura e metalúrgica.

Na área de tratamento de água industrial, as resinas são muito utilizadas em tratamento primário de água de alimentação de caldeiras, em processos de abrandamento ou desmineralização.

Figura 16 - Resina de troca iônica tipo gel convencional.



Fonte: (NATURALTEC).

As resinas poderão liberar íons sódio ou hidrogênio (resinas catiônicas-radicaais ácidos) ou hidroxila (resinas aniônicas – radicais básicos) (Figura 17) e captar da água cátions e ânions responsáveis por seu teor de sólidos dissolvidos

indesejáveis a muitos processos industriais, como o cálcio e magnésio, por exemplo, para fins de “amolecimento” (*softening*) da água.

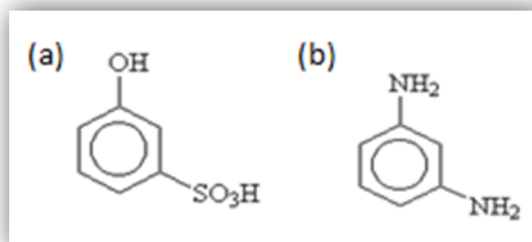
Algumas resinas de troca iônica funcionam apenas para retirarem a dureza da água com relação às concentrações de cálcio e magnésio trocando-os por íons sódio.

A resina catiônica geralmente é mais escura do que a aniônica e variam a tonalidade de cor por lote de fabricação.

As resinas são polieletrólitos reticulados. Sendo reticuladas, as resinas trocadoras de íons são insolúveis em praticamente todos os solventes. A matriz é elástica e pode expandir-se, por isso resinas trocadoras podem intumescer em contato com determinados solventes (INORGAN, 2013).

Segundo Almeida (1999), algumas outras propriedades como seletividade, capacidade de troca, tamanho dos grãos e durabilidade estão diretamente relacionados com a aplicação futura a qual a resina será submetida. A escolha da resina trocadora de íons para uma determinada aplicação deve ser baseada nas características químicas e físicas do objeto ou sistema a ser estudado.

Figura 17 - RTI. (a) resinas catiônicas, (b) resinas aniônicas.



Fonte: (INORGAN, 2013).

As resinas com grupamentos ácidos ou básicos não se dissociam em duas espécies iônicas. Somente uma espécie é dissociada nas resinas catiônicas, Na^+ ou H^+ e nas aniônicas, mais frequentemente a hidroxila OH^- .

Em cada conta de resina existe um número limitado de sítios ativos, portanto quando todos estes sítios ativos são ocupados, diz-se que a resina está saturada, daí executa-se a "regeneração" das mesmas, fazendo-se passar uma solução a 10

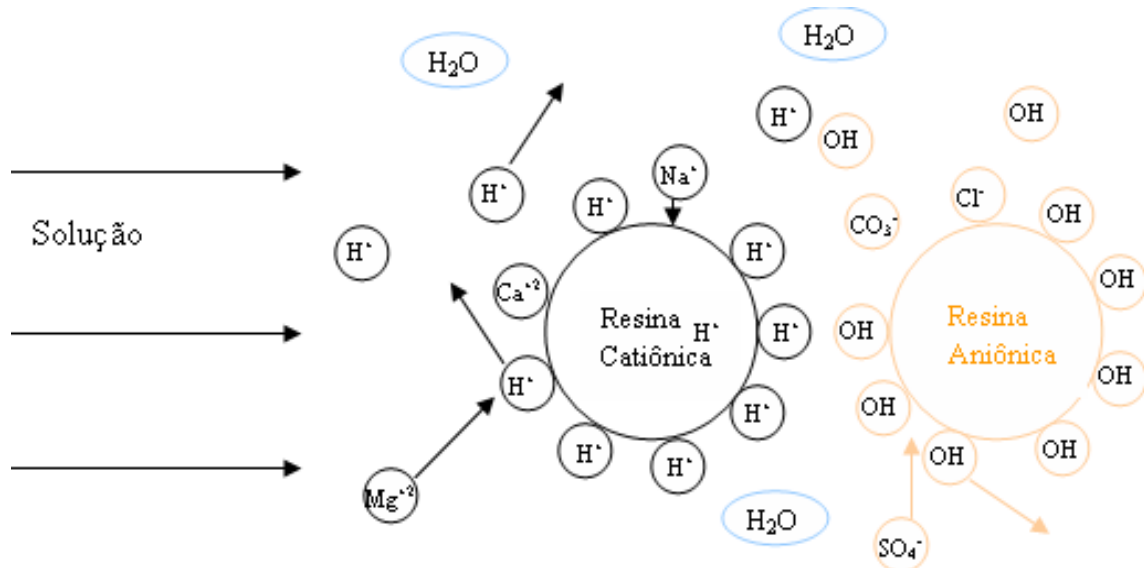
% de cloreto de sódio pelo leito das resinas para efetuar a troca inversa do sódio da salmoura pelo cálcio e magnésio agora retido nas resinas.

Como este processo envolve uma reação de equilíbrio químico, ou seja, toda a reação química ocorre nos dois sentidos: de reagentes se transformando em produtos e de produtos se transformando de volta em reagentes, as resinas podem ter a sua capacidade recuperada.

A troca de íons entre a resina e a solução externa é relativamente rápida, a capacidade de troca é determinada pelo número de grupos funcionais por unidade de massa da resina, (Tamura, 2004). Mas é preciso observar que a capacidade de troca da resina depende das condições de operação do sistema, da qualidade da água que entrará em contato com a resina e com a qualidade da água desejada.

A Figura 18 mostra uma diagramação simples desse processo durante a purificação da água.

Figura 18 - Processo de troca iônica em uma resina catiônica e aniônica.



Fonte: (SILVA, 2008).

2.5.1 Resina Trocadora Iônica em Tratamento de Água

Segundo a Revista e Portal Meio Filtrante (2007), na natureza, a água de um modo geral, depois de submetida aos processos de tratamento por clarificação e filtração, apresenta-se praticamente isenta de sólidos em suspensão, embora ainda não seja um composto quimicamente puro, pois apresenta sais e ácidos, além de algumas substâncias dissolvidas. Os sais e ácidos não se dissolvem na água como moléculas, mas se dissociam nela em partículas bem menores, eletricamente carregadas, chamadas íons.

Alguns usos industriais da água exigem tratamentos mais cuidadosos e completos que o tratamento para uso humano (potabilidade). Empresas como a indústria farmacêutica demandam água de alta qualidade e necessitam água de alta pureza, com um polimento final e tirando todos os sais presentes.

Alguns contaminantes presentes na água, e passíveis de remoção por troca iônica, são os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , responsáveis pela dureza da água e que causam incrustações nas caldeiras podendo provocar rupturas com consequências drásticas. Outro contaminante importante é o SiO_2 , que, dependendo da pressão do projeto da caldeira, pode ser arrastado pelo vapor, causando sérios problemas de incrustação e erosão das turbinas acionadas por vapor.

O processo de tratamento que emprega as resinas trocadoras catiônicas e aniônicas é denominado desmineralização. Neste tipo de tratamento temos a substituição dos íons catiônicos (Ca, Mg, Na) por íons hidrogênio e dos íons aniônicos (cloretos, sulfatos, carbonatos, silicatos, bicarbonatos e nitratos) por íons hidroxila. Deste modo, elimina-se grande parte dos sais presentes na água, tornando-a equivalente à água destilada, eliminando assim os problemas de incrustações, cristalizações e corrosões (SCAPINI, 2007).

2.5.2 Processo de Regeneração das RTIs

A regeneração da resina catiônica é feita por meio de solução de ácido clorídrico, que em contato com as mesmas, retira os íons de minerais retidos, deixando íons H^+ em seu lugar, permitindo obter uma água contendo somente os ácidos dos sais dissolvidos.

A regeneração da resina aniônica é feita por meio de solução de NaOH, que em passagem retira da água os íons de minerais retidos, deixando íons OH^- em seu lugar, concluindo assim o processo de regeneração.

O processo de regeneração da resina é de recirculação, a solução ácida e a alcalina são colocadas em contato com a resina já separada em um recipiente e retornando para o tanque de alimentação.

O procedimento para se averiguar a capacidade de troca durante a regeneração da resina é medido através da condutividade elétrica da solução de alimentação e do potencial hidrogeniônico (pH).

A água utilizada para o processo de regeneração da resina tem que ser de boa qualidade, com condutividade elétrica na faixa de 3 a 5 $\mu S/cm$.

2.6 PRINCIPAIS PARÂMETROS DO PROCESSO

O conceito de qualidade da água relaciona-se a seu uso e características por elas apresentadas, determinadas pelas substâncias presentes.

A cada uso corresponde uma quantidade e qualidade, necessárias e suficientes. Seu padrão de potabilidade é composto por um conjunto de parâmetros que lhe confere qualidade própria para consumo humano (FERREIRA, 2008).

Água potável é definida pela Portaria de potabilidade da água 2914/11 do Ministério da Saúde como água para consumo humano cujos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos atendam ao padrão e não ofereça riscos à saúde. Os

mesmos podem ser identificados em laboratórios de análises da água, e são: Cor, Turbidez, pH, Alcalinidade, Dureza, Ferro, Alumínio, Cloreto, Sulfato, Nitrato, Nitrito, Sódio, Amônia, Sólidos Dissolvidos e organismos indicadores de contaminação.

As características biológicas das águas naturais referem-se aos diversos microrganismos que habitam o ambiente aquático a exemplo do *Escherichia. coli*.

Sua relevância manifesta-se na possibilidade de transmitir doenças e na transformação da matéria orgânica dentro dos ciclos biogeoquímicos de diversos elementos. Sendo possível ser transmitidas enfermidades por ingestão ou contato com a água contaminada (PESSOA, 2010).

2.6.1 Fluxo (c)

O fluxo do permeado representa a vazão volumétrica, mássica ou molar por unidade de área de permeação da membrana.

A Equação 1 define o fluxo volumétrico (J) que é a vazão (Q), pela área de permeação (A). As unidades de fluxo volumétrico são ($L m^{-2} h^{-1}$) ou ($m s^{-1}$)

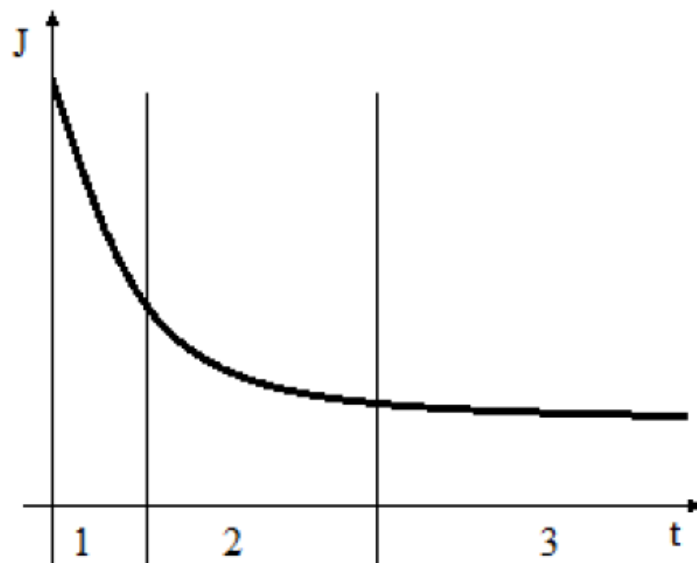
$$J = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

O fluxo através da membrana é fortemente influenciado pela temperatura da solução de alimentação, uma vez que o fluxo é função da viscosidade dinâmica da solução que, por sua vez, é função da temperatura. A velocidade de escoamento também influencia no fluxo permeado, como já foi visto anteriormente, pois com o aumento da velocidade, provoca-se um aumento da turbulência do escoamento e conseqüente diminuição da camada polarizada. (DIEL, 2010).

2.6.1.1 Característica da curva do fluxo de permeado

A curva do fluxo de permeado apresenta um comportamento característico no qual Marshall e Daufin (1995) dividem em três estágios (Figura 19). O primeiro é caracterizado por uma perda reversível do fluxo causada pela polarização de concentração. Neste estágio há uma queda brusca do fluxo nos primeiros minutos. No segundo estágio, a variação do fluxo é decrescente, variando com o diâmetro do poro da membrana (GIRARD e FUKUMOTO, 2000). Inicia-se a precipitação dos solutos acumulados na polarização que leva ao bloqueio dos poros e à adsorção dos componentes na membrana, ocasionando a formação da camada polarizada e do *fouling* (USHIKUBO, 2006). A perda de fluxo causada por *fouling* geralmente é irreversível.

Figura 19 - Curva típica de fluxo de permeado em função do tempo.



Fonte: (TREVISOLI, 2010).

O terceiro, e último estágio, é a consolidação do *fouling* no qual o fluxo decresce contínua e lentamente.

Quando a filtração é do tipo tangencial, ocorre uma contínua redução do fluxo de permeado; segundo Habert, et. al. (2006) a redução do fluxo permeado com o tempo é inevitável.

Para recuperar o fluxo permeado parcial ou totalmente é necessário que se apliquem nas membranas processos físicos como retro-lavagem e variação da pressão transmembrana; e métodos químicos como aplicação de soluções ácidas ou alcalinas, e também surfactantes.

2.6.2 Recuperação

A recuperação do sistema refere-se à percentagem da água de alimentação convertida em água permeada e depende de vários fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão e a qualidade da água de alimentação do sistema (MONTEIRO, 2009).

A recuperação de um sistema pode ser definida de acordo com a Equação 2.

$$r(\%) = \left(\frac{Q_p}{Q_a} \right) 100 = \left(\frac{Q_p}{Q_p + Q_c} \right) 100 \quad (2)$$

Onde:

r: recuperação do sistema (%)

Q_p : vazão do permeado (m^3/h)

Q_a : vazão da alimentação (m^3/h)

Q_c : vazão do concentrado (m^3/h)

Quanto maior o nível de recuperação do sistema, mais água é convertida em água permeada. Isto reduz o volume de água a ser rejeitada, aumentando o valor da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado (MONTEIRO, 2009).

A recuperação máxima de qualquer sistema de separação por membrana depende dos sais e microrganismos presentes na água de alimentação e de sua tendência a se precipitar na superfície da membrana.

2.6.3 Coeficiente de Rejeição

O coeficiente de rejeição dá essencialmente a percentagem de espécies rejeitadas que “escapam” através das membranas (HSEIH, 1996). O Coeficiente de rejeição é dado pela Equação 3.

$$R = \frac{C_C - C_P}{C_C} \quad (3)$$

Onde C_P é a concentração do permeado e C_C a concentração do concentrado.

2.6.4 Tempo de Residência Hidráulica (τ)

A eficiência de unidades de tratamento de águas residuárias depende de vários fatores diretamente relacionados às operações e processos que nelas devem ocorrer. Por exemplo, a eficiência de remoção de partículas em decantadores depende da relação entre a velocidade de sedimentação dessas partículas e a taxa de escoamento superficial do líquido.

A eficiência de unidades onde ocorrem processos químicos depende, dentre outros fatores, das propriedades químicas dos reagentes, das características físico-químicas do fluido a ser tratado, do tempo de reação e das características dos produtos formados. Já a dos processos biológicos depende similarmente da natureza e composição dos substratos presentes no afluente, das características e concentração da biomassa presente nos reatores, das condições ambientais tais como: pH, temperatura, presença de nutrientes, tempo de contato entre substrato e biomassa e dos fenômenos que governam o transporte de substrato às células (ARAÚJO et al., 2005).

Em geral, os parâmetros utilizados no dimensionamento de unidades de tratamento são obtidos empiricamente, através de pesquisas experimentais em

escala de laboratório piloto e protótipo, ou através da experiência acumulada com a operação de unidades em escala natural.

Um dos parâmetros mais importantes no dimensionamento dessas unidades é o tempo médio de residência hidráulica (τ) (Equação 4). Conceitualmente o τ representa o tempo médio de permanência das moléculas de água em uma unidade de tratamento. Se a vazão (Q) e o volume (V) são constantes, o τ pode ser calculado como:

$$\tau = V/Q \quad (4)$$

τ : h

V: L

Q: L/h

2.7 LIMPEZA QUÍMICA DA MEMBRANA CERÂMICA

A limpeza tem por finalidade a destruição de microrganismos patogênicos presentes na membrana (bactérias, protozoários, vírus e vermes).

Os procedimentos de manutenção de sistemas que utilizam membranas como processo de separação, são indispensáveis, mesmo que as águas da alimentação e do concentrado, não apresentem potencial de incrustação.

Essa necessidade se faz devido ao potencial de crescimento biológico que pode ocorrer nas superfícies das membranas ou até mesmo o acúmulo de depósitos inorgânicos que podem se manter fortemente aderidos aos elementos de membrana com o tempo.

A eficácia do processo de limpeza química tem como fonte principal de informação, as características físico-químicas da água de alimentação do sistema. Através dela, pode-se aplicar uma solução preparada adequadamente para os tipos

de *fouling*s potencialmente depositados. Outro fator importante é o tipo de membrana na qual se aplicará a solução. Os fabricantes de membranas indicam as características e propriedades dos seus produtos bem como sua fragilidade em determinadas faixas de pH (SILVA, 2008).

A aplicação de uma limpeza química, com características aquém das indicadas pelos fabricantes, pode trazer danos irreparáveis aos elementos de membranas.

Para a limpeza da membrana cerâmica é utilizado uma solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) com pH aproximadamente 12 ou 13 para limpeza dos microrganismos, em seguida uma solução de Ácido Clorídrico (HCl) com pH aproximadamente 3 ou 4.

2.8 SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA E RESINA TROCADORA IÔNICA)

O sistema híbrido associa as vantagens da filtração com membrana cerâmica com o abrandamento da resina trocadora iônica, produzindo um permeado de alta qualidade, baixa quantidade de sais e com baixo custo.

Macedo (2014) analisou o desempenho de um sistema híbrido composto por membranas cerâmicas de microfiltração recheadas por resinas trocadoras iônicas para tratamento de água. O sistema foi avaliado em função do comportamento do fluxo de permeado e concentrado em função do tempo, tempo de residência e parâmetros físico-químicos. E o sistema mostrou-se eficiente na remoção da cor, turbidez e parâmetros químicos para águas não salobras, produzindo água tratada de alta qualidade com um baixo consumo de energia.

Silva et. al. (2009), estudaram e avaliaram o desempenho do transporte iônico de soluções salinas através de membranas planas eletrodialíticas e de um leito de resinas trocadoras de íons. As análises foram feitas considerando a condutividade elétrica, a densidade de corrente e as análises físico-químicas da solução de alimentação e do produto de saída. Os resultados mostraram que a variação da

condutividade elétrica do produto e do concentrado dependeu da concentração inicial da solução. A densidade de corrente, para todos os casos estudados, teve seu valor aumentado em função da concentração. A variação do pH do produto e do concentrado dependeu da concentração da solução de alimentação, da velocidade da solução no interior do reator e conseqüentemente do potencial aplicado durante o processo. A limpeza com água deionizada após cada batelada realizada evitou incrustações.

CAPÍTULO 3

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no âmbito do LABDES da UFCG.

A metodologia empregada foi desenvolvida em quatro etapas, assim como segue:

- Analisar o desempenho da membrana cerâmica de microfiltração quanto ao fluxo, para água deionizada e sintética, em função das pressões de operação;
- Analisar a qualidade do permeado em termos bacteriológicos, no desempenho da membrana cerâmica sem resina; e em termos físico-químicos para os sistemas híbridos: membrana cerâmica/ resina trocadora de íons e membrana cerâmica/ coluna recheada com resina trocadora de íons, ambas para a água sintética;
- Estudar o desempenho da membrana cerâmica de microfiltração recheada com resina trocadora iônica, quanto ao fluxo, utilizando água sintética, em função das pressões de operação;
- Estudar a Taxa de Remoção de sais do permeado para os sistemas (membrana cerâmica/ resina trocadora iônica e membrana cerâmica/ coluna recheada com resina trocadora de íons), em função do tempo de saturação da resina;

3.1 MATERIAIS

Os reagentes, vidrarias e equipamentos utilizados estão descritos nos ANEXO G e H.

3.1.1 Água

O sistema foi estudado com água deionizada e sintética (mencionado no objetivo geral deste trabalho), nesta foram adicionadas bactérias do grupo *Coliforme*. O sistema operou com uma capacidade volumétrica de 200 L de água.

O sistema não foi sob temperatura controlada, porém não comprometeu as bactérias.

3.1.2 Bactérias Utilizadas

As bactérias do grupo *Coliforme* utilizadas para contaminar a água de alimentação na água sintética, foram obtidas do Laboratório de Microbiologia do LABDES.

Foi usado 100 mL de água contaminada com bactérias do grupo *Coliforme* para 200 L de água de torneira da rede de distribuição, CAGEPA, da cidade de Campina Grande.

3.2. COMPONENTES DO SISTEMA HÍBRIDO

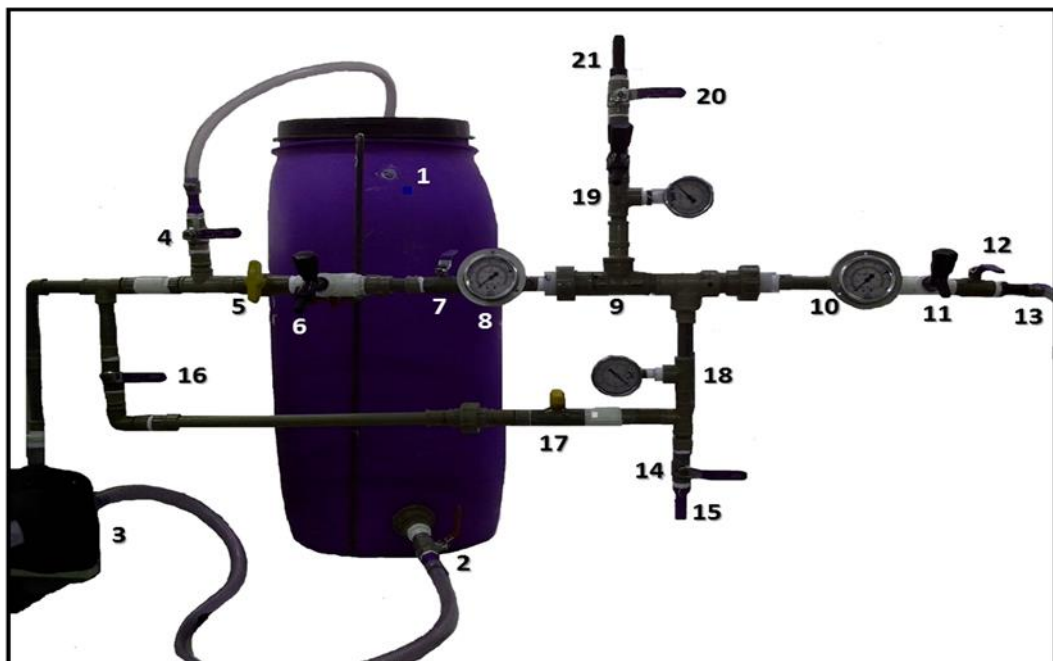
O sistema híbrido foi dividido em dois:

- ✓ Sistema 1 - Água sendo alimentada internamente à membrana cerâmica sem recheio de resina trocadora de íons;
- ✓ Sistema 2 - Água sendo alimentada externamente à membrana cerâmica com recheio de resina trocadora de íons.

Os componentes do sistema híbrido são:

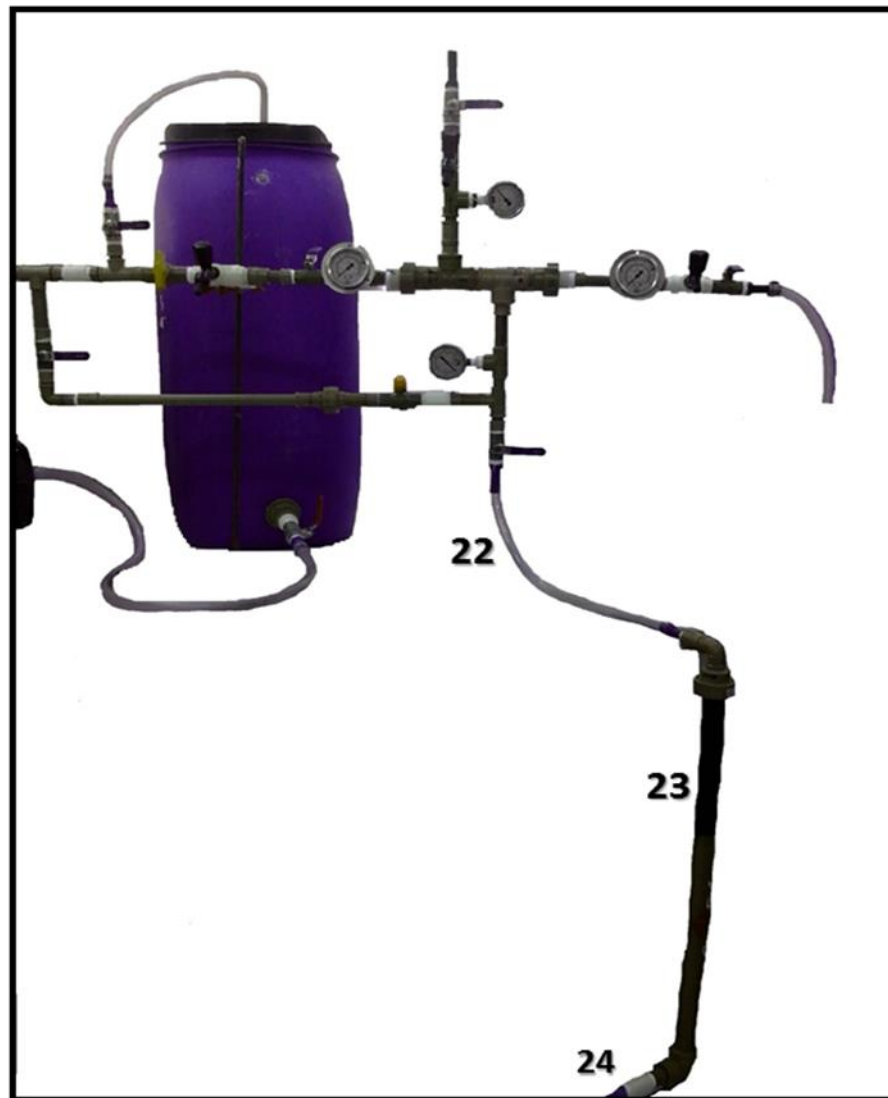
- (1) Tanque de alimentação de 200 L; (2) Válvula da saída da alimentação; (3) Bomba de alta pressão modelo CSK63 2 – E2364 da DANCOR com potência de $\frac{3}{4}$ HP e com protetor térmico, para alimentação do sistema; (4) Válvula de Bypass; (5) Válvula controladora da vazão e pressão do sistema 1; (6) Ponto de coleta da água de alimentação; (7). Válvula controladora da vazão e pressão do sistema 1; (8) Manômetro de entrada do reator; (9) Módulo em PVC com membrana cerâmica de microfiltração; (10) Manômetro de saída do reator; (11) Ponto de coleta do concentrado do sistema 1; (12) Válvula controladora da pressão e vazão do sistema 1; (13) Coleta da água do concentrado do sistema 1 e coleta do permeado do sistema 2; (14) Válvula controladora da pressão e vazão do sistema 1; (15) Coleta de água do permeado; (16) Válvula controladora da vazão e pressão do sistema 2; (17) Válvula controladora da vazão e pressão do sistema 2; (18) Manômetro de entrada do reator; (19) Manômetro de saída do reator; (20) Válvula controladora da vazão e pressão do sistema 2; (21) Ponto de coleta do concentrado do sistema 2. (22) Permeado entrando na coluna recheada com RTI; (23) Coluna Recheada com RTI; (24) Saída do permeado.

Foto 1 – Sistema híbrido de tratamento de água com membrana cerâmica e resina trocadora iônica.



Fonte: (Própria)

Foto 2 – Sistema híbrido de tratamento de água com membrana cerâmica e coluna recheada com resina trocadora iônica.



Fonte: (Própria)

- ✓ A membrana de MF (Foto 3) escolhida para a realização dos testes é uma membrana cerâmica monotubular de α -alumina ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) com 20% de argila com tamanho nominal de poro de aproximadamente $0,8\ \mu\text{m}$ produzida pelo Laboratório de Membranas Cerâmicas (LABCEM) do Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES)/UFCG, acoplada no interior de um suporte d PVC (Foto 4).

Foto 3 - Membrana cerâmica tubular monocanal de microfiltração.



Fonte: (MACEDO, 2014).

Todos os experimentos foram realizados com a membrana cerâmica não hidratada.

- ✓ A área de membrana utilizada no módulo foi de 0,0089 m², com comprimento de 0,252 m e diâmetro interno de 0,01115 m.
- ✓ A Resina Trocadora Iônica da DOWEX* MARATHON* utilizada, do tipo mista (aniônica e catiônica), é um polímero granulado de densidade 1,06 – 1,28 g/cm³ com partícula de tamanho 0,3 -1,2 mm.

Foto 4 - Módulo com membrana cerâmica de microfiltração.

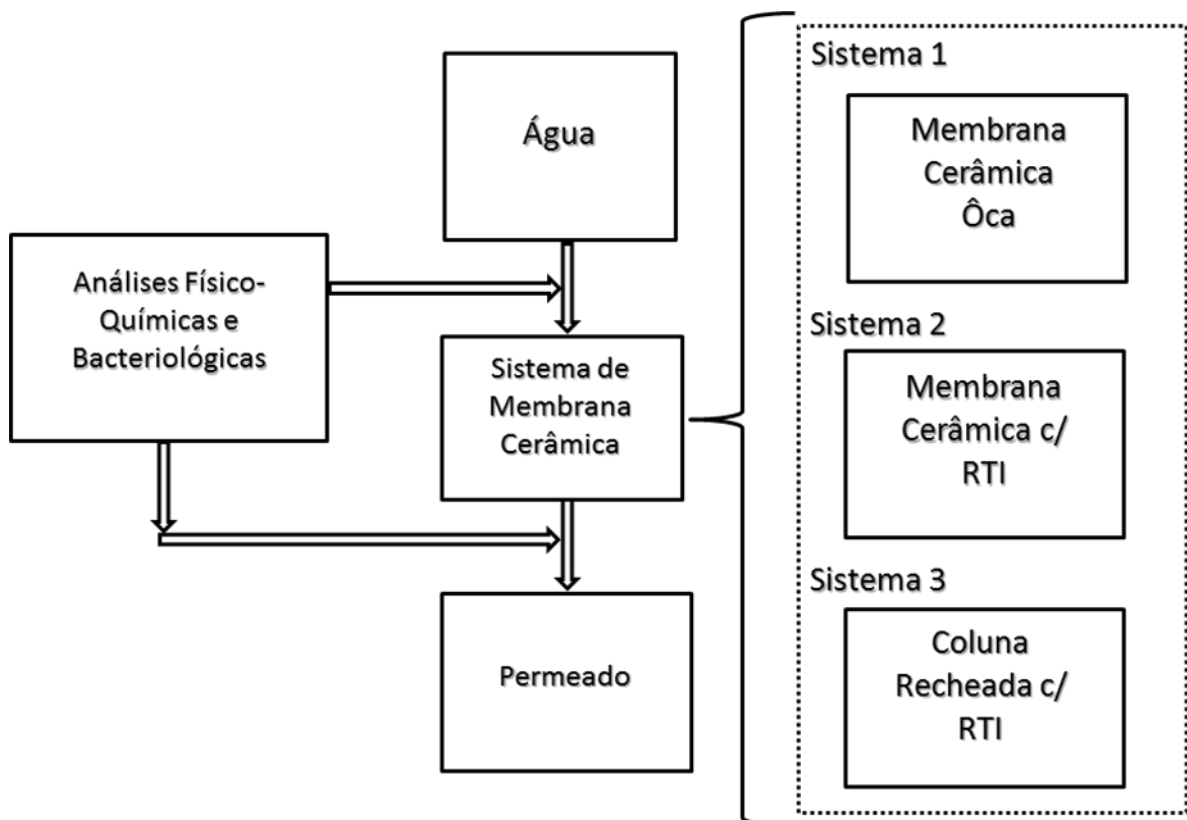


Fonte: (Própria).

3.3. FLUXOGRAMA

Na Figura 20 está ilustrado o fluxograma com as etapas básicas do processo completo de tratamento de água utilizando um sistema híbrido, composto por membrana cerâmica de microfiltração e resina trocadora iônica.

Figura 20 - Organograma da metodologia utilizada neste trabalho.



Fonte: (Própria).

No Sistema 1, água sintética passa pelo sistema de membrana cerâmica.

No Sistema 2, água sintética passa pelo sistema de membrana cerâmica recheada com resinas trocadora iônica mista.

No Sistema 3, o permeado passa pelo processo de filtração através de uma membrana cerâmica e segue para uma Coluna Recheada com RTI.

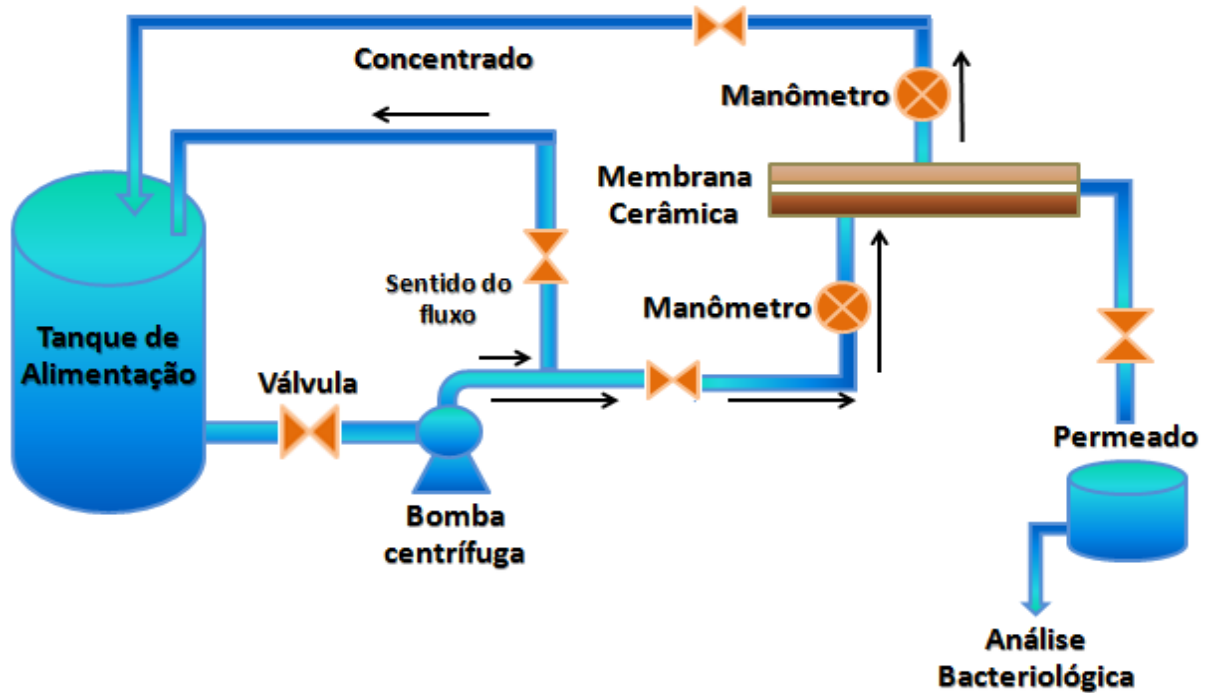
3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente foi realizado um estudo do desempenho do sistema apenas com membranas cerâmicas de microfiltração de 25,2 cm (sem a resina trocadora iônica) quanto ao fluxo do permeado com o tempo tendo água deionizada como alimentação. Utilizando membrana não hidratada, pois os fluxos obtidos foram maiores. Foram realizadas bateladas com água deionizada, sem controle de temperatura, com o tempo e circulação contínua (tipo *looping*) durante duas horas, para diferentes pressões de entrada (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0) bar analisando o comportamento do fluxo com o tempo determinando qual a pressão de operação produziu maior fluxo de permeado.

O Sistema 1 apresenta uma alimentação com água sintética internamente no início da membrana cerâmica. A saída do concentrado se encontra no final da membrana cerâmica no lado oposto, induzindo a água percorrer toda a membrana de forma tangencial provocando o arraste das partículas próximas a superfície interna da membrana. As correntes do concentrado e permeado voltam ao taque de alimentação como mostra a Figura 21. Análises como contagem bacteriológica e presença/ausência de bactérias foram feitas no permeado obtido depois de duas horas de permeação.

Durante as bateladas era realizada a coleta de um dado volume do permeado e concentrado em um intervalo de 5 minutos durante duas horas, pesando as coletas e de acordo com a densidade, calculando o volume exato das amostras para obter as vazões e os fluxos do permeado e concentrado em função do tempo e da pressão, com variação da temperatura. Finalmente, determinou-se a recuperação (porcentagem da alimentação convertida em permeado) do sistema em função do tempo.

Figura 21 – Sistema 1: Tratamento de água com membrana cerâmica.



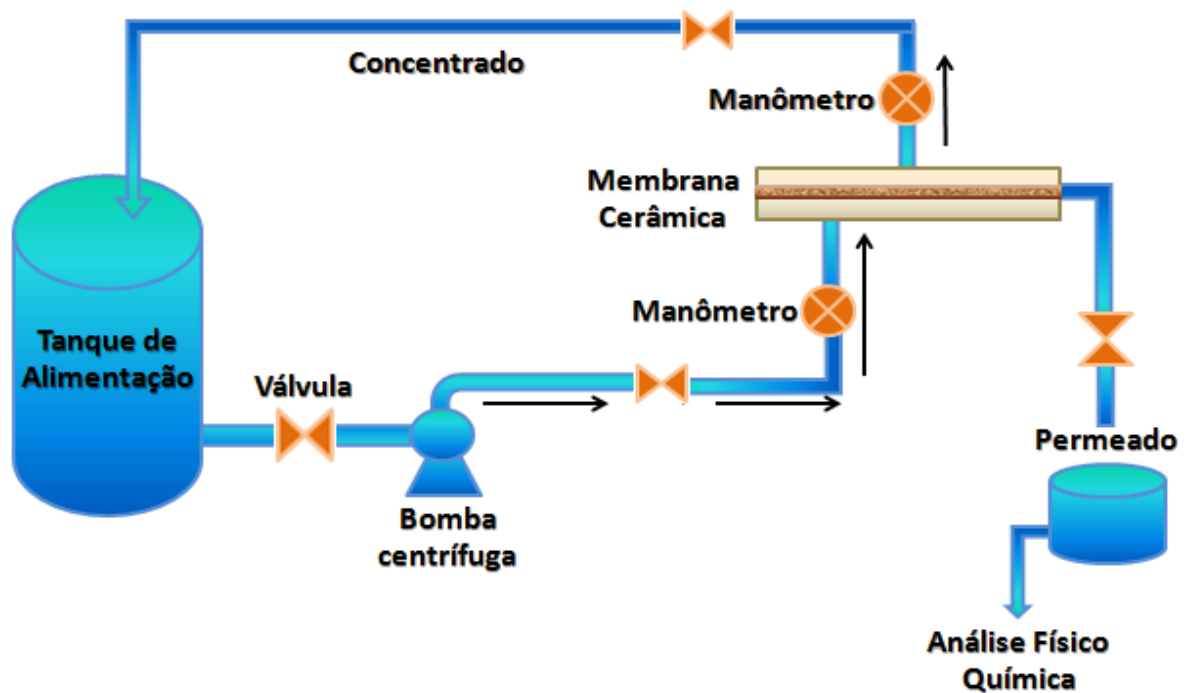
Fonte: (Própria).

No Sistema 2 a membrana monotubular foi preenchida de RTI como mostrado na Figura 22.

A membrana utilizada tem comprimento 25,2 cm e foi recheada com 8,5 g da RTI. Foi avaliado o comportamento do sistema híbrido operando com pressão de (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0) bar, alimentado com água sintética. Utilizando um condutímetro digital portátil monitorou-se a remoção de sais da água permeada e também o TDS (Totais de Sólidos Dissolvidos) do permeado em ppm e seu permeado feito análises físico-químicas para estudo da eficiência do sistema em relação a remoção dos íons presente da água.

O sistema foi alimentado com água sintética no exterior da membrana cerâmica recheada com resina, e a saída do concentrado se encontra na parte superior da membrana. As correntes do concentrado e permeado voltam ao taque de alimentação.

Figura 22 – Sistema 2: Tratamento de água com membrana cerâmica recheada com RTI.



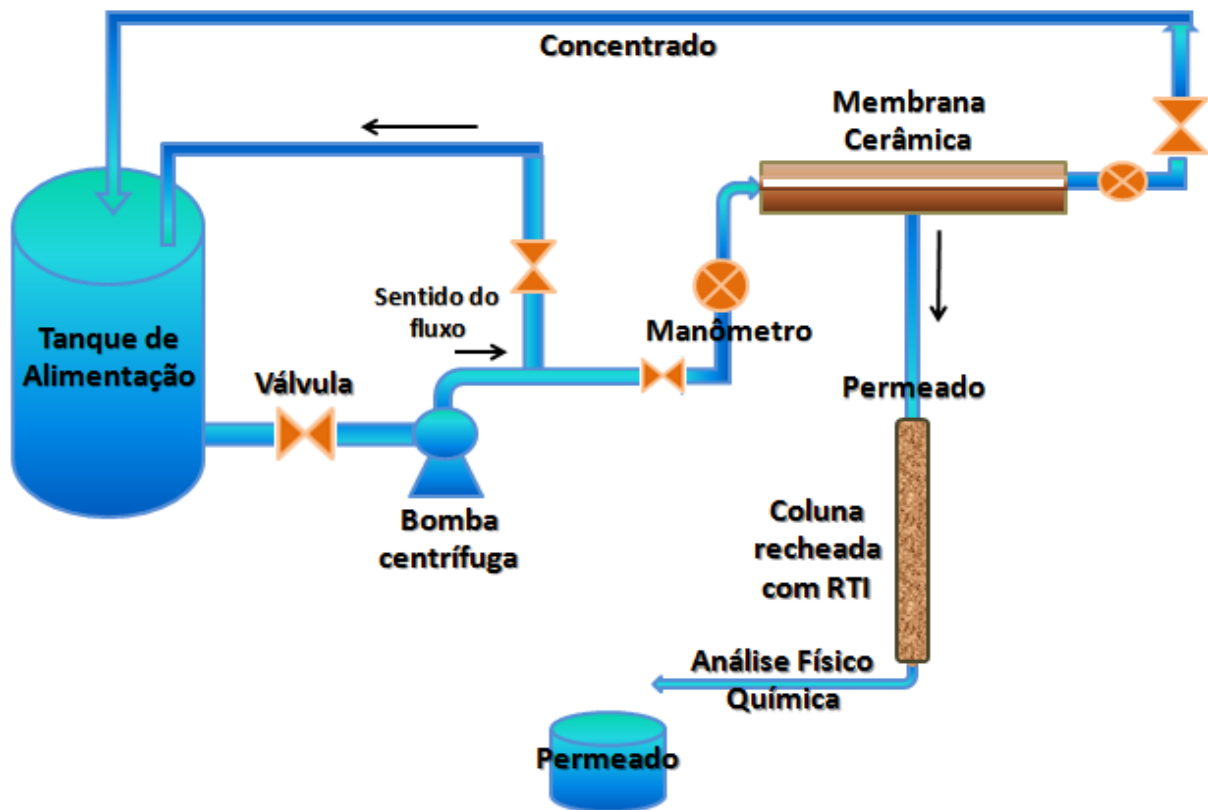
Fonte: (Própria).

O Sistema 3 consistiu em um tratamento de água composto por membrana cerâmica acoplada a uma coluna de resina trocadora iônica, como mostra a Figura 21.

Amostras de águas do permeado foram coletadas e analisadas em termos físico-químicos.

O sistema foi alimentado com água sintética no interior da membrana cerâmica. O permeado alimentou uma coluna contendo 30 g de RTI operando com pressão 1,0 bar (pressão ótima da caracterização), analisando o comportamento da vazão, condutividade elétrica e dos sólidos totais dissolvidos em ppm, do permeado, constantemente, até a saturação da resina trocadora iônica, medidos com o condutímetro de campo e TDS portátil.

Figura 23 – Sistema 3: Tratamento de água com membrana cerâmica acoplada a uma coluna recheada com RTI.



Fonte: (Própria).

3.4.1 Análise Bacteriológica

Foram realizadas duas análises bacteriológicas: Quantitativa e Qualitativa com o intuito de verificar a presença ou ausência de bactérias do grupo Coliforme nas amostras de água do permeado.

3.4.1.1 Análise Qualitativa: Método do Substrato Cromogênico

- ✓ Teste de presença/ausência
- Material utilizado:

Recipiente de vidro para coleta; Substrato cromogênico COLILERT IDEXX; Estufa bacteriológica; Lâmpada ultravioleta de 365 nm.

- Execução do ensaio

Inicialmente, realizaram-se coletas das amostras de água de alimentação do sistema e do permeado em um recipiente de vidro estéril adicionando o conteúdo de um frasconete do COLILERT IDEXX e agitando levemente.

Em seguida incubou-se a amostra na temperatura de $35 \pm 0,5$ °C durante 24 horas. Decorridos 24 horas, retirou-se da estufa o material e se fosse observado coloração amarela, significaria presença de coliformes totais na amostra. E com o auxílio de uma lâmpada ultravioleta foi observado se houve fluorescência azul no frasco amarelo, aproximando a lâmpada do frasco. Caso acontecesse, significaria que há presença de *Escherichia coli* nas amostras examinadas.

Caso a amostra permanecesse transparente, o resultado seria negativo, tanto para coliformes totais como para *Escherichia coli*.

3.4.1.2 Análise Quantitativa: Técnica do Substrato Definido Colilert® para Análise Quantitativa de Bactérias do Grupo Coliforme

As amostras foram analisadas de acordo com a metodologia descrita por (APHA, 1998).

Foram retiradas amostras de 100mL do permeado e da água da alimentação, coletadas em frasco de vidro esterilizados, diluída na proporção 1:1 e transferida para frascos esterilizados contendo o meio de cultura das bactérias preparado com Peptone Bacteriological e Cloreto de Sódio PA. Em seguida foi adicionado ao frasco o conteúdo de um frasconete contendo o substrato do TSD-C. O frasco foi fechado e agitou-se vigorosamente, até que todos os grânulos fossem dissolvidos e a amostra foi transferida para cartelas de contagem bacteriológica que foram incubados a 35°C por 24 horas.

A Figura 24 mostra a cartela de contagem, mais a Seladora eletrônica para distribuir e selar amostras de 100mL de água nas cartelas, modelo Quanti-Tray (51 cavidades) e Quanti-Tray/2000 (97 cavidades) em 15 segundos.

Figura 24 – Cartela de contagem bacteriológica e seladora eletrônica.



Fonte: (IDEXX, 2005).

O aparecimento de coloração amarelada nas cavidades da cartela indicou positividade para coliformes totais e a fluorescência, presença de *Escherichia coli*.

Método aprovado pelo Agência de Proteção Ambiental (EPA) e incluído no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.

3.4.2 Análises Físico-Químicas

Com o objetivo de determinar quantitativamente os componentes constituintes de uma amostra de água, foram realizados os principais procedimentos experimentais e os cálculos relativos a essa determinação quantitativa.

Os parâmetros analisados foram: condutividade, cor, turbidez, pH, dureza, cloreto, ferro total, alcalinidade, sílica, sulfato, amônia, alumínio, sódio e potássio, nitrito e nitrato.

Os reagentes e equipamentos utilizados nas análises físico-químicas estão no Anexo G e H e a metodologia utilizada foi a do Standard Methods.

3.5. LIMPEZA QUÍMICA DA MEMBRANA

A limpeza química da membrana foi realizada da seguinte forma:

- ✓ As membranas ficaram imersas durante 24h em uma solução de NaOH (pH = 10);
- ✓ Em seguida, foram lavadas com água deionizada para remover todo NaOH;
- ✓ Após, foram imersas por 24h em uma solução de HCl (pH = 3);
- ✓ Por fim, foram lavadas com água deionizada para remover todo HCl;
- ✓ As membranas foram colocadas em estufa por mais ou menos 1h a 60°C.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este Capítulo apresenta os dados resultantes desta pesquisa, dos seguintes pontos:

- Análise do comportamento dos fluxos do permeado e concentrado;
- Medidas de fluxo para membrana cerâmica com água sintética;
- Sistema híbrido com 8,5 g de resina, operando com água sintética;
- Sistema híbrido com 30 g de resina, operando com água sintética.

Foram abordadas duas simulações, com o objetivo de verificar, em escala maior, a produção de água de boa qualidade.

4.1. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS FLUXOS DO PERMEADO E CONCENTRADO

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos na primeira etapa da pesquisa e referem-se ao desempenho do sistema com membranas cerâmicas de microfiltração (MF), para analisar o comportamento do fluxo nas diferentes pressões de operação sendo alimentado com água deionizada.

As Figuras 25 a 28 apresentam perfis dos fluxos do sistema sob as pressões de (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0) bar para uma recuperação de 45%.

Figura 25 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 0,5 bar com a alimentação de água deionizada.

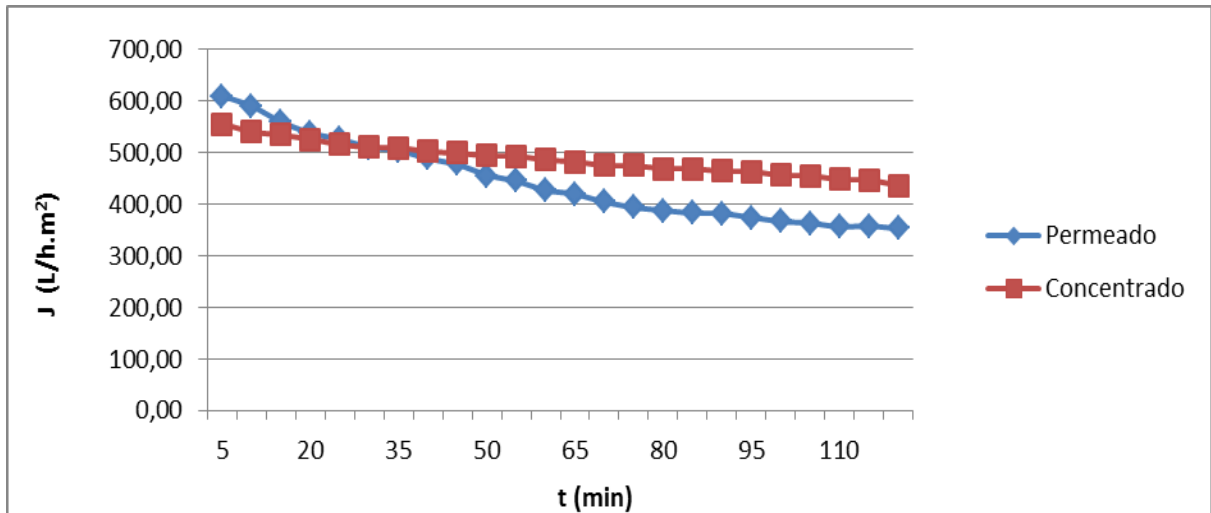


Figura 26 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 1,0 bar com a alimentação de água deionizada.

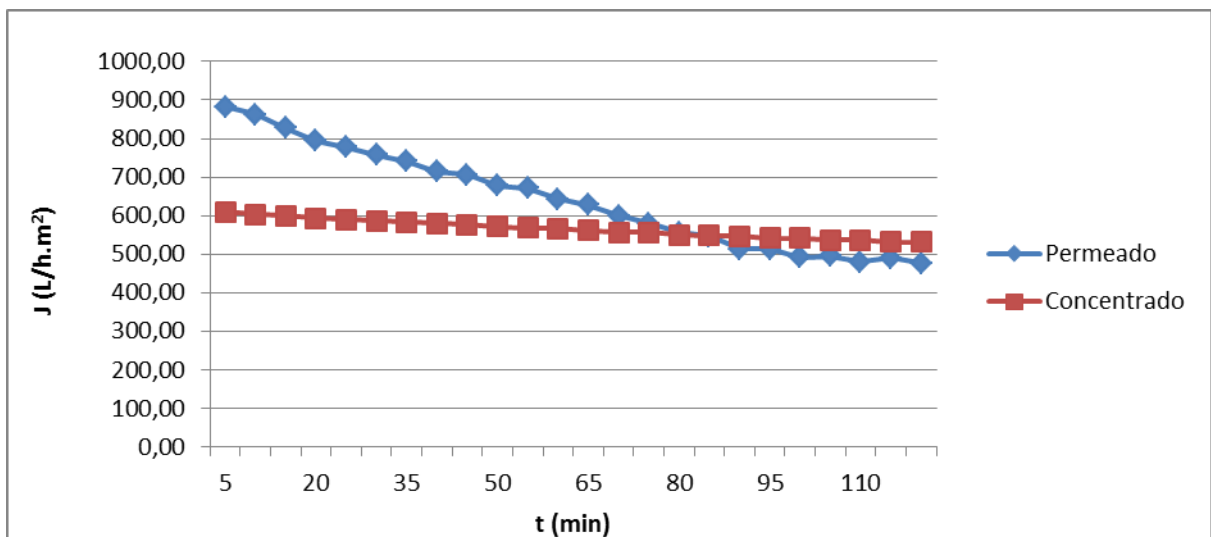


Figura 27 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 2,0 bar com a alimentação de água deionizada.

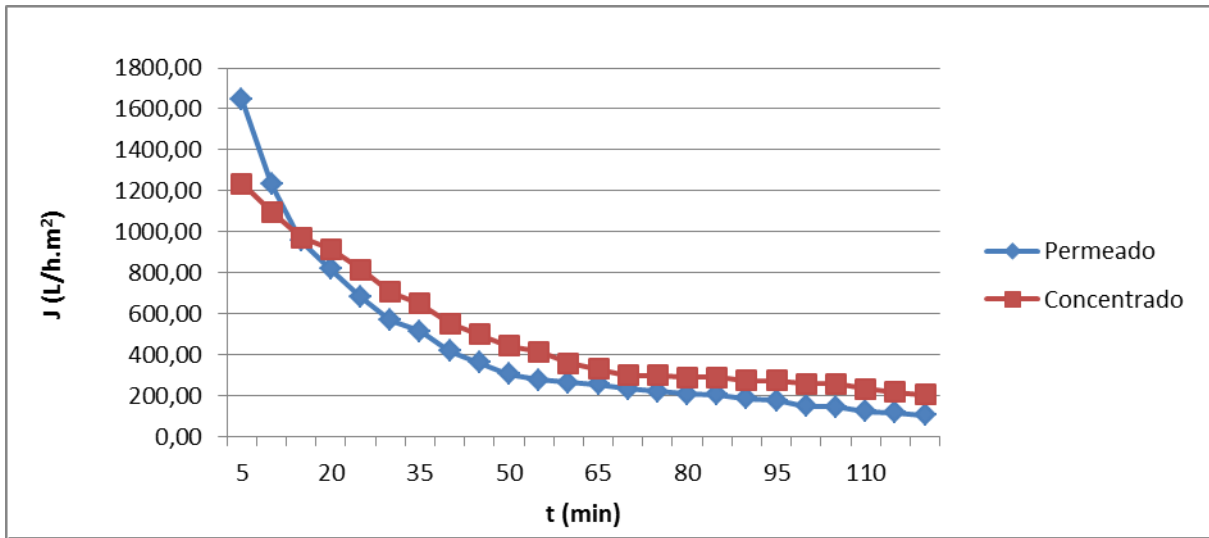
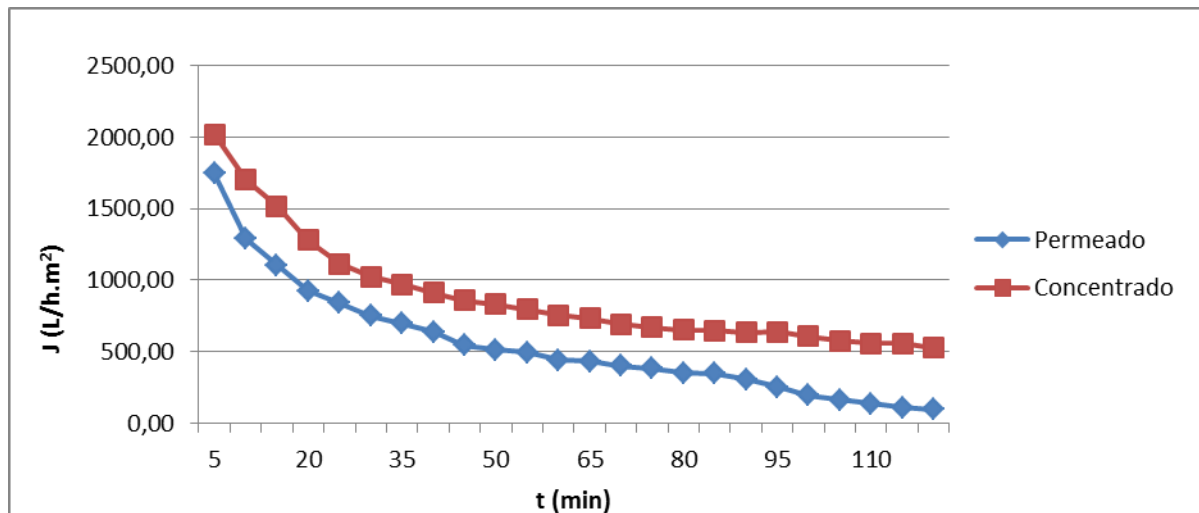


Figura 28 - Variação do fluxo do permeado e do concentrado em função do tempo para uma pressão de operação de 3,0 bar com a alimentação de água deionizada.

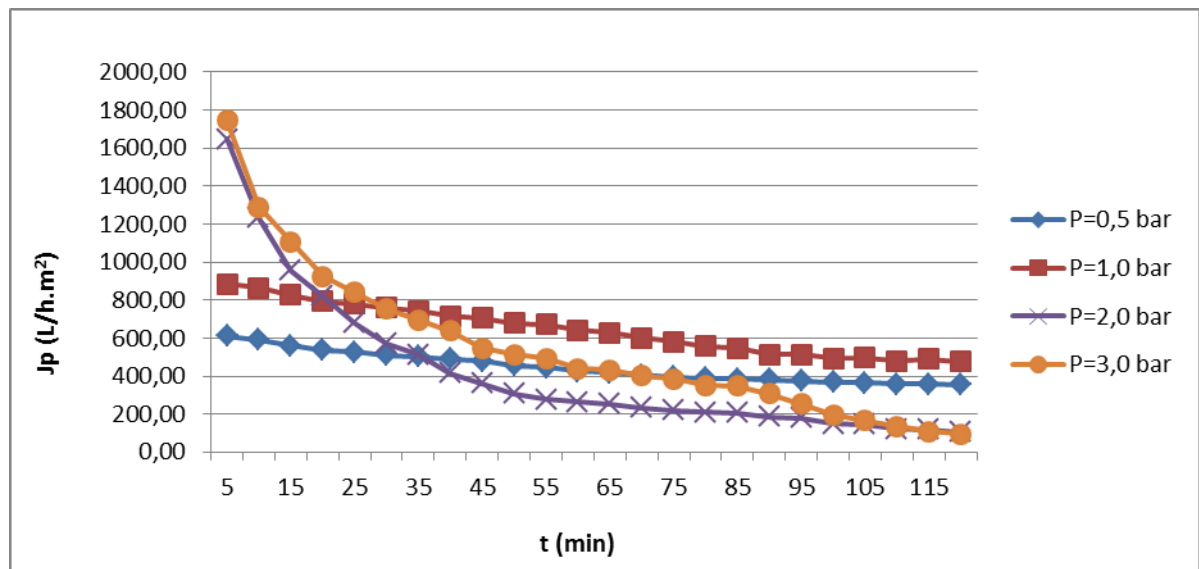


As Figuras 25, 26, 27 e 28 mostraram o comportamento do sistema água deionizada para as pressões estudadas. Observa-se que o fluxo do permeado e do concentrado diminuíram com o tempo de operação para todos os casos estudados. Observou-se que o comportamento do fluxo para pressão de 1,0 bar apresentou

melhor desempenho diante os demais, se mostrando mais linear, e para o final dos 120 minutos se apresentou superior.

A Figura 29 mostra o comportamento do fluxo do permeado das bateladas realizadas com as respectivas pressões de operação (0,5; 1,0; 2,0; 3,0) bar.

Figura 29 - Variação do fluxo do permeado pelo tempo do sistema contendo água deionizada às pressões de entrada de 0,5 bar; 1,0 bar; 2,0 bar; 3,0 bar.



Foi observado em estudos anteriores com membranas cerâmicas MF, apresentarem comportamento semelhante para o decaimento do fluxo de permeado com o tempo (DIEL, 2010; VLADISAVLJEVIĆ et al., 2013; MONTEIRO, 2009).

Observou-se que, aumentando a pressão de operação de 0,5 bar para 1,0 bar, o fluxo inicial aumentou de 600 para 900 L/h.m² aproximadamente, e o comportamento do fluxo ao longo dos 120 minutos de bateladas, manteve-se mais elevado e estável do que para as demais pressões testadas.

Para as pressões 2,0 bar e 3,0 bar observou-se um aumento considerável do fluxo do permeado no início das bateladas, quando comparadas com as pressões (0,5 e 1,0) bar. Todavia, estes diminuíram consideravelmente mais rápidos em função do tempo. O aumento da pressão no interior do elemento de membrana provocou a rápida hidratação da superfície da membrana, resultando assim, uma queda no fluxo, através da parede da membrana.

Esse comportamento pode ser observado para todos os casos estudados.

Esses dados são fundamentais para caracterizar o desempenho da membrana, operando com água sem a presença de componentes que possam obstruir os poros e formar incrustações de ordem orgânica e/ou inorgânica na superfície da membrana.

A título de observação para o tempo de 70 minutos em cada batelada, a pressão de operação de 1,0 bar foi a que mais se destacou na produção em termos de fluxo.

Os melhores resultados de recuperação e fluxo ocorreram exatamente para a pressão de 1,0 bar, os quais, condizem às informações descritas anteriormente em função das causas que podem ocorrer com o aumento da pressão.

A Tabela 2 mostra os valores das variáveis de medidas; pressão; vazões do permeado e concentrado. A partir deles podem-se obter os valores das recuperações e fluxos.

Tabela 2 - Média das variáveis de medida do sistema água deionizada.

P_0 (bar)	Q_p médio (L/h)	Q_c médio (L/h)	R médio (%)	J_p médio (L/h.m ²)	% Perda de Fluxo
0,5	3,93	4,31	47,4	444,84	41,9
1	5,67	4,99	52,70	642,67	46,0
2	3,74	4,37	42,50	423,74	93,7
3	4,84	7,82	34,70	548,23	94,6

4.2. MEDIDAS DE FLUXO PARA MEMBRANA CERÂMICA COM ÁGUA SINTÉTICA

Os resultados apresentados a seguir referem-se ao desempenho do sistema com membranas cerâmicas de microfiltração (MF), para analisar o comportamento do fluxo obtido nas pressões de operação (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0) bar e alimentado por água sintética.

Serão abordadas as análises bacteriológicas: quantitativa e qualitativa, realizadas na água permeada nas pressões de operação (0,5 a 3,0) bar.

Nas Figuras 30 a 33 apresentam perfis dos fluxos do sistema sob as pressões de (0,5; 1,0; 2,0 e 3,0) bar, para uma recuperação de 45%.

Figura 30 - Variação do fluxo pelo tempo, do permeado e do concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 0,5 bar.

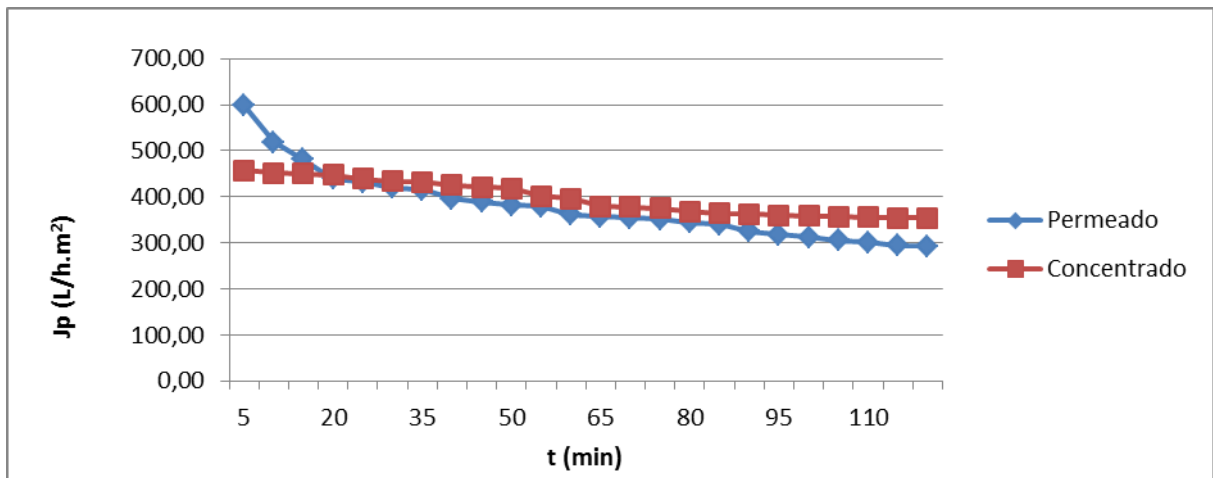


Figura 31- Variação do fluxo pelo tempo, do permeado e do concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 1,0 bar.

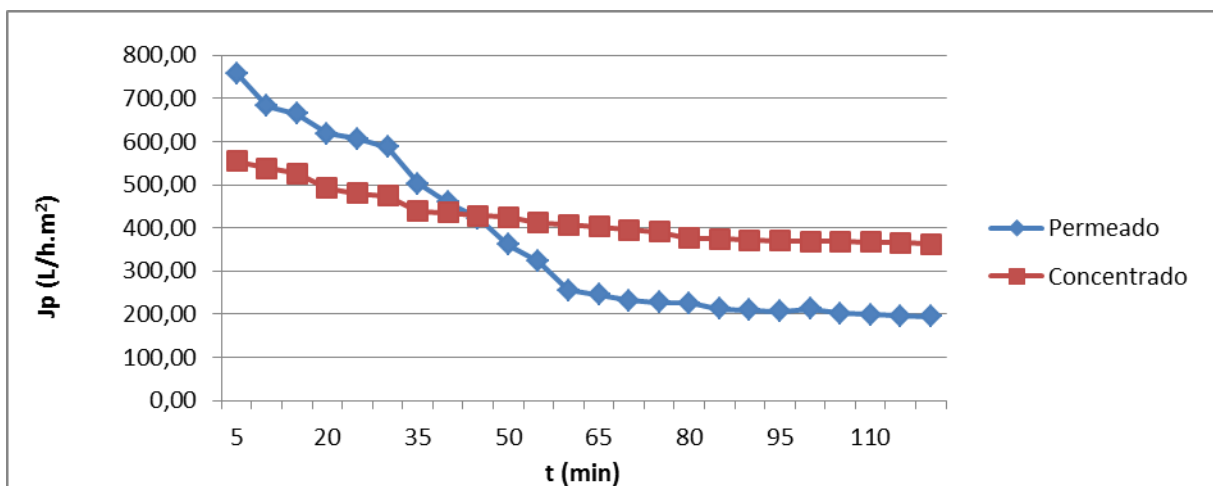


Figura 32 - Variação do fluxo pelo tempo, do permeado e do concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 2,0 bar.

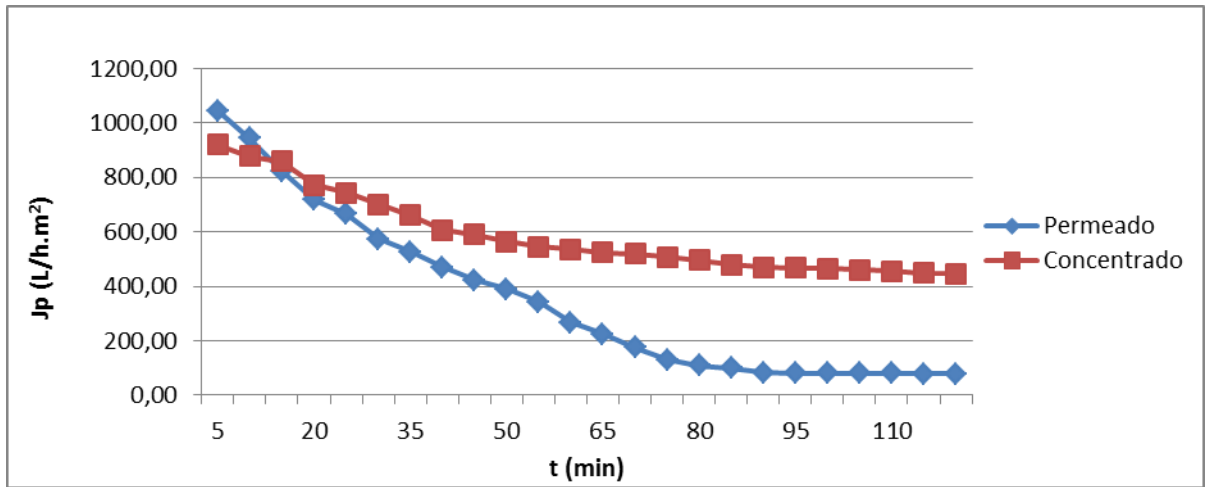
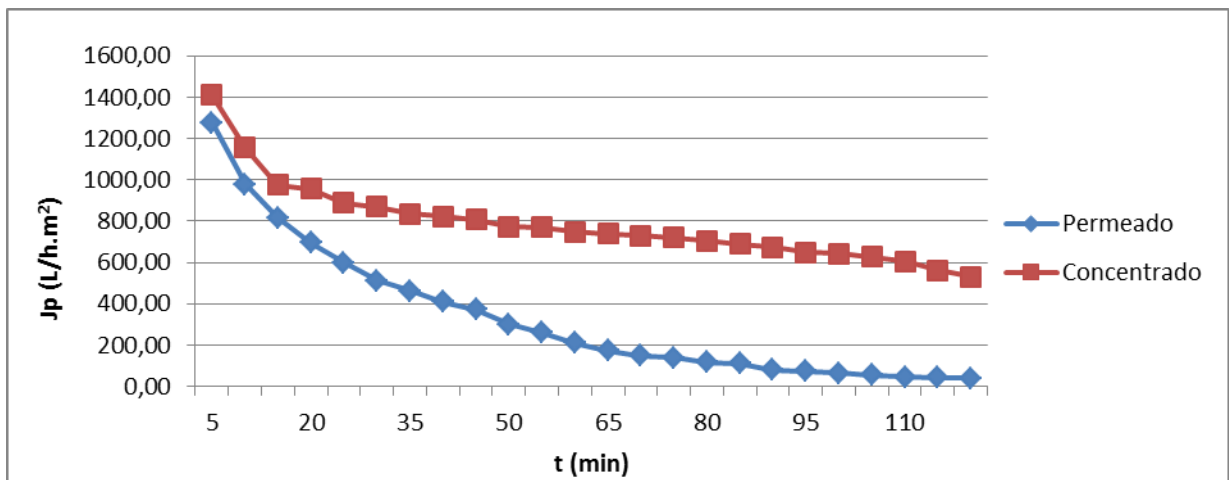
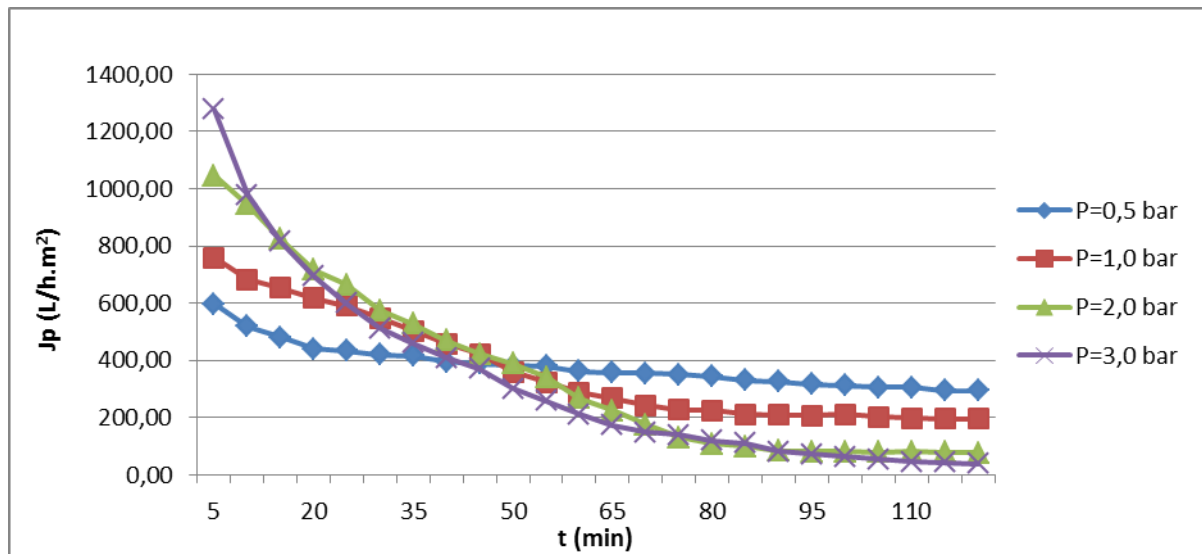


Figura 33 - Variação do fluxo pelo tempo do permeado e do concentrado para um sistema contendo água sintética à pressão de entrada de 3,0 bar.



Na Figura 34 apresenta-se o comportamento do fluxo do permeado na membrana com água sintética para as quatro pressões de operação trabalhadas.

Figura 34 - Variação do fluxo do permeado pelo tempo do sistema contendo água sintética nas pressões de entrada de 0,5 bar; 1,0 bar; 2,0 bar; 3,0 bar.



Observou-se que o comportamento do fluxo para as pressões de 0,5 bar e 1,0 bar, são mais estáveis e superiores até o final das bateladas.

Utilizando o mesmo critério do sistema operando com água sem a presença de bactérias aos 120 minutos de batelada, observou-se que o percentual do fluxo do permeado sofreu uma redução considerável em função do aumento da pressão, conforme mostra a Tabela 3.

A Tabela 3 mostra que a maior recuperação do sistema ocorreu para a pressão de 0,5 bar, a qual se enquadra com as observações técnicas (presença de substâncias orgânicas e inorgânicas) citadas para os demais casos estudados.

Tabela 3 – Média das variáveis de medida do sistema água sintética após 120 minutos de batelada.

P_0 (bar)	Q_p médio (L/h)	Q_c médio (L/h)	R médio (%)	J_p médio (L/h.m ²)	% Perda de Fluxo
0,5	3,35	3,51	48,5	379,38	51,1
1	3,24	3,76	43,7	366,85	74,3
2	3,12	5,19	31,3	353,84	92,6
3	2,94	6,94	23,9	332,63	96,9

Observou-se que a presença de outros componentes, como sais e bactérias na água alimentada provocou uma influência significativa na diminuição dos fluxos, em função das pressões.

Esses dados provavelmente sirvam para comprovar que o aumento da pressão durante o processo com a presença de substâncias de natureza orgânica e inorgânica na água de alimentação aumenta a probabilidade de formação precoce da camada de polarização dessas substâncias na superfície da membrana, e, a consequente diminuição no fluxo do permeado.

A pressão de 0,5 bar mostrou-se mais predominante ao processo, facilitando assim o fluxo através da parede da membrana.

4.3 ANÁLISE BACTERIOLÓGICA DA ÁGUA PERMEADA PARA SISTEMA COM MEMBRANA CERÂMICA PARA ÁGUA SINTÉTICA

As Tabelas 4 e 5 estão apresentando valores referentes às análises quantitativas das bactérias do grupo coliforme: *Escherichia coli*, e *Coliformes Totais*.

As análises foram feitas pelo método do Substrato Definido Colilert® e realizadas em duplicata.

Tabela 4 – Análise Bacteriológica Quantitativa e Qualitativa de *Coliformes Totais* realizadas em duplicata para a água sintética da alimentação e do permeado.

P (bar)	Coliformes Totais	
	Alimentação	Permeado
0,5	0,372 x 10 ³	0
1	0,914 x 10 ³	0
2	0,235 x 10 ³	0
3	0,043 x 10 ³	0

Tabela 5 – Análise Bacteriológica Quantitativa e Qualitativa de *Escherichia coli* realizadas em duplicata para a água sintética da alimentação e do permeado.

<i>Escherichia coli</i>		
P (bar)	Alimentação	Permeado
0,5	$0,245 \times 10^3$	0
1	$0,198 \times 10^3$	0
2	$0,063 \times 10^3$	0
3	$0,031 \times 10^3$	0

Quanto maior o índice de presença de coliformes, mais a água (ou o alimento), estão contaminados, logo se observa nas Tabelas 4 e 5 a remoção completa dos *Coliformes Totais* e *Escherichia coli*. Observa-se que uma membrana cerâmica de microfiltração pode ser utilizada para descontaminar águas contendo bactérias nocivas à saúde, tornando-as dentro dos padrões de potabilidade previstos pela PORTARIA N° 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011 do Ministério da Saúde.

Pesquisas realizadas por Pelegrin, 2004, envolvendo microfiltração tangencial com membrana de material cerâmico, monotubular com 7 canais e diâmetro de poro de 0,20 µm no tratamento terciário de efluente doméstico tratado pelo processo de lodos ativados, se obteve permeado de boa qualidade, reduzindo DQO, sólidos suspensos, turbidez, cor e coliformes totais e fecais.

Em Anexo I encontram-se os laudos técnicos emitidos pelo Laboratório de Referência em Dessalinização, referente à potabilidade da água em questão, após a operação de filtração por membrana cerâmica.

4.4. SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA/ RESINA TROCADORA DE ÍONS)

O sistema híbrido, conforme apresentado no Capítulo 3, é composto da membrana cerâmica recheada com 8,5 g de resina trocadora iônica. As amostras de água sintética tratadas foram analisadas quanto ao comportamento do fluxo do permeado, nas pressões de entrada de (1,0, 2,0 e 3,0) bar; tempo de residência;

taxa de redução da condutividade; totais de sólidos dissolvidos e análises físico-químicas.

O fluxo para a pressão de 3,0 bar foi a que mais produziu água permeada, porém a qualidade da água, quando comparada à pressão 1,0 bar, foi menor.

A Tabela 6 apresenta parâmetros físicos da água (condutividade, cor, turbidez), após operação através do sistema híbrido (membrana cerâmica/ RTI), e a redução desses valores após permeação. O volume de resina trocadora iônica utilizada foi de 0,0102 L. Os dados referentes à Tabela 7 encontram-se no Anexo E.

Tabela 6 - Produção e qualidade do permeado do sistema híbrido em função da pressão de operação. Dados da água de alimentação para comparação: Condutividade (k) = 855 μ S/cm, pH = 7,2, cor = 35,0; Turbidez (T). = 8,9 uT e TDS = 487 mg/L.

P₀ (bar)	1,0	2,0	3,0
τ (s)	15,55	11,73	10,11
Q_P (L/h)	2,29	2,94	3,58
J_P (L/h.m²)	229,42	294,20	357,92
pH	7,1	7,1	6,2
k (μs/cm)	394	421	543
T (uT)	2,2	2,2	3,4
TDS (ppm)	221,9	229,2	363,1
Taxa remoção de k (%)	53,9	50,8	36,5
Taxa remoção de TDS (%)	54,4	52,9	25,4
Taxa remoção de Cor (%)	71,4	71,4	71,4
Taxa remoção de T (%)	75,3	75,3	61,8

Observando a Tabela 6, verificou-se que as variáveis como: Vazão, Condutividade, Turbidez e TDS aumentaram com o aumento da pressão de

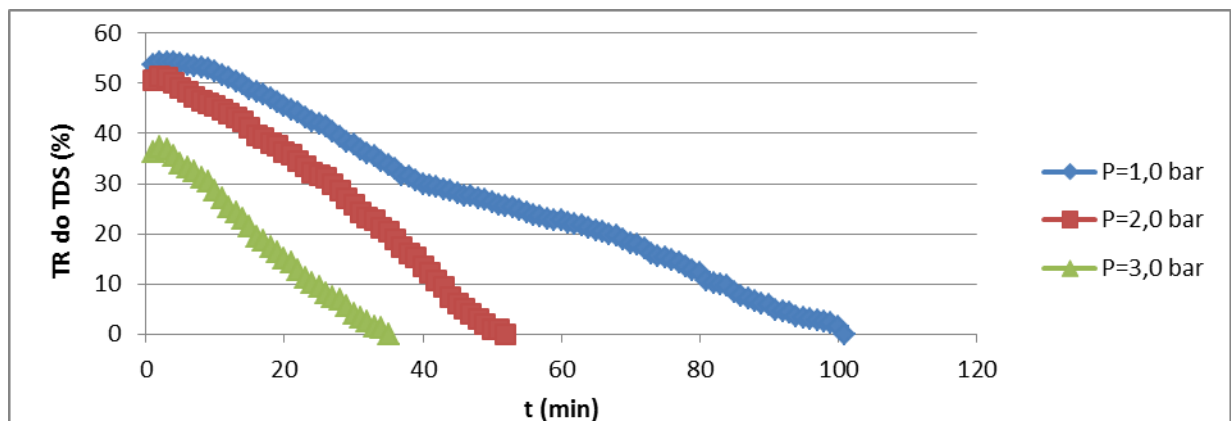
operação, pois quanto maior a vazão, menor o tempo de residência, conseqüentemente, menor será a remoção de íons presentes na água, comparadas à água de alimentação, isso explica o aumento da condutividade e do TDS.

Os dados obtidos para cor se mostraram praticamente constantes em função da pressão de operação, todavia, observou-se que a remoção da turbidez tende a diminuir com o aumento da pressão, esse fato procede em função da passagem de substâncias insolúveis, através dos poros da membrana. À medida que a pressão é aumentada, o tempo de residência (τ) diminui, pois as vazões são maiores devido à força maior aplicada da água sob a superfície da membrana, fazendo com que mais água a permeie. Isso ocorre pelo fato dos tempos de bateladas serem menores para as maiores pressões, pois as resinas trocadoras de íons saturavam mais rapidamente devido a vazão ser maior.

A Figura 35 apresenta a taxa de redução do TDS no sistema em função do tempo. Observou-se que o melhor resultado foi alcançado na pressão de operação 1,0 bar, devido o maior tempo de residência da água no sistema.

Pode-se observar ainda que o tempo de saturação da resina, operando à pressão de 3,0 bar, chega a ser 35% menor comparada à pressão 1,0 bar, devido a vazão ser 54% maior para esta. Os dados relativos à Figura 35 encontram-se no Anexo E.

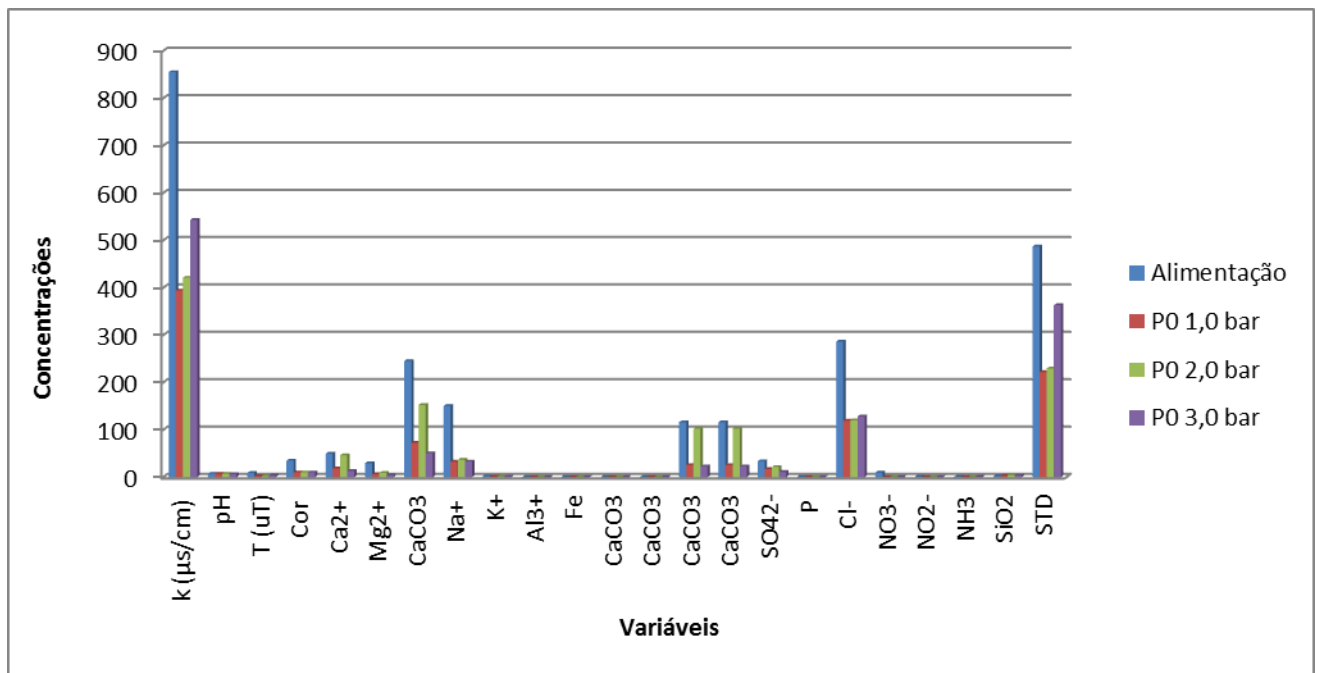
Figura 35 - Variação da Taxa de Remoção do TDS da água sintética do sistema híbrido membrana cerâmica/ RTI em função da pressão de operação.



Através dos dados coletados, notou-se que o sistema com membranas cerâmicas se mostrou eficaz, e com perspectivas de estudos para dimensionar outros sistemas que requerem uma demanda maior, em termos de produção e qualidade de água obtida.

A Figura 36 apresenta o comportamento das concentrações dos componentes presentes na água de alimentação do sistema híbrido, objetivando avaliar o efeito das pressões e do tempo de residência sob a remoção dos sais presentes na água de alimentação. Observa-se que a concentração de todos os íons presentes na água do permeado foi aumentado, em função da pressão de operação. Os valores referentes à Figura 36 estão no Anexo E, na Tabela E.4.

Figura 36 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água sintética do sistema híbrido membrana cerâmica/ RTI em função da pressão de operação.



O sistema mostrou-se eficiente na purificação de águas e conseqüentemente abrandar ou remover os sais presentes no meio aquoso, como mostrou estudos realizados por Trevisoli (2010) e Macêdo (2014) em que Trevisoli (2010) utilizou o processo de microfiltração tangencial com membranas tubulares cerâmicas para clarificar vinhaça e Macêdo (2014), para tratamento de água com turbidez, concluindo que o processo removeu partículas em suspensão, reduziu a turbidez e a cor do permeado.

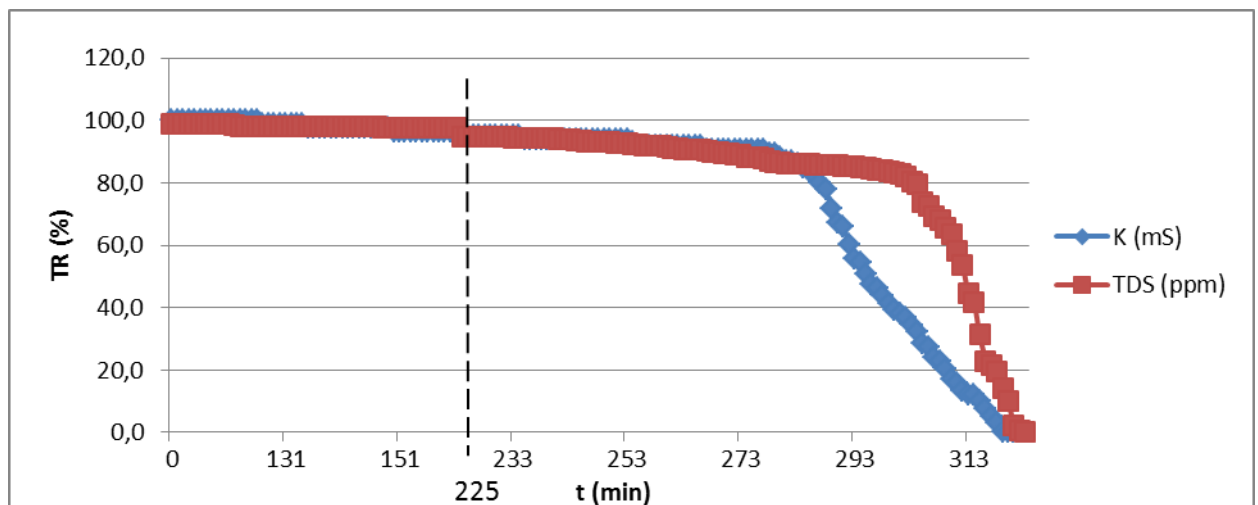
No Anexo J, encontram-se os laudos técnicos emitidos pelo Laboratório de Referência em Dessalinização, referente à potabilidade da água em questão, após a operação de filtragem por membrana cerâmica.

4.5. SISTEMA HÍBRIDO COM MEMBRANA CERÂMICA ACOPLADA A UMA COLUNA COM 30,0g DE RESINA OPERANDO COM ÁGUA SINTÉTICA

Foi acoplada uma coluna de resina trocadora iônica com o sistema de membrana cerâmica, objetivando estudar o efeito da coluna recheada com resina trocadora de íons na qualidade da água permeada, após a passagem pela membrana cerâmica.

A coluna de resina continha 30,0 g de resina trocadora iônica. A batelada durou até a saturação da resina, a qual foi estudada através da TR% a partir da condutividade elétrica e do TDS do permeado. A Figura 34 mostra a TR% em função do tempo de operação. Os dados relativos à Figura 37 encontram-se no Anexo F.

Figura 37 - Variação da taxa de redução (%) da condutividade elétrica e do TDS em função do tempo para um sistema híbrido membrana cerâmica/coluna recheada com 30g de RTI e pressão de operação 1,0 bar.

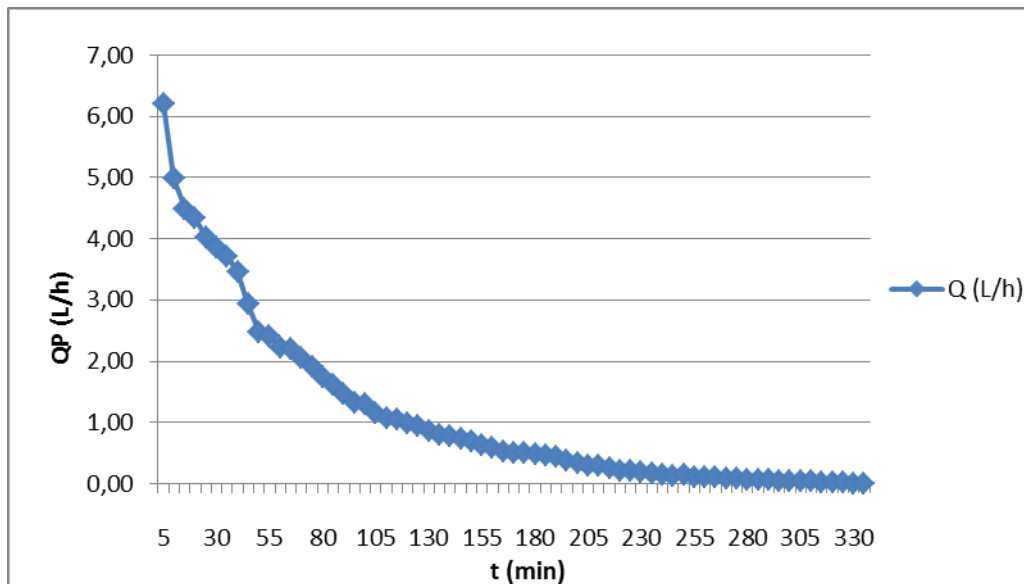


Observou-se que até 225 minutos a TR% foi 100%. Acima desse período a TR começou a diminuir gradativamente até aproximadamente 80% de seu valor

inicial. A partir desse estudo, pode-se determinar o momento adequado para limpeza química das resinas.

A Figura 38 apresenta, com o passar do tempo, a variação da vazão do permeado com o tempo de operação. Observa-se que a vazão apresenta um decaimento exponencial ao longo da permeação, teve seus poros bloqueados pelas substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água de alimentação (sintética), tendendo a quase zero de vazão nos 330 minutos de batelada.

Figura 38 - Variação da vazão do permeado pelo tempo para o sistema contendo água sintética, em série com uma coluna de RTI contendo 30g de resina na pressão de entrada de 1,0 bar.



As Figuras 39 e 40 apresentam as concentrações da alimentação e permeado. A primeira figura, na pressão de entrada, 1,0 bar, para o sistema híbrido (membrana/RTI); e a segunda figura, às pressões de operação (1,0; 2,0 e 3,0) bar, para o sistema híbrido (Membrana cerâmica/Coluna recheada com RTI).

Os valores referentes à Figura 39 e 40 estão no Anexo F, na Tabela F.2.

Figura 39 – Análises físico-químicas do sistema híbrido (Membrana cerâmica/RTI).

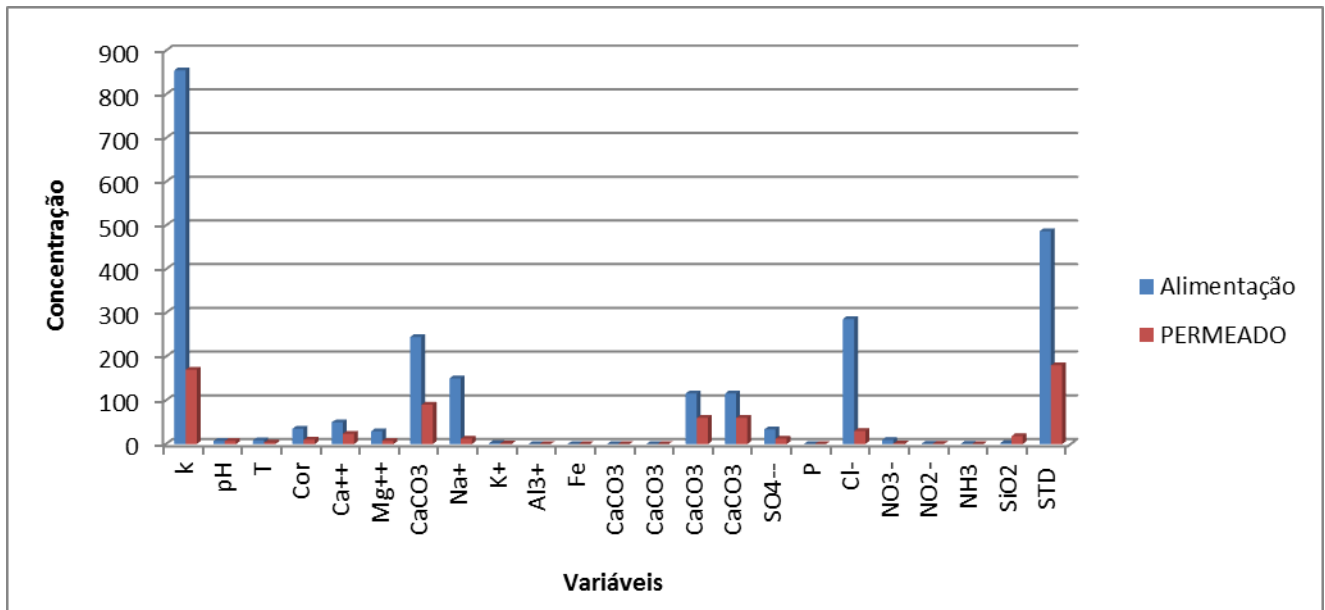
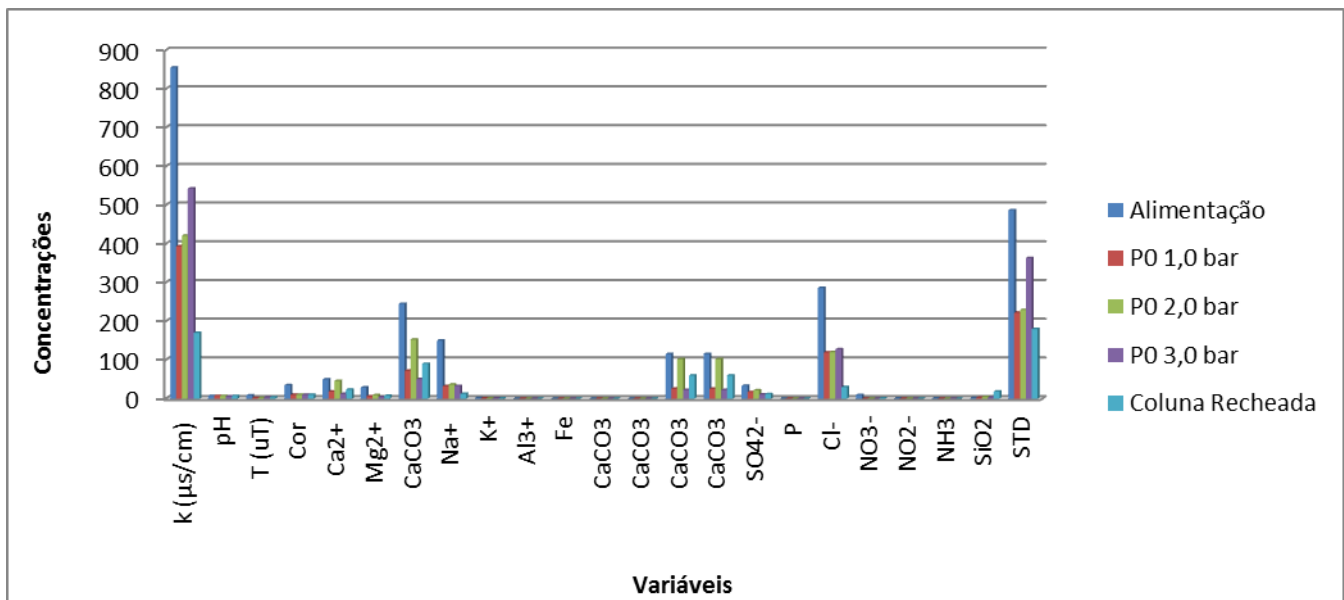


Figura 40 - Análises físico-químicas do sistema híbrido (Membrana cerâmica/RTI e Membrana cerâmica/ Coluna recheada com RTI).



Essas figuras apresentam valores interessantes, pois apresenta uma remoção média de quase 60% na maioria dos íons presentes exceto para íons trivalentes e bivalentes, que apresentam uma redução menor. Comportamento similar foi visto na etapa anterior. Contudo, comparado os resultados com o sistema anterior que contém quase 30% a menos de resina trocadora iônica, obteve-se uma melhora

significativa na remoção dos íons presentes da água, apresentando uma taxa de redução de até aproximadamente 50% maior.

4.6. PROJETO DE UM SISTEMA HÍBRIDO COM MEMBRANAS CERÂMICAS EM PARALELO

Para melhor análise da eficácia do sistema híbrido (membrana cerâmica/ RTI) apresentado, foram feitos arranjos diferentes de elementos de membranas cerâmicas.

Numa primeira proposta, foi projetado um sistema com até 4 membranas cerâmica recheadas com 8,5 g resina trocadora iônica, distribuídas em paralelo (Figura 41), para observar o fluxo do permeado a partir dos dados vistos na Tabela 7.

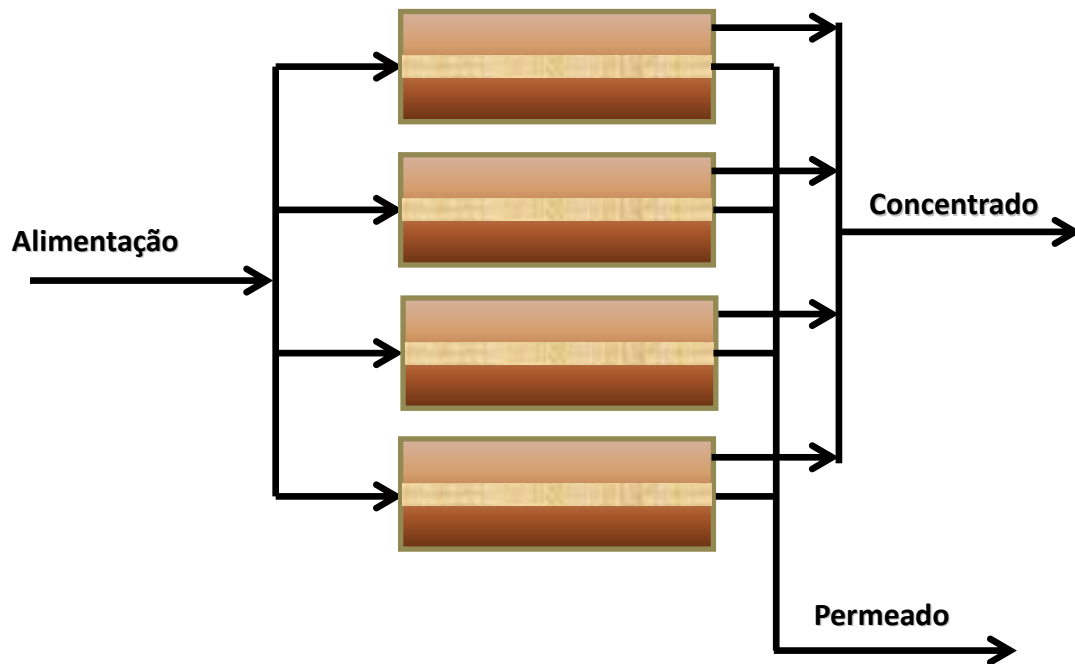
Na Tabela 7 são apresentados valores médios das vazões de alimentação, permeado e concentrado em função da pressão de operação, com dados da Tabela 6. Foi utilizada a mesma água sintética utilizada nas outras fases do presente projeto e operando com pressões de (1,0, 2,0 e 3,0) bar.

Tabela 7 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 1 membranas cerâmicas/ RTI, em função da pressão de operação.

P_0 (bar)	Q_A médio (L/h)	Q_P médio (L/h)	Q_C médio (L/h)
1,0	5,01	2,29	2,72
2,0	8,22	2,94	5,28
3,0	11,69	3,58	8,11

As Tabelas 8 a 10 observam-se os valores das vazões referentes aos valores médio das vazões da alimentação, permeado e concentrado, para o sistema contendo 2, 3 e 4 membranas cerâmicas recheadas com resina trocadora iônica, respectivamente, colocadas em paralelo.

Figura 41 – Ilustração do sistema híbrido (membranas cerâmicas/ RTI) em paralelo.



Fonte: (Própria).

Tabela 8 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 2 membranas cerâmicas/ RTI colocadas em paralelo, em função da pressão de operação.

P_0 (bar)	Q_A médio (L/h.m ²)	Q_P médio (L/h.m ²)	Q_C médio (L/h.m ²)
1,0	10,02	4,58	5,44
2,0	16,45	5,88	10,57
3,0	23,38	7,15	16,23

Tabela 9 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 3 membranas cerâmicas/ RTI colocadas em paralelo, em função da pressão de operação.

P_0 (bar)	Q_A médio (L/h.m ²)	Q_P médio (L/h.m ²)	Q_C médio (L/h.m ²)
1,0	15,05	6,88	8,17
2,0	24,69	8,83	15,86
3,0	35,09	10,74	24,35

Tabela 10 – Vazões do permeado, alimentação e concentrado para o sistema híbrido com 4 membranas cerâmicas/ RTI colocadas em paralelo, em função da pressão de operação.

P_0 (bar)	Q_A médio (L/h)	Q_P médio (L/h)	Q_C médio (L/h)
1,0	20,08	9,18	10,90
2,0	32,92	11,77	21,15
3,0	46,79	14,32	32,47

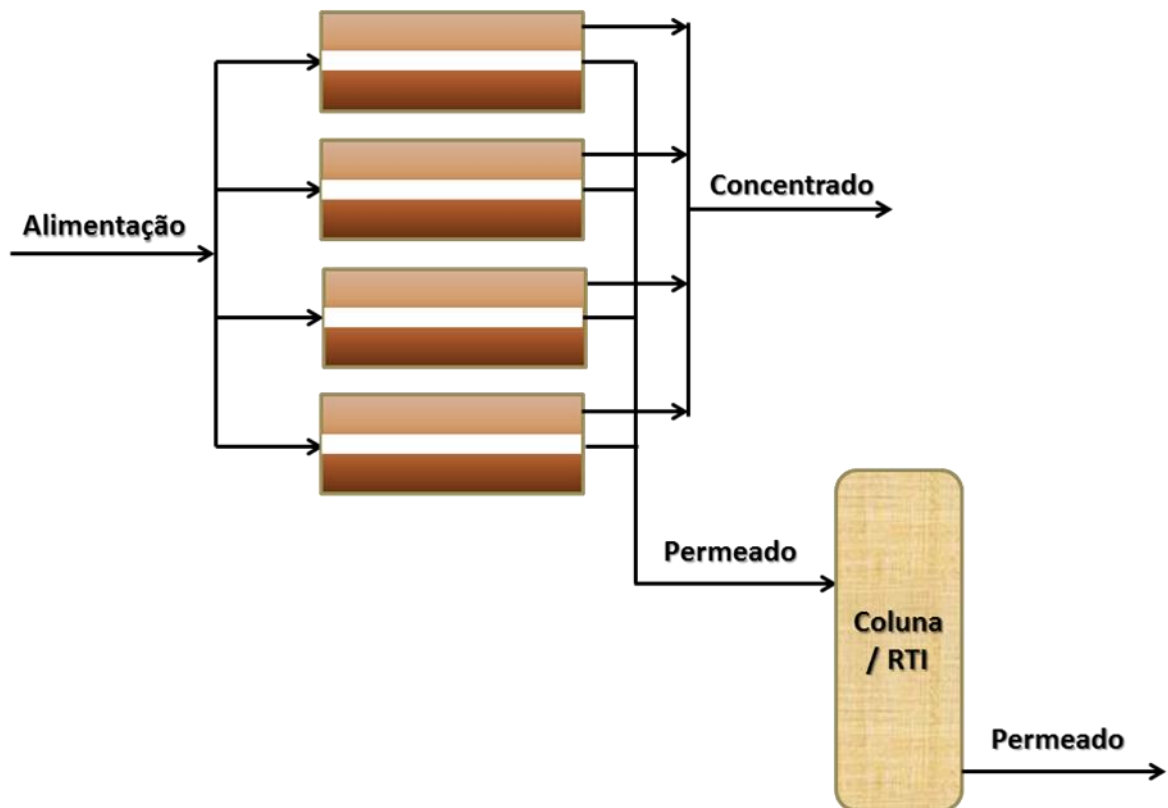
Na Tabela 11 encontram-se os valores das vazões médios dos permeados encontrados nas Tabelas 7 a 10. Pode-se observar que, à medida que se aumenta o número de membranas em paralelo e a pressão de operação, também se aumenta a vazão do permeado, este com as mesmas características físico-químicas (ver Anexo E) das obtidas através do sistema híbrido com uma membrana recheada com RTI.

Tabela 11 – Valores médios dos fluxos do permeado operando a 1,0 bar, 2,0 bar e 3,0 bar para um sistema com até 4 membranas recheadas com RTI, em paralelo.

Número de membranas em paralelo	Q_P médio (L/h)	Q_P médio (L/h)	Q_P médio (L/h)
	$P_0 = 1,0$ bar	$P_0 = 2,0$ bar	$P_0 = 3,0$ bar
1	2,29	2,94	3,58
2	4,59	5,88	7,16
3	6,88	8,83	10,74
4	9,18	11,77	14,32

Uma segunda proposta, foi projetado um sistema com até 4 membranas cerâmicas sem recheio, dispostas em paralelo, sendo acopladas a uma coluna contendo 120 g de resina trocadora iônica, como visto na Figura 42, operando na pressão de 1,0 bar (melhor pressão na caracterização) com água.

Figura 42 – Ilustração do sistema híbrido (membranas cerâmicas/ Coluna recheada com RTI), em paralelo.



Fonte: (Própria).

A Tabela 12 apresenta o valor médio da vazão do permeado na melhor pressão da caracterização, 1,0 bar. Na Tabela 13, estão as médias da vazão do permeado na pressão de 1,0 bar, para o sistema contendo, 2, 3 e 4 membranas cerâmicas sem recheio de resina trocadora de íons em paralelo, acopladas a uma coluna recheada com resina trocadora iônica, como mostra a Figura 49.

Tabela 12 – Valor médio da vazão do permeado para membrana cerâmica sem recheio de RTI, em função da melhor pressão de operação da caracterização, 1,0 bar.

P_0 (bar)	Q_P médio (L/h)
1,0	5,67

Tabela 13 – Vazões do permeado para 1, 2,3 e 4 membranas em paralelo, acopladas a uma coluna recheada com resina trocadora iônica, cujo fluxo médio, operando a 1,0 bar, é de 262,30 L/h.m².

Número de membranas em paralelo	Q_P médio (L/h) P₀ = 1,0 bar
1	5,67
2	11,34
3	17,01
4	22,68

Para fazer uma melhor comparação dos dados obtidos nas duas propostas sugeridas, tem-se a Tabela 14.

Tabela 14 – Valores médios das vazões do permeado operando a 1,0 bar para um sistema com até 4 membranas, sem recheio, em paralelo e acoplada com uma coluna recheada com resina trocadora iônica.

Número de membranas em paralelo	Q_P médio (L/h) P₀ = 1,0 bar Membranas Recheadas	Q_P médio para a coluna recheada (L/h) P₀ = 1,0 bar
1	2,29	5,67
2	4,59	11,34
3	6,88	17,01
4	9,18	22,68

Observando a Tabela 14, percebe-se um aumento significativo na vazão do permeado para o sistema híbrido (membranas cerâmica/ Coluna recheada com RTI) em paralelo, aumentando-se o número de membranas sem recheio de RTI em paralelo.

Quanto maior o número de membranas cerâmicas de microfiltração, sem recheio de RTI, em paralelo, acopladas a uma coluna recheada com RTI, maior será a vazão do permeado.

Vale ressaltar ainda, a qualidade da água quanto aos parâmetros físico-químicos, obtida para o segundo sistema proposto (membranas cerâmicas em paralelo acopladas a coluna recheada com RTI) foi melhor do que para o sistema 1 (membrana cerâmica recheada e dispostas em paralelo) como pode ser visto na Tabela 14.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos em todas as fases desse sistema de tratamento de água utilizando membranas cerâmicas monotubulares não hidratadas e resina trocadora iônica conclui-se que:

- ✓ O sistema híbrido apresentou ótima eficiência em relação à remoção dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água, tornando-a apta a reutilização e até ao consumo, removendo completamente bactérias nocivas à saúde humana, como *Escherichia coli* e as bactérias do grupo *Coliformes Totais*.
- ✓ Observou-se também que parâmetros como: cor e turbidez são variáveis independentes da pressão de operação, pois elas foram removidas ou diminuídas após passagem da água de alimentação pela membrana cerâmica e resina trocadora iônica.
- ✓ A pressão promove a velocidade de permeação no meio logo ela se torna uma variável que controla o processo de filtração por membranas microporosas e também o uso da membrana não hidratada é um fator significativo na obtenção de fluxos maiores em todas as pressões.
- ✓ O tempo de residência da água na resina é um fator relevante, no que diz respeito à remoção completa ou não de sais presentes na água de alimentação, e varia com a vazão. Quanto maior a vazão, menor será o tempo de residência.
- ✓ A remoção dos sais foi de quase 70% dos valores referentes à água de alimentação (sintética).
- ✓ Todos os parâmetros estudados nas análises físico-químicas, para todas as pressões de operação, estão de acordo com os parâmetros de potabilidade do Ministério da Saúde.
- ✓ O tempo de saturação de resina diminuiu com o aumento da pressão de operação.

- ✓ No sistema com membrana cerâmica recheada com RTI, a pressão de operação que melhor removeu íons da água de alimentação foi a de 1,0 bar, removendo, em média, 71,9% dos íons, para 56% na pressão 2,0 bar e 67% na de 3,0 bar.
- ✓ O tempo de residência da água na resina, é um fator relevante, no que diz respeito à remoção de íons presentes na água de alimentação, e varia com a vazão, quanto maior a vazão, menor será o tempo de residência, nos casos estudados.

CAPÍTULO 6

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Estudar o sistema de membranas cerâmicas e sistema híbrido com águas "in naturais" (esgoto, efluentes industriais), objetivando estudar seu desempenho quanto ao fluxo do permeado e a remoção de contaminantes da água;
- ✓ Utilizar uma área de membrana maior e verificar até que pressões é possível remover bactérias e sais da água, sem o uso da resina trocadora iônica;
- ✓ Utilizar membranas cerâmicas em paralelo em grande escala, para observar a produtividade desse sistema em águas de esgoto;
- ✓ Buscar fazer uso das membranas cerâmicas para fins de pré-tratamento físico para resinas e/ou membranas poliméricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALICIEO, T. V. R., MENDES, E. S., PEREIRA, N. C., DE BARROS, S. T. D., INNOCENTI, T. D., ALVES, J. A. Análise do uso da membrana cerâmica de 0,2 µm na clarificação de cerveja. Maringá - PR, v. 30, n. 2, p. 181-186, 2008.

ALMEIDA, A. M., A Resina de Troca Iônica Como Extrator Multielementar em Análise de Solos Para Fins de Fertilidade. Dissertação (Mestrado no Instituto de Química, Departamento de Química Analítica), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 122p. 1999.

ALMEIDA, S.A.; JUNIOR, J.S.C.; CARVALHO, A.A.; MENEZES, P.S.F. Melhoria de Desempenho Ambiental em Uma Unidade De Tratamento de Água de Uma Indústria. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., Maceió, 2002.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington: APHA, 937p. 1998.

ANADÃO, P. Ciência e Tecnologia de Membranas. Artibler Editora Ltda. São Paulo, SP, 2010.

ARAÚJO, A.L.C.; FONSECA, A.L.; VALE, M.B.; FERNANDES, A.K.S.; GADELHA, C.P.F. Avaliação dos Sistemas de Dessalinização de Águas no Semi-Árido no Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande, 2005.

BAKER, R. W. Membrane Technology and Applications. 2nd Edition John Wiley e Sons Ltd. 2004.

BARBOSA, A. S., BARBOSA, A. S., RODRIGUES, M. G. F. Avaliação de Membranas Cerâmicas (α-ALUMINA E γ-ALUMINA) em Sistema Contínuo de Separação Emulsão ÓLEO/ÁGUA. X Encontro Brasileiro Sobre Adsorção. 27 a 30 de Abril de 2014. Guarujá - SP. 2014.

BENFER, S.; POPP, U.; RICHTER, H. ; SIEWERT, C. ; TOMANDL, G.; Development and Characterization of Nanofiltration Membranes, Separation e Purification Technology, v. 22, p. 231-237, Germany, 2001.

BETANCOURT, W. Q.; ROSE, J. B. Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Veterinary Parasitology* 126, 219-234, 2004

BOTTINO, A.; CAPANNELLI, C.; DEL BORGHI, A. Water treatment for drinking purpose: ceramic microfiltration application, *Desalination*, v. 141, p. 75–79, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 518 de 25 de março de 2004. Normas e Padrão da potabilidade de água destinada ao consumo humano. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, D.F., seção 1, p.266. 2004.*

CHEN, J. C.; LI, Q.; ELIMELECH, M. In situ monitoring techniques for concentration polarization and fouling phenomena in membrane filtration. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 107, p. 83-108, 2004.

CONSULPLAN - Vale do São Francisco. Água contaminada: um risco evidente. Disponível em: <http://consultoriaconsulplan.blogspot.com.br/2014/07/agua-contaminada-um-risco-evidente.html>. Acessado em: 03/12/2014.

DAVID, P. R. B. S.; MENDES, A. C. R.; CUNHA NETO, A.; COSTA, S. M. S. Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais e de abastecimento de alguns pontos da cidade do Recife, PE: um relatório de experiência de alunos do mestrado em nutrição da UFPE. *Hig. Alim.*, v. 13, p. 36- 41, 1999.

DE OLIVEIRA, F. F. Avaliação de filtros lentos de areia como pré-tratamento para o controle de biofouling em plantas de osmose reversa aplicadas na dessalinização de água do mar. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

DELCOLLE, R. Projeto e manufatura de membranas cerâmicas via prensagem isostática para separação de emulsões óleo vegetal/água por microfiltração tangencial. São Carlos. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

DIEL, J. L. Caracterização funcional de membranas cerâmicas de micro e ultrafiltração. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ELLOUZE, E.; TAHRI, N.; AMAR, R. B. Enhancement of textile wastewater treatment process using Nanofiltration. *Desalination*, 2011.

FERREIRA, W. B. Solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano em Comunidades difusas: Monitoramento e controle de qualidade de água. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.17, p. 651-660, 2001.

GALJAARD, R. J. H.; KOSTAKOGLU, N.; HOOGEBOOM, J. J. M.; BREEDVELD, G. J.; VAN DER LINDE, H. C.; HOVIUS, S. E. R.; OOSTRA, B. A.; SANDKUIJL, L. A.; AKARSU, A. N.; HEUTINK, P. X-linked recessive inheritance of radial ray deficiencies in a family with four affected males. Europ. J. Hum. Genet. 9: 653-658, 2001.

GAO, W.; LIANG, H.; MA, J.; HAN, M.; CHEN, Z.; HAN, Z.; LI, G. Membrane fouling control in ultrafiltration technology for drinking water production: A review. Desalination, v. 272, p. 1-8, 2011.

GEAFILTRATION. Nanofiltração. Disponível em: <<http://www.geafiltration.com/portuguese/tecnologia/nanofiltracao.htm>>. Acesso em: 18/09/2014.

GHIGGI F. F. Tratamento de águas para consumo doméstico com membranas de ultrafiltração. Trabalho de diplomação em Engenharia Química, UFRS, Rio Grande do Sul - RS, 2011.

GIRARD, B; FUKUMOTO, L. R. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 40, n. 2, p. 91-157, 2000.

GOMES, M. C. S., FERREIRA, M. Z., TONELLI, V. P., BARROS, S. T. D., BARROS, S. T. D., PEREIRA, N. C. Aplicação de microfiltração com membranas cerâmicas no processo de separação de biodiesel e glicerina. Maringá - PR, v. 33, n. 4, p. 415-419, 2011.

GONÇALVES C. Falta de Água de qualidade mata uma criança a cada 15 segundos no mundo. Agência Brasil, Brasília, 22 mar. 2013.

GREGHI, S. Q. Avaliação da eficiência de métodos rápidos usados para detecção de coliformes totais e coliformes fecais em amostras de água, em comparação com a técnica de fermentação em tubos múltiplos. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS. Araraquara., 2005.

GUIGUI, C., ROUCH, J.C., DURAND-BOURLIER, L., BONNELYE, V., APTEL, P., Impact of Coagulation Conditions on the in-line Coagulation/UF Process for Drinking Water Production. Els. Sc. – Desalination, 147: 95-100, 2002

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação com Membranas. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1997.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de Separação com Membranas. Programa de Engenharia Química/ COPPE/UFRJ, p. 165. 2006.

HERZBERG, M.; BERRY, D.; RASKIN, L. Impact of microfiltration treatment of secondary wastewater effluent on biofouling of reverse osmosis membranes. Water Research, v. 44, p. 167-176, 2010.

HSEIH, H. P., Inorganic Membranes for Separation and reaction, Elsevier Science B.V., USA, 1996.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>
Acessado em: 09/12/2014.

IDEXX LABORATORIES. Disponível em: <<http://al.idexx.com/agua/>>. Acesso em: 13 jan. 2005.

INORGAN, http://inorgan221.iq.unesp.br/quimgeral/experimental2/q_ger_exp_2sem_3.html, acessado em 25/09/2013.

JÖNSSON, A.; WALLBERG, O. Cost estimates of kraft lignin recovery by ultrafiltration. Desalination, v. 237, p. 254–267, 2009.

JORNALISMO CIENTÍFICO. Blog da Disciplina Jornalismo Científico, do curso de Jornalismo da UFOP. ÁGUA CONTAMINADA: UM RISCO EVIDENTE. Caroline Gomes e Hiago Maia Disponível em: <https://cientificojornalismo.wordpress.com/tag/icsa/>. Acessado em: 03/12/2014.

- KOLTUNIEWICZ, A.B.; FIELD, R.W. Process factors during removal of oil-water emulsions with cross-flow microfiltration. *Desalination*, v. 105, n. 1-2, p. 79-89, 1996.
- KONEMAN, E. W.; ALLEN, S. D.; JANDA, W. M.; Schreckenberger, P. C.; Winn, W. C. *Diagnóstico Microbiológico: Texto e Atlas colorido*. 5a ed., Ed. MEDSI, 2008.
- LAPOLLI, F. R.; CORA, L. A. e RECIO, M. Á. L. Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção. *DAE*. p. 10-17.2011.
- LI, M.; WU, G.; GUAN, Y.; ZHANG, X. Treatment of river water by a hybrid coagulation and ceramic membrane process. *Desalination*, v. 280, p. 114-119, 2011.
- MACEDO, C. R. Estudo de um Sistema Híbrido de Tratamento de Água com Membrana Cerâmica e Resina Trocadora Iônica. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, 2014.
- MAESTRI, R. S. Biorreator à Membrana Como Alternativa para o Tratamento de Esgotos Sanitários e Reuso da Água. Florianópolis : s.n., 2007.
- MARSHALL, A. D.; DAUFIN, G. Physico-chemical aspects of membrane fouling by dairy fluids. Fouling and cleaning in pressure driven membrane processes, International Dairy Federation, cap. 1, p. 8-35, 1995.
- MENDHAM, J.; DENNEY, R.C.; BARNES, J.D.; THOMAS, M.J.K. Vogel: Análise Química Quantitativa. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 462 p. 2002.
- MONTEIRO, G. S. Arranjos de membranas de Osmose Inversa: avaliação e comparação do desempenho de pequenos sistemas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. UFCG, Campina Grande – PB, 2009.
- MORAES, C. S.; CARDOSO, D. E. V. Separação por Membrana. Universidade de Mogi das Cruzes. Mogi das Cruzes – SP. 2010.
- MUHAMMAD, N., SINHA, R.; KRISHNAN, E.R.; PATTERSON, C.L. Ceramic filter for small system drinking water treatment evaluation of membrane pore size and importance of integrity monitoring, *Journal Environmental Eng*, v. 135, p. 1181–1191, 2009.

MURRAY, P. R. Microbiologia Médica. 4ªed. [S.l.]: Elsevier, 2004.

NAKATSUKA, S.; NAKATE, I.; MIYANO, T. Drinking water treatment by using ultrafiltration hollow fiber membranes. *Desalination*, v. 106, p. 55-61, 1996.

NATURALTEC, Filtração de água com resina de troca iônica. Disponível em: www.naturaltec.com.br/Filtro-desmi-abrandamento-resinas-troca-ionica.html. Acessado em julho de 2013.

NOBLE, R. D.; STERN, S. A. Membrane Separations Technology – Principles and Applications. Edited by NOBLE, R. D., STERN, S. A., p. 178, 1995

PELCZAR JR., M.J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. Microbiologia: conceitos e aplicações. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 524p. 1997.

PELEGRIN, D. C. MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL DE EFLUENTE. Florianópolis : s.n., 2004.

PESSOA, T. A. Estudo do desempenho do sistema de nanofiltração em águas salobras. Trabalho de Conclusão de Curso, UEPB, Campina Grande – PB, 2010.

PETER-VARBANETS, M.; ZURBRU, C.; SWARTZ, C.; PRONK, W. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*, v. 43, p. 245-265, 2009.

POHL, P. Application of Ion-Exchange Resins to The Fractionation of Metals in Water, *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 25, No. 1, 2006.

PORTER, M. C. Handbook of industrial membrane technology. Reprint Edition. Noyes Publications. New Jersey, USA. 1990.

PSOCH, C. et al. Waste oil conditioning via microfiltration with ceramic membranes in cross flow. *Journal of Membrane Science*, v. 245, n. 1-2, p. 113-121, 2004.

QUEIROZ, V. M. S. Estudo experimental do escoamento e da concentração de mistura no processo de filtração tangencial de suspensões macromoleculares. 2004.119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

RANDON, J., JULBE, A., DAVID, P., JAAFARI, K., ELMALEH, S. Computer Simulation of Inorganic Membrane Morphology, *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 161, p. 384-388, 1993.

RAY, B. *Fundamental food microbiology*. Boca Raton: CRC Press, 516p. 1996.

REDE BRASIL ATUAL. São Paulo vive pior crise hídrica da história no Dia Mundial da Água. Disponível em: <http://www.redebrasilatual.com.br/cidadania/2014/03/sao-paulo-vive-pior-crise-hidrica-da-historia-no-dia-mundial-da-agua-7672.html>. Acessado em: 28/11/2014.

Revista e Portal Meio Filtrante. Ano V - Edição nº 25 - Março/ Abril de 2007. TRATAMENTO COM RESINAS TROCADORAS DE ÍONS. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?id=290>, acessado em: 14/10/2014.

RIPPERGER, S.; ALTMANN, J. Crossflow microfiltration – State of the art. *Separation and Purification Technology*, n 26, p. 19 – 31, 2002.

ROSA D. S., SALVINI V. R., PANDOLFELLI V. C., Processamento e avaliação das propriedades de tubos cerâmicos porosos para microfiltração de emulsões, *Cerâmica*, v. 52, p. 167-171, 2006.

ROTA BRASIL OESTE (RBA). Rota Brasil Oeste. [Online] Junho de 2010. <http://www.brasilooeste.com.br/noticia/1744/recursos-hidricos>.

SANTOS, L. R. B. dos. Membranas para ultrafiltração a base de dióxido de estanho preparadas pelo processo sol-gel. 1999. 217 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1999.

SCAPINI, L. Avaliação do Desempenho da Osmose Reversa e da Troca Iônica para Tratamento de Efluente de Curtume (Aimoré Couros Ltda – Encantado) Visando a Reutilização da Água. Dissertação. Pós-Graduação Sistemas e Processos Industriais. Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2007.

SCOTT, K. *Handbook of industrial membranes*. 1st ed. Oxford: Elsevier Science Publishers Ltd., 1995.

SILVA, F. A., LIRA, H. L., Preparação e caracterização de membranas cerâmica de cordierita. *Cerâmica*, São Paulo. v 52. n 324. p 276-282. 2006.

SILVA, S.K. Sistema de Dessalinização da comunidade de Uruçu – São João do Cariri – PB: Análises, Monitoramento e Avaliação de um Misturador para o uso do Concentrado. Dissertação de mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

SILVA, J. I. S., SILVA, S. K., FRANÇA, K. B. Avaliação de um Sistema Híbrido: Membranas Eletrodialíticas/Resinas Para Fins de Produção de Águas de Baixa Condutividade Elétrica. VI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. UFCG. Campina Grande - PB. 2009

SONDHI, R.; BHAVE, R.; JUNG, G. Applications and benefits of ceramic membranes. Membrane Technology, p. 5-8, Novembro, nº 11, 2003.

TAMURA, H., Theorization on ion-exchange equilibria: activity of species in 2-D phases, Journal of Colloid and Interface Science, 279, p 1–22, 2004.

TREVISOLI, A. M. D. S. Estudo Experimental da Microfiltração tangencial com Membrana Cerâmica Aplicada na Clarificação da Vinhaça. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

TRINDADE, R. S. Caracterização de membranas poliméricas aplicadas ao processo de microfiltração. p. 12. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia de Materiais. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre – RS. 2010.

USHIKUBO, F. Y. Efeito do tratamento enzimático, da velocidade tangencial e da pressão transmembrana na microfiltração da polpa diluída de umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

VLADISAVLJEVIĆ, G.T., VUKOSAVLJEVIĆ, P., VELJOVIĆ, M.S., Clarification of red raspberry juice using microfiltration with gas backwashing: a viable strategy to maximize permeate flux and minimize a loss of anthocyanins, Food and Bioproducts Processing, 2013.

WALLBERG, O.; JARWON, A. Wimmerstedt, R. Ultrafiltration of kraft black liquor with a ceramic membrane. Desalination, v. 156, p. 145-153, 2003.

YANG, C. et al. Preparation and application in oil-water separation of ZrO₂/□-Al₂O₃ MF membrane. *Journal of Membrane Science*, v. 142, p. 235-243, 1998.

ZAHID, A. *Reverse osmosis: membrane technology, water chemistry and industry applications*. London: Chapman & Hall, 1993.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO A – PADRÃO MICROBIOLÓGICO DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.

Tabela A. 1 - Padrão microbiológico da água para consumo humano.

Tipo de Água		Parâmetro		VMP ⁽¹⁾
Água para o consumo humano		Escherichia coli ⁽²⁾		Ausência em 100 mL
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliforme Total ⁽³⁾		Ausência em 100 mL
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	Escherichia coli		Ausência em 100 mL
		Coliformes Totais ⁽⁴⁾	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês

Fonte: Ministério Público. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011

NOTAS:

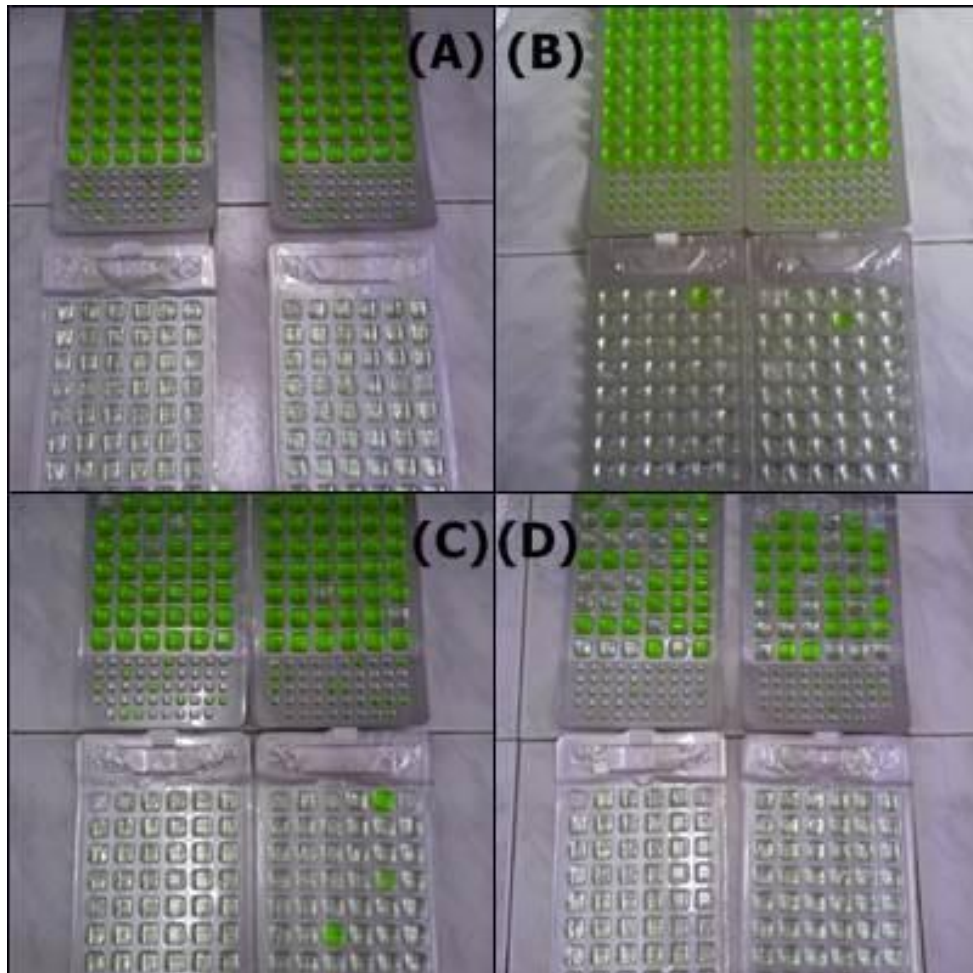
- (1) Valor máximo permitido.
- (2) Indicador de contaminação fecal.
- (3) Indicador de eficiência de tratamento.
- (4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

ANEXO B

ANEXO B – CONTAGEM BACTERIOLÓGICA E PRESENÇA/ AUSÊNCIA DE BACTÉRIAS DO GRUPO COLIFORME

Avaliação bacteriológica feita por Contagem de Bactérias do Grupo Coliforme pela Técnica do Substrato Cromogênico Enzimático Colilert® (Idexx).

Figura B1: Resultados da Contagem Bacteriológicas - (A) água da alimentação (acima) e permeado a P=0,5 bar (abaixo); (B) água da alimentação (acima) e permeado a P=1,0 bar (abaixo); (C) para a água da alimentação (acima) e permeado a P=2,0 bar (abaixo); (D) para a água da alimentação (acima) e permeado a P=3,0 bar (abaixo)



(Fonte: Própria).

ANEXO C

ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA CERÂMICA

Caracterização da membrana cerâmica com pressão de operação 0,5 bar, 1,0 bar; 2,0 bar e 3,0 bar e temperatura variando ao longo dos 120 minutos de procedimento. A membrana utilizada tem área de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura.

Tabela C. 1 – Dados da caracterização da membrana cerâmica com pressão de operação 0,5 bar, pressão de saída 0,3 bar, temperatura variando ao longo dos 120 minutos de procedimento, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura, referentes à Figura 32.

t (min)	PERMEADO				CONCENTRADO				R (%)
	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	
5	446,8	0,45	5,38	609,77	406,8	0,41	4,90	555,18	52,3
10	432,5	0,43	5,21	590,25	396,5	0,40	4,78	541,11	52,2
15	410,2	0,41	4,94	559,92	392,2	0,39	4,73	535,35	51,1
20	394,0	0,40	4,75	537,86	385,0	0,39	4,64	525,57	50,6
25	386,1	0,39	4,65	527,20	378,1	0,38	4,56	516,27	50,5
30	373,2	0,37	4,50	509,58	374,2	0,38	4,51	510,94	49,9
35	369,3	0,37	4,45	504,24	373,3	0,37	4,50	509,70	49,7
40	357,8	0,36	4,31	488,68	367,8	0,37	4,43	502,34	49,3
45	349,8	0,35	4,22	477,74	365,8	0,37	4,41	499,59	48,9
50	332,8	0,33	4,01	454,53	361,8	0,36	4,36	494,14	47,9
55	326,6	0,33	3,94	446,16	360,6	0,36	4,35	492,60	47,5
60	312,3	0,31	3,77	426,61	356,3	0,36	4,30	486,72	46,7
65	307,0	0,31	3,70	419,48	353,0	0,35	4,26	482,33	46,5
70	296,0	0,30	3,57	404,51	348,0	0,35	4,20	475,56	46,0
75	288,9	0,29	3,48	394,72	347,9	0,35	4,20	475,35	45,4
80	283,6	0,29	3,42	387,62	342,6	0,34	4,13	468,25	45,3
85	280,4	0,28	3,38	383,36	342,4	0,34	4,13	468,12	45,0
90	279,5	0,28	3,37	382,18	339,5	0,34	4,10	464,21	45,2
95	273,1	0,27	3,30	373,46	339,1	0,34	4,09	463,72	44,6
100	268,8	0,27	3,24	367,59	333,8	0,34	4,03	456,49	44,6
105	265,4	0,27	3,21	363,10	332,4	0,33	4,01	454,75	44,4
110	260,6	0,26	3,15	356,54	327,6	0,33	3,96	448,20	44,3
115	261,0	0,26	3,15	357,03	327,2	0,33	3,95	447,60	44,4
120	258,8	0,26	3,13	354,05	318,8	0,32	3,85	436,15	44,8
		Média	3,93	444,84		Média	4,31	487,93	47,4

Tabela C. 2 – Dados da caracterização da membrana cerâmica com pressão de operação 1,0 bar, pressão de saída 0,8 bar, Temperatura média 34,3°C, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura, referentes à Figura 33.

t (min)	PERMEADO				CONCENTRADO				R (%)
	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	
5	646,4	0,65	7,79	882,81	446,4	0,45	5,38	609,65	59,2
10	631,4	0,63	7,61	862,33	441,4	0,44	5,32	602,82	58,9
15	605,8	0,61	7,30	827,38	438,8	0,44	5,29	599,28	58,0
20	581,1	0,58	7,01	793,72	434,1	0,44	5,23	592,93	57,2
25	569,8	0,57	6,87	778,38	431,8	0,43	5,21	589,87	56,9
30	554,7	0,56	6,69	757,75	429,7	0,43	5,18	586,99	56,3
35	542,3	0,55	6,54	740,90	426,3	0,43	5,14	582,43	56,0
40	522,9	0,53	6,31	714,49	423,9	0,43	5,11	579,22	55,2
45	516,8	0,52	6,23	706,27	421,8	0,42	5,09	576,44	55,1
50	496,2	0,50	5,99	678,24	418,2	0,42	5,05	571,63	54,3
55	490,8	0,49	5,92	670,87	415,8	0,42	5,02	568,34	54,1
60	469,7	0,47	5,67	642,17	413,7	0,42	4,99	565,61	53,2
65	459,1	0,46	5,54	627,71	411,1	0,41	4,96	562,08	52,8
70	439,0	0,44	5,30	600,32	407,0	0,41	4,91	556,56	51,9
75	424,3	0,43	5,12	580,28	406,3	0,41	4,90	555,66	51,1
80	407,2	0,41	4,92	557,03	402,2	0,40	4,86	550,19	50,3
85	398,8	0,40	4,82	545,60	400,8	0,40	4,84	548,34	49,9
90	374,9	0,38	4,53	512,91	398,9	0,40	4,82	545,75	48,4
95	374,9	0,38	4,53	512,92	395,9	0,40	4,78	541,65	48,6
100	359,0	0,36	4,34	491,29	396,0	0,40	4,78	541,92	47,5
105	362,0	0,36	4,37	495,30	392,0	0,39	4,73	536,35	48,0
110	350,6	0,35	4,24	479,81	391,6	0,39	4,73	535,92	47,2
115	357,5	0,36	4,32	489,32	388,5	0,39	4,69	531,75	47,9
120	348,0	0,35	4,20	476,35	388,0	0,39	4,69	531,11	47,3
		Média	5,67	642,67		Média	4,99	565,10	52,7

Tabela C. 3 – Dados da caracterização da membrana cerâmica com pressão de operação 2,0 bar, pressão de saída 1,6 bar, Temperatura média 34,4°C, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura, referentes à Figura 34.

t (min)	PERMEADO				CONCENTRADO				R (%)
	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	
5	1204,9	1,21	14,53	1645,67	904,9	0,91	10,9 1	1235,78	57,1
10	902,3	0,91	10,88	1232,46	802,3	0,81	9,67	1095,87	52,9
15	700,3	0,70	8,44	956,62	710,3	0,71	8,57	970,40	49,6
20	599,8	0,60	7,23	819,45	669,8	0,67	8,08	915,15	47,2
25	497,7	0,50	6,00	679,97	597,7	0,60	7,21	816,77	45,4
30	416,6	0,42	5,03	569,26	516,6	0,52	6,23	705,99	44,6
35	375,9	0,38	4,53	513,65	475,9	0,48	5,74	650,44	44,1
40	305,0	0,31	3,68	416,86	405,0	0,41	4,89	553,61	43,0
45	264,7	0,27	3,19	361,74	364,7	0,37	4,40	498,49	42,1
50	223,9	0,23	2,70	306,04	323,9	0,33	3,91	442,81	40,9
55	203,2	0,20	2,45	277,79	303,2	0,30	3,66	414,53	40,1
60	193,0	0,19	2,33	263,89	263,0	0,26	3,17	359,62	42,3
65	185,5	0,19	2,24	253,64	241,5	0,24	2,92	330,24	43,4
70	171,4	0,17	2,07	234,39	217,4	0,22	2,62	297,34	44,1
75	161,3	0,16	1,95	220,59	219,3	0,22	2,65	299,99	42,4
80	153,1	0,15	1,85	209,39	211,1	0,21	2,55	288,78	42,0
85	150,7	0,15	1,82	206,15	210,7	0,21	2,54	288,30	41,7
90	135,3	0,14	1,63	185,05	200,3	0,20	2,42	274,04	40,3
95	130,0	0,13	1,57	177,82	200,0	0,20	2,42	273,63	39,4
100	109,5	0,11	1,32	149,84	189,5	0,19	2,29	259,34	36,6
105	106,1	0,11	1,28	145,17	189,1	0,19	2,28	258,80	35,9
110	90,0	0,09	1,09	123,16	169,0	0,17	2,04	231,34	34,7
115	85,7	0,09	1,04	117,30	158,7	0,16	1,92	217,28	35,1
120	75,9	0,08	0,92	103,92	148,6	0,15	1,80	203,42	33,8
		Média	3,74	423,74		Média	4,37	495,08	42,5

Tabela C. 4 – Dados da caracterização da membrana cerâmica com pressão de operação 3,0 bar, pressão de saída 2,8 bar, Temperatura média 35,6°C, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura, referentes à Figura 35.

t (min)	PERMEADO				CONCENTRADO				R (%)
	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	
5	1277,7	1,28	15,40	1744,69	1477,7	1,48	17,81	2017,86	46,4
10	944,5	0,95	11,39	1289,93	1244,5	1,25	15,00	1699,63	43,1
15	809,9	0,81	9,76	1106,15	1109,9	1,12	13,38	1515,85	42,2

20	677,2	0,68	8,16	924,92	937,2	0,94	11,30	1279,97	41,9
25	615,4	0,62	7,42	840,64	815,4	0,82	9,83	1113,79	43,0
30	549,8	0,55	6,63	751,11	749,8	0,75	9,04	1024,39	42,3
35	508,6	0,51	6,13	694,99	708,6	0,71	8,55	968,40	41,8
40	465,8	0,47	5,62	636,67	665,8	0,67	8,03	910,00	41,2
45	399,4	0,40	4,82	546,07	629,4	0,63	7,60	860,42	38,8
50	374,4	0,38	4,52	511,91	607,4	0,61	7,33	830,42	38,1
55	361,3	0,36	4,36	494,09	581,3	0,58	7,02	795,09	38,3
60	321,2	0,32	3,88	439,52	551,2	0,55	6,66	754,26	36,8
65	316,0	0,32	3,82	432,40	536,0	0,54	6,48	733,54	37,1
70	294,2	0,30	3,55	402,68	504,2	0,51	6,09	690,20	36,8
75	280,8	0,28	3,39	384,41	490,8	0,49	5,93	671,92	36,4
80	256,8	0,26	3,10	351,53	476,8	0,48	5,76	652,72	35,0
85	254,1	0,26	3,07	347,78	474,1	0,48	5,73	649,03	34,9
90	223,4	0,23	2,70	305,89	463,4	0,47	5,60	634,50	32,5
95	185,3	0,19	2,24	253,74	465,3	0,47	5,62	637,16	28,5
100	142,3	0,14	1,72	194,86	442,3	0,45	5,35	605,70	24,3
105	120,6	0,12	1,46	165,15	420,6	0,42	5,08	576,01	22,3
110	99,3	0,10	1,20	135,99	408,3	0,41	4,94	559,24	19,6
115	79,4	0,08	0,96	108,73	407,4	0,41	4,93	558,04	16,3
120	68,4	0,07	0,83	93,75	385,4	0,39	4,66	528,06	15,1
		Média	4,84	548,23		Média	7,82	886,09	34,7

ANEXO D

ANEXO D – FLUXO E RECUPERAÇÃO - SISTEMA MEMBRANA CERÂMICA PARA ÁGUAS SINTÉTICAS

Tabela D. 1 – Dados do sistema membrana cerâmica com alimentação de água sintética, operando a 0,5 bar, pressão de saída 0,3 bar, temperatura variando com o tempo de operação, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura da água, referentes à Figura 37.

t (min)	PERMEADO				CONCENTRADO				R (%)
	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	
5	437,8	0,44	5,28	598,15	334,9	0,34	4,04	457,67	56,7
10	379,8	0,38	4,58	518,85	330,8	0,33	3,99	452,01	53,4
15	351,5	0,35	4,24	480,33	329,1	0,33	3,97	449,74	51,6
20	321,6	0,32	3,88	439,55	327,4	0,33	3,95	447,48	49,6
25	316,6	0,32	3,82	432,67	320,8	0,32	3,87	438,42	49,7
30	306,7	0,31	3,70	419,16	317,4	0,32	3,83	433,88	49,1
35	304,2	0,31	3,67	415,76	315,8	0,32	3,81	431,62	49,1
40	289,2	0,29	3,49	395,37	310,8	0,31	3,75	424,82	48,2
45	284,2	0,29	3,43	388,57	308,3	0,31	3,72	421,42	48,0
50	279,2	0,28	3,37	381,77	305,7	0,31	3,69	418,02	47,7
55	277,5	0,28	3,35	379,51	293,3	0,30	3,54	401,03	48,6
60	264,2	0,27	3,19	361,38	289,1	0,29	3,49	395,37	47,8
65	260,9	0,26	3,15	356,85	277,5	0,28	3,35	379,51	48,5
70	259,2	0,26	3,13	354,58	276,6	0,28	3,34	378,37	48,4
75	256,7	0,26	3,10	351,19	274,1	0,28	3,31	374,98	48,4
80	251,7	0,25	3,04	344,39	269,1	0,27	3,25	368,18	48,3
85	248,2	0,25	3,00	339,79	265,8	0,27	3,21	363,65	48,3
90	237,5	0,24	2,87	325,13	264,9	0,27	3,20	362,51	47,3
95	231,7	0,23	2,80	317,20	262,4	0,26	3,17	359,12	46,9
100	227,5	0,23	2,75	311,54	261,5	0,26	3,16	357,98	46,5
105	223,4	0,23	2,70	305,87	260,6	0,26	3,15	356,85	46,2
110	219,7	0,22	2,66	300,87	259,7	0,26	3,14	355,72	45,8
115	215,1	0,22	2,60	294,54	258,8	0,26	3,13	354,58	45,4
120	213,4	0,21	2,58	292,18	258,0	0,26	3,12	353,45	45,3
		Média	3,35	379,38		Média	3,51	397,35	48,5

Tabela D. 2 – Dados do sistema membrana cerâmica com alimentação de água sintética, operando a 1,0 bar, pressão de saída 0,8 bar, temperatura variando com o tempo de operação, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura da água, referentes à Figura 38.

PERMEADO	CONCENTRADO
----------	-------------

t (min)	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	R (%)
5	554,4	0,56	6,70	758,52	405,0	0,41	4,89	553,97	57,80
10	498,7	0,50	6,02	682,34	393,3	0,40	4,75	538,11	55,90
15	486,0	0,49	5,87	664,95	384,2	0,39	4,64	525,65	55,80
20	451,5	0,45	5,45	617,89	360,1	0,36	4,35	492,79	55,60
25	443,8	0,45	5,36	607,35	351,0	0,35	4,24	480,33	55,80
30	429,3	0,43	5,19	587,67	346,8	0,35	4,19	474,67	55,30
35	367,4	0,37	4,44	502,95	320,3	0,32	3,87	438,42	53,40
40	335,6	0,34	4,05	459,35	318,6	0,32	3,85	436,15	51,30
45	307,9	0,31	3,72	421,64	312,8	0,32	3,78	428,22	49,60
50	263,3	0,27	3,18	360,51	310,3	0,31	3,75	424,82	45,90
55	235,9	0,24	2,85	323,09	301,2	0,30	3,64	412,36	43,90
60	186,9	0,19	2,26	256,01	297,0	0,30	3,59	406,70	38,60
65	179,0	0,18	2,16	245,21	364,2	0,37	4,40	498,73	33,00
70	169,4	0,17	2,05	231,97	288,7	0,29	3,49	395,37	37,00
75	165,9	0,17	2,01	227,28	285,4	0,29	3,45	390,84	36,80
80	165,0	0,17	2,00	226,06	274,6	0,28	3,32	376,11	37,50
85	154,7	0,16	1,87	211,98	272,9	0,28	3,30	373,84	36,20
90	152,6	0,15	1,85	209,03	271,3	0,27	3,28	371,58	36,00
95	150,8	0,15	1,82	206,54	270,4	0,27	3,27	370,44	35,80
100	155,1	0,16	1,88	212,54	269,6	0,27	3,26	369,31	36,50
105	147,4	0,15	1,78	201,92	268,8	0,27	3,25	368,18	35,40
110	144,9	0,15	1,75	198,49	267,9	0,27	3,24	367,05	35,10
115	143,3	0,14	1,73	196,28	267,1	0,27	3,23	365,91	34,90
120	142,1	0,14	1,72	194,73	264,6	0,27	3,20	362,51	34,90
		Média	3,24	366,85		Média	3,76	425,92	43,68

Tabela D. 3 – Dados do sistema membrana cerâmica com alimentação de água sintética, operando a 2,0 bar, pressão de saída 1,6 bar, temperatura variando com o tempo de operação, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura da água, referentes à Figura 39.

t (min)	PERMEADO				CONCENTRADO				R (%)
	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	
5	767,0	0,77	9,23	1045,74	674,6	0,68	8,12	919,88	53,20
10	692,9	0,70	8,34	944,92	643,0	0,65	7,74	876,83	51,87
15	604,7	0,61	7,28	824,72	629,6	0,63	7,58	858,70	48,99
20	525,8	0,53	6,33	717,10	565,6	0,57	6,81	771,47	48,17
25	487,5	0,49	5,87	664,99	544,8	0,55	6,56	743,15	47,22
30	421,0	0,42	5,07	574,36	514,0	0,52	6,19	701,24	45,03
35	386,1	0,39	4,65	526,78	484,1	0,49	5,83	660,46	44,37
40	344,6	0,35	4,15	470,14	445,0	0,45	5,36	607,21	43,64
45	309,7	0,31	3,73	422,56	432,6	0,43	5,21	590,22	41,72

50	285,6	0,29	3,44	389,70	414,3	0,42	4,99	565,30	40,81
55	250,7	0,25	3,02	342,12	400,2	0,40	4,82	546,04	38,52
60	195,8	0,20	2,36	267,13	393,5	0,39	4,74	536,97	33,22
65	164,7	0,17	1,98	224,76	383,5	0,39	4,62	523,38	30,04
70	128,0	0,13	1,54	174,69	380,2	0,38	4,58	518,85	25,19
75	95,0	0,10	1,15	129,71	372,7	0,37	4,49	508,65	20,32
80	79,9	0,08	0,96	109,01	363,5	0,37	4,38	496,19	18,01
85	73,2	0,07	0,88	99,90	351,9	0,35	4,24	480,33	17,22
90	61,0	0,06	0,73	83,22	344,4	0,35	4,15	470,14	15,04
95	60,0	0,06	0,72	81,91	342,7	0,34	4,13	467,87	14,90
100	59,5	0,06	0,72	81,17	340,1	0,34	4,10	464,47	14,88
105	59,2	0,06	0,71	80,88	337,6	0,34	4,07	461,07	14,92
110	58,8	0,06	0,71	80,29	334,2	0,34	4,03	456,54	14,96
115	57,8	0,06	0,70	78,88	329,2	0,33	3,97	449,74	14,92
120	56,7	0,06	0,68	77,39	325,9	0,33	3,93	445,21	14,81
		Média	3,12	353,84		Média	5,19	588,33	31,33

Tabela D. 4 – Dados do sistema membrana cerâmica com alimentação de água sintética, operando a 3,0 bar, pressão de saída 2,8 bar, temperatura variando com o tempo de operação, área da membrana de 0,0089 m² e densidade da água variando com a temperatura da água, referentes à Figura 40.

t (min)	PERMEADO				CONCENTRADO				R (%)
	m _P (g)	V _P (L)	Q _P (L/h)	J _P (L/hm ²)	m _C (g)	V _C (L)	Q _C (L/h)	J _C (L/hm ²)	
5	936,5	0,94	11,27	1276,73	1034,9	1,04	12,45	1410,41	47,5
10	717,3	0,72	8,63	977,88	847,0	0,85	10,19	1154,38	45,9
15	598,0	0,60	7,20	815,32	714,8	0,72	8,60	974,26	45,6
20	509,4	0,51	6,13	694,67	700,6	0,70	8,43	955,00	42,1
25	439,1	0,44	5,28	598,71	651,4	0,65	7,84	888,16	40,3
30	375,2	0,38	4,52	511,82	637,9	0,64	7,68	870,03	37,0
35	338,1	0,34	4,07	461,21	611,2	0,61	7,36	833,78	35,6
40	300,3	0,30	3,62	409,70	603,7	0,61	7,27	823,59	33,2
45	272,6	0,27	3,28	371,92	591,2	0,59	7,12	806,59	31,6
50	220,0	0,22	2,65	300,21	566,2	0,57	6,82	772,61	28,0
55	190,0	0,19	2,29	259,42	563,6	0,57	6,79	769,21	25,2
60	155,2	0,16	1,87	211,84	548,5	0,55	6,61	748,82	22,1
65	127,8	0,13	1,54	174,46	541,0	0,54	6,52	738,62	19,1
70	109,5	0,11	1,32	149,54	534,4	0,54	6,44	729,56	17,0
75	102,0	0,10	1,23	139,34	526,9	0,53	6,35	719,36	16,2
80	87,1	0,09	1,05	118,95	515,2	0,52	6,21	703,50	14,5
85	81,3	0,08	0,98	111,02	503,5	0,51	6,07	687,64	13,9
90	58,9	0,06	0,71	80,43	493,5	0,50	5,95	674,05	10,7
95	53,1	0,05	0,64	72,50	475,2	0,48	5,73	649,13	10,0

100	46,4	0,05	0,56	63,44	470,1	0,47	5,67	642,33	9,0
105	40,6	0,04	0,49	55,51	459,3	0,46	5,54	627,60	8,1
110	34,0	0,03	0,41	46,45	442,6	0,45	5,34	604,95	7,1
115	31,5	0,03	0,38	43,05	411,0	0,41	4,96	561,90	7,1
120	28,6	0,03	0,34	39,08	387,7	0,39	4,68	530,18	6,9
		Média	2,94	332,63		Média	6,94	786,49	23,9

ANEXO E

ANEXO E – CONDUTIVIDADE ELETRICA E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS NO PERMEADO – SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA + RESINA TROCADORA IÔNICA).

Tabela E. 1 – Dados do sistema híbrido (membrana cerâmica e 8,50 g de resina trocadora iônica) com alimentação água sintética, operando a 1,0 bar, pressão de saída 0,8 bar, temperatura de 27°C, área da membrana de 0,0089 m², densidade da água 0,99654Kg/L, vazão média do permeado de 2,73 L/h e fluxo médio do permeado de 272,77 L/h.m², k = 0,855 mS e TDS = 487 mg/L, referentes à Figura 42.

t(min)	K (mS)	TDS (ppm)	TR da k (%)	TR do TDS (%)
1	0,394	222,0	53,9	54,4
2	0,387	215,0	54,7	55,9
3	0,380	215,4	55,6	55,8
4	0,380	215,7	55,6	55,7
5	0,381	216,9	55,5	55,5
6	0,382	218,0	55,3	55,2
7	0,386	219,9	54,9	54,8
8	0,386	220,8	54,9	54,7
9	0,387	221,3	54,8	54,6
10	0,387	222,2	54,7	54,4
11	0,389	223,2	54,5	54,2
12	0,391	224,8	54,3	53,8
13	0,393	225,9	54,0	53,6
14	0,396	228,6	53,7	53,1
15	0,399	230,3	53,3	52,7
16	0,403	232,4	52,9	52,3
17	0,408	235,6	52,3	51,6
18	0,414	241,6	51,6	50,4
19	0,421	244,6	50,8	49,8
20	0,424	246,5	50,4	49,4
21	0,428	250,0	49,9	48,7
22	0,434	254,0	49,3	47,8
23	0,44	256,0	48,5	47,4
24	0,444	260,5	48,1	46,5
25	0,450	264,1	47,4	45,8
26	0,455	266,3	46,8	45,3
27	0,460	271,2	46,2	44,3
28	0,466	274,8	45,5	43,6

29	0,471	276,8	44,9	43,2
30	0,475	278,7	44,4	42,8
31	0,479	285,2	44,0	41,4
32	0,482	290,0	43,6	40,5
33	0,497	295,6	41,9	39,3
34	0,501	298,6	41,4	38,7
35	0,506	300,9	40,8	38,2
36	0,511	303,6	40,2	37,7
37	0,514	305,3	39,9	37,3
38	0,521	309,3	39,1	36,5
39	0,525	315,8	38,6	35,2
40	0,528	318,0	38,3	34,7
41	0,534	324,2	37,5	33,4
42	0,546	327,0	36,2	32,9
43	0,550	330,8	35,7	32,1
44	0,554	337,3	35,2	30,7
45	0,561	342,0	34,4	29,8
46	0,568	345,0	33,6	29,2
47	0,58	348,6	32,2	28,4
48	0,583	352,7	31,8	27,6
49	0,597	359,0	30,2	26,3
50	0,602	361,5	29,6	25,8
51	0,606	365,0	29,1	25,1
52	0,611	368,0	28,5	24,4
53	0,622	372,0	27,3	23,6
54	0,627	377,7	26,7	22,4
55	0,638	380,6	25,4	21,8
56	0,643	383,6	24,8	21,2
57	0,649	386,5	24,1	20,6
58	0,653	389,4	23,6	20,0
59	0,664	392,4	22,3	19,4
60	0,669	395,3	21,8	18,8
61	0,681	398,2	20,4	18,2
62	0,687	401,2	19,7	17,6
63	0,699	404,1	18,2	17,0
64	0,704	407,1	17,7	16,4
65	0,716	410	16,3	15,8
66	0,723	412,9	15,4	15,2
67	0,724	415,9	15,3	14,6
68	0,732	418,8	14,4	14,0
69	0,736	421,7	13,9	13,4
70	0,739	424,7	13,6	12,8
71	0,744	427,6	13,0	12,2
72	0,749	430,6	12,4	11,6

73	0,754	433,5	11,8	11,0
74	0,759	436,4	11,2	10,4
75	0,764	439,4	10,6	9,8
76	0,769	442,3	10,1	9,2
77	0,774	445,2	9,5	8,6
78	0,779	448,2	8,9	8,0
79	0,784	451,1	8,3	7,4
80	0,789	454,1	7,7	6,8
81	0,794	457	7,1	6,2
82	0,799	459,9	6,5	5,6
83	0,804	462,9	6,0	4,9
84	0,809	465,8	5,4	4,4
85	0,814	468,8	4,8	3,7
86	0,819	471,7	4,2	3,1
87	0,824	474,6	3,6	2,5
88	0,829	477,6	3,0	1,9
89	0,834	483,5	2,5	0,7
90	0,839	487,4	1,9	-0,1
91	0,844	---	1,3	
92	0,849	---	0,7	
93	0,854	---	0,1	
94	0,859	---	-0,5	

Tabela E. 2 – Dados do sistema híbrido (membrana cerâmica e 8,50 g ou 10,2 mL resina trocadora iônica) com alimentação água sintética, operando a 2,0 bar, pressão de saída 1,6 bar, temperatura de 27°C, área da membrana de 0,0089 m², densidade da água 0,99654Kg/L, vazão média do permeado de 3,62 L/h e fluxo médio do permeado de 362,29 L/h.m², k = 0,855 mS e TDS = 487 mg/L, referentes à Figura 42.

t(min)	K (mS)	TDS (ppm)	TR da k (%)	TR do TDS (%)
1	0,422	229,3	50,7	52,9
2	0,417	225,7	51,2	53,7
3	0,416	226,1	51,3	53,6
4	0,417	226,5	51,2	53,5
5	0,419	227,6	51,0	53,3
6	0,422	228,6	50,7	53,1
7	0,424	230,5	50,4	52,7
8	0,430	232,9	49,7	52,2
9	0,434	236,0	49,3	51,5
10	0,440	239,6	48,5	50,8
11	0,450	243,0	47,4	50,1
12	0,454	247,0	46,9	49,3

13	0,459	251,0	46,3	48,5
14	0,469	257,0	45,1	47,2
15	0,473	263,7	44,7	45,9
16	0,486	270,2	43,2	44,5
17	0,495	276,0	42,1	43,3
18	0,499	282,0	41,6	42,1
19	0,510	288,5	40,4	40,8
20	0,519	296,0	39,3	39,2
21	0,524	300,0	38,7	38,4
22	0,529	308,5	38,1	36,7
23	0,535	316,9	37,4	34,9
24	0,546	325,5	36,1	33,2
25	0,558	335,0	34,7	31,2
26	0,564	342,0	34,1	29,8
27	0,578	348,0	32,4	28,5
28	0,584	356,0	31,7	26,9
29	0,598	362,5	30,1	25,6
30	0,603	373,0	29,5	23,4
31	0,613	379,4	28,3	22,1
32	0,628	386,0	26,5	20,7
33	0,639	390,0	25,3	19,9
34	0,646	398,5	24,4	18,2
35	0,658	402,8	23,1	17,3
36	0,663	408,6	22,5	16,1
37	0,674	411,7	21,2	15,5
38	0,687	415,0	19,6	14,8
39	0,694	420,5	18,8	13,7
40	0,705	422,5	17,5	13,2
41	0,717	436,0	16,2	10,5
42	0,725	440,0	15,2	9,7
43	0,738	446,8	13,7	8,3
44	0,752	449,4	12,1	7,7
45	0,766	457,5	10,4	6,1
46	0,783	460,4	8,4	5,5
47	0,797	466,6	6,8	4,2
48	0,811	473,5	5,1	2,8
49	0,817	479,6	4,4	1,5
50	0,828	480,5	3,2	1,3
51	0,836	481,0	2,2	1,2
52	0,845	482,0	1,2	1,0
53	0,853	486,9	0,3	0,0
54	0,861	491,9	-0,7	-1,0

Tabela E. 3 – Dados do sistema híbrido (membrana cerâmica e 8,50 g de resina trocadora iônica) com alimentação água sintética, operando a 3,0 bar, pressão de saída 2,8 bar, temperatura de 27°C, área da membrana de 0,0089 m², densidade da água 0,99654Kg/L, vazão média do permeado de 2,36 L/h e fluxo médio do permeado de 236,22 L/h.m², com k = 0,855 mS e TDS = 487 mg/L, referentes à Figura 42.

t(min)	K (mS)	TDS (ppm)	TR da k (%)	TR do TDS (%)
1	0,544	363,4	36,4	25,4
2	0,534	360,9	37,5	25,9
3	0,535	362,3	37,4	25,6
4	0,536	364,0	37,3	25,3
5	0,538	365,0	37,1	25,1
6	0,541	366,9	36,7	24,7
7	0,545	368,7	36,3	24,3
8	0,552	370,9	35,4	23,8
9	0,558	373,0	34,8	23,4
10	0,567	376,6	33,7	22,7
11	0,578	379,4	32,4	22,1
12	0,589	383,0	31,1	21,4
13	0,599	387,0	29,9	20,5
14	0,606	393,5	29,1	19,2
15	0,614	398,0	28,2	18,3
16	0,623	401,4	27,1	17,6
17	0,634	405,9	25,8	16,7
18	0,646	410,0	24,4	15,8
19	0,660	415,4	22,8	14,7
20	0,670	421,9	21,7	13,4
21	0,685	424,8	19,9	12,8
22	0,696	427,0	18,6	12,3
23	0,703	430,7	17,8	11,6
24	0,71	433,0	17,0	11,1
25	0,717	437,0	16,1	10,3
26	0,724	440,8	15,3	9,5
27	0,732	446,0	14,4	8,4
28	0,739	449,3	13,6	7,7
29	0,746	452,6	12,7	7,1
30	0,753	455,3	11,9	6,5
31	0,761	460,0	11,0	5,5
32	0,768	464,7	10,2	4,6
33	0,776	466,0	9,3	4,3
34	0,782	468,0	8,5	3,9
35	0,789	469,7	7,7	3,6
36	0,797	475,0	6,8	2,5

37	0,804	477,0	6,0	2,1
38	0,811	477,8	5,1	1,9
39	0,818	478,0	4,3	1,8
40	0,826	479,0	3,4	1,6
41	0,833	480,0	2,6	1,4
42	0,841	480,8	1,7	1,3
43	0,847	483,5	0,9	0,7
44	0,855	486,4	0,0	0,1
45	0,862	489,3	-0,8	-0,5

Tabela E.4 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água sintética do sistema híbrido em função da pressão de operação.

PARÂMETROS	Alimentação	P ₀ 1,0 bar	TR (%)	P ₀ 2,0 bar	TR (%)	P ₀ 3,0 bar	TR(%)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25 °C	855	394	53,9	421	50,8	543	36,5
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,2	7,1	1,4	7,1	1,4	6,2	13,9
Turbidez, (uT)	8,9	2,2	75,3	2,2	75,3	3,4	61,8
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	35	10	71,4	10	71,4	10	71,4
Dureza em Cálcio (Ca ⁺⁺), mg/L	49,6	18,6	62,5	46	7,3	12,8	74,2
Dureza em Magnésio (Mg ⁺⁺), mg/L	29	6,2	78,6	9	68,9	4,4	84,8
Dureza Total (CaCO ₃), mg/L	245	72,5	70,4	152,5	37,7	50,5	79,4
Sódio (Na ⁺), mg/L	150,4	32,4	78,4	36,5	75,7	32,9	78,1
Potássio (K ⁺), mg/L	1,9	0,8	57,9	1,1	42,1	1,2	36,8
Alumínio (Al ³⁺), mg/L	0,01	0	100	0	100	0	100
Ferro Total, mg/L	0,1	0,04	60	0,04	60	0,04	60
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0	0	0	0	0	0	0

Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO₃)	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO₃)	115,6	25,6	77,8	102	11,76	22,8	80,3
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO₃)	115,6	25,6	77,8	102	11,76	22,8	80,3
Sulfato (SO₄²⁻), mg/L	33,6	17,2	48,8	21,5	36	11,2	66,7
Fósforo Total, mg/L	0	0	0	0	0	0	0
Cloreto (Cl⁻), mg/L	286,1	119,3	58,3	120	58,1	127,8	55,3
Nitrato (NO₃⁻), mg/L	9,66	0,18	98,1	0	100	0	100
Nitrito (NO₂⁻), mg/L	0,76	0	100	0	100	0	100
Amônia (NH₃), mg/L	0,74	0,31	58,1	0,41	44,6	0,62	16,2
Sílica, mg/L (SiO₂)	2,1	2,9	-38,09	4,2	-100	3,2	-52,4
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,59	-1,73	-193,2	-0,75	-27,1	-2,84	-381,3
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	487	221,9	54,4	229,2	52,9	363,1	25,4

Tabela E.5 – Dados do sistema híbrido (membrana cerâmica/ RTI) do permeado, com alimentação de água sintética, operando a 1,0 bar, pressão de saída 0,3 bar, temperatura de 27°C, área da membrana de 0,0089 m², densidade da água 0,99654Kg/L, referentes à Tabela 7.

t (min)	m_{bv} (g)	m_{bc} (g)	m_{permeado} (g)	m (Kg)	V_{real} (L)	Q (L/h)	Jp (L/h.m²)
5	110,81	448,12	344,52	0,34	0,35	4,15	414,86
10	103,6	403,52	299,92	0,30	0,30	3,61	361,15
15	111,26	377,68	266,42	0,27	0,27	3,21	320,81
20	104,01	342,13	238,12	0,24	0,24	2,87	286,74
25	111,27	326,78	215,51	0,22	0,22	2,60	259,51
30	104,15	312,26	208,11	0,21	0,21	2,51	250,60
35	111,19	303,48	192,29	0,19	0,19	2,32	231,55
40	104,05	297,65	193,6	0,19	0,19	2,33	233,13

45	111,14	294,37	183,23	0,18	0,18	2,21	220,64
50	103,97	285,88	181,91	0,18	0,18	2,19	219,05
55	111,12	279,23	168,11	0,17	0,17	2,02	202,43
60	103,92	266,54	162,62	0,16	0,16	1,96	195,82
65	111,08	258,97	147,89	0,15	0,15	1,78	178,08
70	103,97	252,12	148,15	0,15	0,15	1,78	178,40
75	111,57	243,68	132,11	0,13	0,13	1,59	159,08
80	103,96	237,65	133,69	0,13	0,13	1,61	160,99
85	111,06	229,87	118,81	0,12	0,12	1,43	143,07
90	104,09	198,44	94,35	0,09	0,09	1,14	113,61
						MÉDIA	2,29
							229,42

Tabela E.6 – Dados do sistema híbrido (membrana cerâmica/ RTI) do permeado, com alimentação de água sintética, operando a 2,0 bar, pressão de saída 1,6 bar, temperatura de 27°C, área da membrana de 0,0089 m², densidade da água 0,99654Kg/L, referentes à Tabela 7.

t (min)	m_{bv} (g)	m_{bc} (g)	m_{permeado} (g)	m (Kg)	V_{real} (L)	Q (L/h)	Jp (L/h.m²)
5	110,83	888,12	784,53	0,78	0,79	9,45	944,70
10	103,59	613,57	509,98	0,51	0,51	6,14	614,10
15	111,11	478,25	367,14	0,37	0,37	4,42	442,10
20	103,93	379,41	275,48	0,28	0,28	3,32	331,72
25	111,15	305,96	194,81	0,19	0,20	2,35	234,58
30	103,86	258,81	154,95	0,15	0,16	1,87	186,59
35	111,09	234,98	123,89	0,12	0,12	1,49	149,18
40	103,94	203,57	99,63	0,10	0,10	1,20	119,97
45	111,04	192,57	81,53	0,08	0,08	0,98	98,18
50	103,96	159,52	55,56	0,06	0,06	0,67	66,90
55	111,18	151,16	39,98	0,04	0,04	0,48	48,14
						MÉDIA	2,94
							294,20

Tabela E.7 – Dados do sistema híbrido (membrana cerâmica/ RTI) do permeado, com alimentação de água sintética, operando a 3,0 bar, pressão de saída 2,8 bar, temperatura de 27°C, área da membrana de 0,0089 m², densidade da água 0,99654Kg/L, referentes à Tabela 7.

t (min)	m_{bv} (g)	m_{bc} (g)	m_{permeado} (g)	m (Kg)	V_{real} (L)	Q (L/h)	Jp (L/h.m²)
5	110,83	1078,9	975,37	0,98	0,98	11,75	1174,51
10	103,53	895,48	791,95	0,79	0,79	9,54	953,64
15	111,08	744,47	633,39	0,63	0,64	7,63	762,71
20	103,95	587,27	483,32	0,48	0,48	5,82	582,00
25	111,05	457,99	346,94	0,35	0,35	4,18	417,77
30	103,96	349,5	245,54	0,25	0,25	2,96	295,67

35	111,04	274,66	163,62	0,16	0,16	1,97	197,03
40	103,97	246,18	142,21	0,14	0,14	1,71	171,24
45	111,04	232,57	121,53	0,12	0,12	1,46	146,34
50	103,99	224,52	120,53	0,12	0,12	1,45	145,14
55	111,09	211,16	100,07	0,10	0,10	1,21	120,50
60	104,04	199,61	95,57	0,10	0,10	1,15	115,08
65	111,13	196,36	85,23	0,09	0,09	1,03	102,63
70	104,02	188,25	84,23	0,08	0,08	1,01	101,43
75	111,2	180,22	69,02	0,07	0,07	0,83	83,11
					MÉDIA	3,58	357,92

ANEXO F

ANEXO F – SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, FLUXO DO PERMEADO – SISTEMA HÍBRIDO (MEMBRANA CERÂMICA + COLUNA DE RESINA TROCADORA IÔNICA)

Tabela F. 1 – Dados do sistema híbrido (membrana cerâmica e 30,0 g ou 41,5 mL resina trocadora iônica) com alimentação água sintética, operando a 1,0 bar, pressão de saída 0,8 bar, Temperatura de 27°C, área da membrana de 0,0089 m², densidade da água 0,99654Kg/L, referentes à Figura 43.

t(min)	K (mS)	TDS (ppm)	TR da k (%)	TR do TDS (%)
0	0,00	6,0	100,0	98,8
1	0,00	6,0	100,0	98,8
2	0,00	6,0	100,0	98,8
3	0,00	6,0	100,0	98,8
4	0,00	6,0	100,0	98,8
5	0,00	6,0	100,0	98,8
6	0,00	6,0	100,0	98,8
7	0,00	6,0	100,0	98,8
8	0,00	6,0	100,0	98,8
9	0,00	6,0	100,0	98,8
10	0,00	6,0	100,0	98,8
50	0,00	7,0	100,0	98,6
80	0,00	9,0	100,0	98,2
100	0,00	9,0	100,0	98,2
120	0,00	10,0	100,0	97,9
126	0,00	10,0	100,0	97,9
127	0,01	10,0	98,8	97,9
128	0,01	10,0	98,8	97,9
129	0,01	10,0	98,8	97,9
130	0,01	10,0	98,8	97,9
131	0,01	10,0	98,8	97,9
132	0,01	10,0	98,8	97,9
133	0,01	10,0	98,8	97,9
134	0,01	10,0	98,8	97,9
135	0,02	10,0	97,7	97,9
136	0,02	10,0	97,7	97,9
137	0,02	10,0	97,7	97,9
138	0,02	10,0	97,7	97,9
139	0,02	10,0	97,7	97,9
140	0,02	10,0	97,7	97,9
141	0,02	10,0	97,7	97,9

142	0,02	10,0	97,7	97,9
143	0,02	10,0	97,7	97,9
144	0,02	10,0	97,7	97,9
145	0,02	10,0	97,7	97,9
146	0,02	10,0	97,7	97,9
147	0,02	10,0	97,7	97,9
148	0,02	11,0	97,7	97,7
149	0,02	11,0	97,7	97,7
150	0,03	11,0	96,5	97,7
151	0,03	11,0	96,5	97,7
152	0,03	11,0	96,5	97,7
153	0,03	11,0	96,5	97,7
154	0,03	11,0	96,5	97,7
155	0,03	11,0	96,5	97,7
156	0,03	12,0	96,5	97,5
157	0,03	12,0	96,5	97,5
158	0,03	12,0	96,5	97,5
159	0,03	12,0	96,5	97,5
160	0,03	12,0	96,5	97,5
161	0,03	12,0	96,5	97,5
224	0,03	25,0	96,5	94,9
225	0,04	25,0	95,3	94,9
226	0,04	25,0	95,3	94,9
227	0,04	25,0	95,3	94,9
228	0,04	25,0	95,3	94,9
229	0,04	25,0	95,3	94,9
230	0,04	25,0	95,3	94,9
231	0,04	26,0	95,3	94,7
232	0,04	26,0	95,3	94,7
233	0,04	27,0	95,3	94,5
234	0,04	27,0	95,3	94,5
235	0,05	27,0	94,2	94,5
236	0,05	27,0	94,2	94,5
237	0,05	27,0	94,2	94,5
238	0,05	28,0	94,2	94,3
239	0,05	28,0	94,2	94,3
240	0,05	28,0	94,2	94,3
241	0,05	29,0	94,2	94,0
242	0,05	29,0	94,2	94,0
243	0,05	30,0	94,2	93,8
244	0,05	31,0	94,2	93,6
245	0,05	32,0	94,2	93,4
246	0,05	33,0	94,2	93,2
247	0,05	33,0	94,2	93,2
248	0,05	34,0	94,2	93,0
249	0,05	34,0	94,2	93,0

250	0,05	34,0	94,2	93,0
251	0,05	35,0	94,2	92,8
252	0,05	36,0	94,2	92,6
253	0,05	36,0	94,2	92,6
254	0,06	37,0	93,0	92,4
255	0,07	38,0	91,8	92,2
256	0,07	39,0	91,8	92,0
257	0,07	40,0	91,8	91,8
258	0,07	40,0	91,8	91,8
259	0,07	40,0	91,8	91,8
260	0,07	41,0	91,8	91,6
261	0,07	43,0	91,8	91,2
262	0,07	44,0	91,8	91,0
263	0,07	45,0	91,8	90,8
264	0,07	45,0	91,8	90,8
265	0,07	45,0	91,8	90,8
266	0,07	46,0	91,8	90,6
267	0,08	48,0	90,6	90,1
268	0,08	49,0	90,6	89,9
269	0,08	50,0	90,6	89,7
270	0,08	51,0	90,6	89,5
271	0,08	52,0	90,6	89,3
272	0,08	53,0	90,6	89,1
273	0,08	54,0	90,6	88,9
274	0,08	57,0	90,6	88,3
275	0,08	57,0	90,6	88,3
276	0,08	58,0	90,6	88,1
277	0,08	59,0	90,6	87,9
278	0,09	64,0	89,5	86,9
279	0,09	66,0	89,5	86,4
280	0,10	66,0	88,3	86,4
281	0,11	67,0	87,1	86,2
282	0,11	67,0	87,1	86,2
283	0,12	67,0	86,0	86,2
284	0,13	68,0	84,8	86,0
285	0,14	68,0	83,6	86,0
286	0,15	69,0	82,5	85,8
287	0,17	69,0	80,1	85,8
288	0,19	69,0	77,8	85,8
289	0,24	70,0	71,9	85,6
290	0,28	70,0	67,3	85,6
291	0,29	71,0	66,1	85,4
292	0,34	72,0	60,2	85,2
293	0,38	72,0	55,6	85,2
294	0,39	73,0	54,4	85,0
295	0,42	74,0	50,9	84,8

296	0,45	75,0	47,4	84,6
297	0,46	77,0	46,2	84,2
298	0,48	78,0	43,9	84,0
299	0,50	80,0	41,5	83,6
300	0,52	81,0	39,2	83,4
301	0,53	84,0	38,0	82,8
302	0,54	87,0	36,8	82,1
303	0,56	95,0	34,5	80,5
304	0,58	99,0	32,2	79,7
305	0,61	127,0	28,7	73,9
306	0,62	134,0	27,5	72,5
307	0,65	149,0	24,0	69,4
308	0,66	155,0	22,8	68,2
309	0,68	168,0	20,5	65,5
310	0,71	178,0	17,0	63,4
311	0,72	204,0	15,8	58,1
312	0,74	226,0	13,5	53,6
313	0,75	269,0	12,3	44,8
314	0,75	283,0	12,3	41,9
315	0,77	334,0	9,9	31,4
316	0,79	376,0	7,6	22,8
317	0,81	382,0	5,3	21,6
318	0,83	391,0	2,9	19,7
319	0,86	418,0	0,0	14,2
320	0,00	437,0	0,0	10,3
321	0,00	476,0	0,0	2,3
322	0,00	484,0	0,0	0,6
323	0,00	487,0	0,0	0,0

Tabela F.2 - Variação dos parâmetros físico-químicos da água sintética do sistema híbrido em função da pressão de operação.

PARÂMETROS	Alimentação	PERMEADO	TR (%)
k	855	170,1	80,1
pH	7,2	7,2	0
T	8,9	3,6	59,6
Cor	35	10	71,4
Ca ⁺⁺	49,6	23,6	52,4
Mg ⁺⁺	29	7,4	74,5
CaCO ₃	245	90	63,3
Na ⁺	150,4	12,5	91,7
K ⁺	1,9	1	47,4
Al ³⁺	0,01	0	100
Fe	0,1	0,02	80

CaCO₃	0	0	0
CaCO₃	0	0	0
CaCO₃	115,6	60	48,1
CaCO₃	115,6	60	48,1
SO₄⁻	33,6	12,2	63,7
P	0	0	0
Cl⁻	286,1	29,8	89,6
NO₃⁻	9,66	1,37	85,8
NO₂⁻	0,76	0,45	40,8
NH₃	0,74	0,05	93,2
SiO₂	2,1	18,3	
STD	487	179,9	63,1

ANEXO G

ANEXO G – REAGENTES UTILIZADOS

1. Solução para calibração do PHMETRO, pH 4 e pH 7, Synth;
2. Solução de KCl para calibração do Condutivímetro, 1412 μ MHO/cm
3. Ácido Clorídrico, HCl, 1N;;
4. Cloreto de Potássio, KCl, P.A.;
5. Cloreto de Sódio, NaCl, P.A.;
6. Carbonato de Cálcio, CaCO₃, 0,02N
7. Hidróxido de Sódio, NaOH, 1N;
8. Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) 0,02 N P.A.;
9. Solução Tampão (NH₄Cl)+(NH₄OH) pH 10
10. Murexida, P. A.;
11. Metilorange 0,4 % P. A.;
12. Fenolftaleína P. A.;
13. Cromato de Potássio 5,0 % P. A.;
14. Negro de Eriocromo P. A.;
15. Água Deionizada;
16. Sal Dissódico (EDTA) 0,025 N, P. A.;
17. Nitrato de Prata (AgNO₃) 0,05 N P. A.;
18. Solução de calibração para Fotômetro de chama Na⁺140meq/L e K⁺5,0meq/L;
19. Cloreto de magnésio Hexahidratado (MgCl₂.6H₂O) P.A.;
20. Acetato de Sódio Trihidratado (CH₃COOHNa.3H₂O) P.A.;
21. Ácido Acético (CH₃COOH) (99%);
22. Sulfato de Sódio (Na₂SO₄) P.A.;
23. Cloreto de Bário (BaCl₂) P.A.;
24. Kits da Policontrol para análise de ferro total, sílica, nitrato, nitrito e amônia.

ANEXO H

ANEXO H – INSTRUMENTALIZAÇÃO UTILIZADA NAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS

1. pHmetro Digital PG 2000 da GEHAKA;
2. Condutivímetro – 600 da Analyser;
3. Colorímetro com disco de cor – NESSLER QUANTI 200 da, PoliControl;
4. Turbidímetro Hach – 2100P;
5. Pipetador eletrônico Pipetus-akku da Hirschmann Laborgerate Foram;
6. Bureta eletrônica da modelo akku-drive 50 ml Titanion da HirschmannLaborgerate;
7. Fotômetro de chama modelo 910 da ANALYSER;
8. Colorímetro digital modelo SMARTCOLORIMETER da LaMOTTE série 481;
9. Espectrofotômetro Biospectro SP – 220;
10. Balança analítica, HR-200;
11. Agitador magnético da 713D da *Fisatom*;
12. Agitador de tubos AP56 – Phoenix;
13. Estufa 180°C, ORION 515 A;
14. Membrana de porosidade 0,2 μ .
15. Manômetro;
16. Cronômetro;
17. Pipetas volumétricas,
18. Béqueres,
19. Balões volumétricos,
20. Erlemmeyers,
21. Bastão de vidros,
22. Cápsulas de porcelana,
23. Pisseta,
24. Cuveta.

ANEXO I

ANEXO I – LAUDO DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

ANEXO I.1 – LAUDO DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DA ALIMENTAÇÃO

Laudo N^o1:/2014		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: Alimentação	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	855	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,2	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	8,9	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	35,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	49,6	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	29,0	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	245,0	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	150,4	200,0
Potássio (K^+), mg/L	1,9	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,01	0,2

Ferro Total, mg/L	0,10	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	115,6	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	115,6	---
Sulfato (SO ₄ ²⁻), mg/L	33,6	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	286,1	250,0
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	9,66	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,76	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,74	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	2,1	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,59	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	487	1.000,0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 03/03/2015
--

Data:

*Laboratório de Referência em Dessalinização -UFCG/CCT/DEQ
Av. Aprígio Veloso 882 Bodocongó, 58.109-970 – C. Grande, PB – Fone /Fax: 0xx-
83-2101.1366.
labdes@labdes.ufcg.edu.br*

ANEXO I.2 – LAUDO DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DO PERMEADO DO SISTEMA COM MEMBRANA CERÂMICA ACOPLADA A UMA COLUNA RECHEADA COM RESINA TROCADORA IÔNICA

Laudo N^o2:/2014		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: Coluna RTI	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	170,1	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,2	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	3,6	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	10,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	23,6	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	7,4	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	90,0	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	12,5	200,0

Potássio (K ⁺), mg/L	1,0	---
Alumínio (Al ³⁺), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	60,0	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	60,0	---
Sulfato (SO ₄ ²⁻), mg/L	12,2	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	29,8	250,0
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	1,37	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,45	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,05	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	18,3	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-1,20	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	179,9	1.000,0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

3- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água

<p>analisada neste laboratório.</p> <p>4- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado. A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 03/03/2015	Data:

ANEXO I.3 – LAUDO DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DO PERMEADO A 0,5 BAR COM MEMBRANA RECHEADA COM RESINA TROCADORA IÔNICA.

Laudo N°3:/2014		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: P=0,5	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	394,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,1	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	2,2	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	10,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	18,6	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	6,2	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	72,5	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	32,4	200,0

Potássio (K ⁺), mg/L	0,8	---
Alumínio (Al ³⁺), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,04	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	25,6	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	25,6	---
Sulfato (SO ₄ ²⁻), mg/L	17,2	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	119,3	250,0
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	0,18	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,00	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,31	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	2,9	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-1,73	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	221,9	1.000,0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

5- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água

<p>analisada neste laboratório.</p> <p>6- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado. A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 03/03/2015	Data:

ANEXO I.4 – LAUDO DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DO PERMEADO A 2,0 BAR COM MEMBRANA RECHEADA COM RESINA TROCADORA IÔNICA.

Laudos N°4:/2014		Data da Coleta:
Interessado:		Resp. pela Coleta: Interessado
Município:		Data da Entrega da Amostra:
Localidade:		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: P=2,0	Vazão(*):	Data da Análise:

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	421	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,1	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	2,2	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	10,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	46,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	9,0	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	152,5	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	36,5	200,0

Potássio (K ⁺), mg/L	1,1	---
Alumínio (Al ³⁺), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,04	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	102,0	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	102,0	---
Sulfato (SO ₄ ²⁻), mg/L	21,5	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	120,0	250,0
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	0,00	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,00	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,41	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	4,2	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-0,75	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	229,2	1.000,0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

7- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água

<p>analisada neste laboratório.</p> <p>8- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado. A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 03/03/2015	Data:

ANEXO I.5 – LAUDO DAS ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS DO PERMEADO A 3,0 BAR COM MEMBRANA RECHEADA COM RESINA TROCADORA IÔNICA.

Laudo N°5:/2014	Data da Coleta:
Interessado:	Resp. pela Coleta: Interessado
Município:	Data da Entrega da Amostra:
Localidade:	Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: P=3,0	Vazão(*):
	Data da Análise:

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	543,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	6,2	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	3,4	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	10,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	12,8	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	4,4	---

Dureza Total (CaCO₃), mg/L	50,5	500,0
Sódio (Na ⁺), mg/L	32,9	200,0
Potássio (K ⁺), mg/L	1,2	---
Alumínio (Al ³⁺), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,04	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO ₃)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO ₃)	22,8	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO ₃)	22,8	---
Sulfato (SO ₄ ²⁻), mg/L	11,2	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,0	---
Cloreto (Cl ⁻), mg/L	127,8	250,0
Nitrato (NO ₃ ⁻), mg/L	0,00	10,0
Nitrito (NO ₂ ⁻), mg/L	0,00	1,0
Amônia (NH ₃), mg/L	0,62	1,5
Sílica, mg/L (SiO ₂)	3,2	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-2,84	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	363,1	1.000,0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

9- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.

10-Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França
03/03/2015

Data:

ANEXO J

ANEXO J LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA (FEITO EM DUPLICATA) DA ÁGUA SINTÉTICA.

ANEXO J.1 LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA (FEITO EM DUPLICATA) DA ÁGUA SINTÉTICA (ALIMENTAÇÃO 1).

Laudo N ^o .: 1	Data da Coleta:
Interessado: Julyanna Damasceno Pessoa	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande	Data da Entrega da Amostra:
Localidade: Campina Grande	Tipo de Recipiente:
Procedência: Alimentação 1	Data da Análise:
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS
Coliformes Totais	0,372 x 10³
<i>Escherichia Coli</i>	0,245 x 10³
LAUDO:	
Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.	
OBSERVAÇÕES:	
11-Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.	
12-Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.	
A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.	
Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ –9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 24/11/2014	Data:

ANEXO J.2 LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA DA ÁGUA SINTÉTICA (ALIMENTAÇÃO 2).

Laudo N^o.: 1	Data da Coleta:
Interessado: Julyanna Damasceno Pessoa	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande	Data da Entrega da
Localidade: Campina Grande	Tipo de Recipiente:
Procedência: Alimentação 2	Data da Análise:
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS
Coliformes Totais	0,387x 10³
<i>Escherichia Coli</i>	0,197 x 10³
LAUDO:	
Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.	
OBSERVAÇÕES:	
<p>1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.</p> <p>2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.</p> <p>A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ –9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 24/11/2014	Data:

ANEXO J.3 LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA (FEITA EM DUPLICATA) DA ÁGUA SINTÉTICA TRATADA POR MEMBRANA CERÂMICA DE MICROFILTRAÇÃO A PRESSÃO DE 0,5 BAR (PERMEADO 1 E 2).

Laudo N^o.: 1	Data da Coleta: 19/11/2014
--------------------------------	----------------------------

Interessado: Julyanna Damasceno Pessoa	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande	Data da Entrega da Amostra: 19/11/2014
Localidade: Campina Grande	Tipo de Recipiente: Frasco polietileno autoclavável
Procedência: Permeado (0,5 bar)	Data da Análise: 19/11/2014
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS
Coliformes Totais	0
<i>Escherichia Coli</i>	0
LAUDO:	
Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.	
OBSERVAÇÕES:	
<p>1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.</p> <p>2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.</p> <p>A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ –9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 24/11/2014	Data:

ANEXO J.4 LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA (FEITA EM DUPLICATA) DA ÁGUA SINTÉTICA TRATADA POR MEMBRANA CERÂMICA DE MICROFILTRAÇÃO A PRESSÃO DE 1,0 BAR (PERMEADO 1 E 2).

Laudos N^o: 2	Data da Coleta:
Interessado: Julyanna Damasceno Pessoa	Resp. pela Coleta: Interessado

Município: Campina Grande	Data da Entrega da Amostra:
Localidade: Campina Grande	Tipo de Recipiente:
Procedência: Permeado (1,0 bar)	Data da Análise: 19/11/2014
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS
Coliformes Totais	0
<i>Escherichia Coli</i>	0
LAUDO:	
Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.	
OBSERVAÇÕES:	
<p>1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.</p> <p>2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.</p> <p>A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ –9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 24/11/2014	Data:

ANEXO J.5 LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA (FEITA EM DUPLICATA) DA ÁGUA SINTÉTICA TRATADA POR MEMBRANA CERÂMICA DE MICROFILTRAÇÃO A PRESSÃO DE 2,0 BAR (PERMEADO 1 E 2).

Laudos N^o.: 3	Data da Coleta:
Interessado: Julyanna Damasceno Pessoa	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande	Data da Entrega da Amostra:
Localidade: Campina Grande	Tipo de Recipiente:

Procedência: Permeado (2,0 bar)	Data da Análise: 19/11/2014
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS
Coliformes Totais	0
<i>Escherichia Coli</i>	0
LAUDO:	
Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.	
OBSERVAÇÕES:	
<p>1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.</p> <p>2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.</p> <p>A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ –9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 24/11/2014	Data:

ANEXO J.6 LAUDO TÉCNICO DA ANÁLISE BACTERIOLÓGICA (FEITA EM DUPLICATA) DA ÁGUA SINTÉTICA TRATADA POR MEMBRANA CERÂMICA DE MICROFILTRAÇÃO A PRESSÃO DE 3,0 BAR (PERMEADO 1 E 2).

Lauda N^o.: 4	Data da Coleta:
Interessado: Julyanna Damasceno Pessoa	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande	Data da Entrega da Amostra:
Localidade: Campina Grande	Tipo de Recipiente:
Procedência: Permeado (3,0 bar)	Data da Análise: 19/11/2014

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS
Coliformes Totais	0
<i>Escherichia Coli</i>	0
<p>LAUDO:</p> <p>Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.</p> <p>OBSERVAÇÕES:</p> <p>3- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.</p> <p>4- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.</p> <p>A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.</p>	
Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ –9.19.3.1303118)	
Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França 24/11/2014	Data: