

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

PAULO GIL SIQUEIRA DE FARIA

**AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DOS EFLUENTES
GERADOS POR SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA
HEMODIÁLISE**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2018

PAULO GIL SIQUEIRA DE FARIA

**AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DOS EFLUENTES
GERADOS POR SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA
HEMODIÁLISE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Celimar Azambuja Teixeira, Dra.

CURITIBA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

F224a Faria, Paulo Gil Siqueira de
2018 Avaliação do reaproveitamento dos efluentes gerados
por sistemas de tratamento de água para hemodiálise
/ Paulo Gil Siqueira de Faria.-- 2018.
97 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
Texto em português com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, Curitiba, 2018.
Bibliografia: p. 83-88.

1. Água - Reuso. 2. Hemodiálise. 3. Resíduos. 4. Meio
ambiente. 5. Engenharia civil - Dissertações. I. Teixeira,
Celimar Azambuja, orient. II. Universidade Tecnológica Federal
do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil, coorient. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecária Lucia Ferreira Littiere - CRB 9/1271



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 146

A Dissertação de Mestrado intitulada AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DOS EFLUENTES GERADOS POR SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA HEMODIÁLISE, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Paulo Gil Siqueira De Faria**, no dia 17 de abril de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Celimar Azambuja Teixeira - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). André Nagalli – UTFPR

Prof(a). Dr(a). Miguel Carlos Riella – PUC-PR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

CURITIBA, 17 DE ABRIL DE 2018.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, onipotente, onisciente, onipresente, que fez o mundo e tudo que nele há.

A minha querida esposa Juliane, amiga e companheira, pela sua graça, cumplicidade, paciência e incentivo, os quais foram fundamentais para a realização e conclusão deste trabalho. Aos meus filhos, Ana Luisa e Samuel, herança divina que Deus nos concedeu.

Aos meus pais Maria Delourdes e Santino e aos meus irmãos Gilmar, Silmara e Cristiane que me ensinaram a viver em comunidade, os quais amo desde sempre.

A minha orientadora, professora Dra. Celimar Azambuja Teixeira, pelo incentivo, apoio e parceria. Agradeço pela amizade, competência e direcionamento que foi dado ao longo desse trabalho.

Aos professores Dr. André Nagalli e Dr. Flávio Bentes Freire, pelas contribuições ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os meus colegas e amigos do Grupo Pró-Renal, em especial ao Dr. Miguel Carlos Riella, fundador do mesmo e que, desde 1998, quando comecei a fazer parte dessa equipe, é para mim um referencial inspirador.

À empresa Saubern, em especial ao Francisco Reigota, jovem empreendedor que acreditou, incentivou e confiou nesse projeto de reúso de água.

À UTFPR, em especial aos professores do PPGEC, pelo apoio, ensinamentos e orientações prestadas durante essa etapa.

*(...)Cristo é a fonte
Quem d'Ele provar
Sede nunca mais terá*

Água, Expresso Luz

RESUMO

FARIA, Paulo Gil Siqueira de. **Avaliação do reaproveitamento dos efluentes gerados por sistemas de tratamento de água para hemodiálise**. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Sistemas de Osmose Reversa empregados em clínicas de Hemodiálise geram um volume de efluente denominado por rejeito ou concentrado. Além disso, os filtros de areia, abrandador e carvão ativado, que compõem o pré-tratamento, descartam a água de retrolavagem utilizada na manutenção dos mesmos. A presente pesquisa buscou avaliar o reaproveitamento dos efluentes gerados por esse sistema em duas clínicas de hemodiálise na cidade de Curitiba/PR. Na primeira clínica foram reutilizados os efluentes das retrolavagens dos filtros de areia e de carvão ativado em descargas de vasos sanitários e na limpeza de pátios externos, sendo descartado o efluente gerado pelo filtro abrandador. Em ambas as clínicas, foram instalados sistemas de Osmose Reversa para tratamento do Rejeito (ORR). Através desse sistema de recuperação de efluentes, foi possível reduzir o descarte de água de 49% para 16%, o volume utilizado nas terapias passou de 42% para 70% e os demais consumos que somavam 9%, ficaram em 14% do total de água utilizada no abastecimento da clínica. O emprego da ORR permitiu recuperar 80% do rejeito para retroalimentar o próprio Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise (STAH) e o restante foi direcionado para uso nos sanitários e para limpezas externas, com isso 100% da água do rejeito foi recuperada. Qualitativamente, o líquido recuperado pela ORR possui baixa concentração de solutos e condutividade menor que 5 μ S. Os níveis microbiológicos foram abaixo do limite máximo para bactérias heterotróficas, coliformes totais e endotoxinas determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da Resolução da Diretoria Colegiada RDC 11/2014, que estabelece os padrões de segurança para hemodiálise. A água das retrolavagens é compatível com o fim estabelecido para reúso em sanitários e limpezas de pátios.

Palavras-chave: Reúso de água; Hemodiálise; Rejeito

ABSTRACT

FARIA, Paulo Gil Siqueira de. **Evaluation of recurring effluents generated by water treatment systems for hemodialysis.** 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Dissertation (Master in Civil Engineering) – Graduate Program in Civil Engineering – Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018

Reverse Osmosis systems are used in Hemodialysis clinics. These systems generate an effluent volume called reject or concentrate. In addition, the pretreatment composed of sedimentation filter, softener filter and activated carbon filter, discard the water used in backwash for filter maintenance. The present study evaluated the reuse of the effluents generated by this system in two hemodialysis clinics in the city of Curitiba / PR. In the first clinic, effluents from the backwashing of the sedimentation filter and activated carbon filter were reused in toilet and in the cleaning of external patios, and the effluent generated by the softening filter was discarded. In both clinics, Reverse Osmosis systems for Rejection treatment (ORR) were installed. Through this effluent recovery system, it was possible to reduce water discharges from 49% to 16%, the volume used in the therapies went from 42% to 70% and other consumptions, which accounted for 9%, remained at 14% of the total used in supplying the clinic. The use of the ORR allowed to recover 80% of the waste to feed back the own Water Treatment Subsystem for Hemodialysis (STAH) and the remainder was directed to use in the toilets and for external cleaning, with 100% of the wastewater recovered. Qualitatively, the liquid recovered by the ORR has low solutes concentration and conductivity less than 5 μ S. Microbiological levels were below the maximum limit for heterotrophic bacteria, total coliforms and endotoxins determined by the National Agency of Sanitary Surveillance (ANVISA) through Resolution of the Collegiate Board of Directors RDC 11/2014, which establishes safety standards for hemodialysis. The water from the backsets is compatible with the established purpose for reuse in toilets and yard cleanings.

Key words: Waste Water; Hemodialysis; Rejection

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeto esquemático de um tratamento de água	29
Figura 2– Princípio de uma Osmose Reversa.....	34
Figura 3 – Espectro de Processos de Filtração.....	35
Figura 4 – Sistema de Osmose Reversa de Simples Passo.	38
Figura 5 – Sistema de Osmose Reversa de Duplo Passo.	38
Figura 6 – Sistema de tratamento de água do rejeito da CLÍNICA 01.....	45
Figura 7 – Armazenamento e distribuição da água para fins de Reúso	47
Figura 8 - Sistema de tratamento de água do rejeito da CLÍNICA 02	48
Figura 9 – Equipamento para tratamento da água do rejeito – Detalhes dos rotômetros	50
Figura 10 – Equipamento para tratamento da água para hemodiálise – Detalhes dos rotômetros	52
Figura 11 – Equipamentos Utilizados para medição dos parâmetros físico-químicos.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrão de qualidade da <i>água para hemodiálise</i>	26
Quadro 2 – Padrões microbiológicos de <i>água para hemodiálise</i>	27
Quadro 3 – Características Gerais dos processos de Separação por Membranas (PSM)	36
Quadro 4 – Adaptação das Resoluções RDC 08/2001 e RDC 11/2014.....	56
Quadro 5 - Características físicas e organolépticas da água potável – Quadro II da RDC 11 (BRASIL, 2014).....	57
Quadro 6 – Elemento para análise físico-química da <i>água de rejeito</i> da ORR	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição de pacientes conforme tipo de diálise e fonte pagadora, CENSO 2016.....	21
Tabela 2 – Volumes diários a partir das medições dos hidrômetros	58
Tabela 3 – Média obtida dos fluxos mensurados pelos rotômetros.....	59
Tabela 4 – Porcentagem de Recuperação nas Fases B e C	61
Tabela 5 – Volumes de água obtidos para os principais consumos da clínica. 62	
Tabela 6 – Consumo de água em função do abastecimento real	64
Tabela 7 – Consumo de água por sessão de hemodiálise.....	67
Tabela 8 – Custo da água por sessão de hemodiálise.....	68
Tabela 9 – Análises Físico-Químicas e Microbiológicas	70
Tabela 10 – Medições obtidas dos laudos mensais referenciados pela RDC 08/2001	71
Tabela 11 – Avaliações diárias com base no Quadro I da RDC 11/2014.....	72
Tabela 12 – Resultados da qualidade da água para reúso	73
Tabela 13 – Análises Microbiológicas da água do rejeito.....	74
Tabela 14 – Análise microbiológicas após reservatório R3 para água de reúso	75
Tabela 15 – Avaliação da condutividade e da dureza da água de abastecimento e após diluição pelo permeado da ORR.....	76
Tabela 16 – Consumo de água anual e estimativa por sessão de HD.....	78
Tabela 17 – Custo em Dólar para água consumida a cada sessão de HD	78

LISTA DE ABREVIACÕES E UNIDADE DE MEDIDA

%Rec_(SISTEMA) – Porcentagem de Recuperação do Sistema
%Rec_{ORR} – Porcentagem de recuperação da ORR
µm – Micrometro (10⁻⁶ metros)
µS – Micro Siemens (10⁻⁶ Siemens) – Unidade de condutividade
AAMI: Association for the Advancement of Medical Instrumentation
ANSI – *American National Standards Institute*
ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APT – gua pré-tratada
ASTM - *American Society for Testing and Materials*
BW – *Backwash*
CAPD – Diálise Peritoneal Ambulatorial Contínua
CPHD: Concentrado Polieletrólito para Hemodiálise
DI – Diálise
DPA – Diálise Peritoneal
DPD - *N,N-diethyl-p-phenylenediamine*
DPI – Diálise Peritoneal Intermitente
EBCT - *Empty Bed Contact Time*
EBPG – *European Best Practice Guidelines*
ED – Eletrodiálise
EDTA - *Ethylenediaminetetraacetic acid*
EPA - *Environmental Protection Agency*
EU/mL Unidade de Endotoxina por mililitro
ft³ – Pós cúbicos
gpm – galões por minuto
H1 – Hidrômetro instalado na entrada do STAH
H2 – Hidrômetro instalado no Rejeito da ORR
H3 – Hidrômetro instalado na saída de água para reúso
Ha – Hidrômetro de Abastecimento da companhia
HD – Hemodiálise
ISO – *International Organization for Standardization*
L – litros
L/min – litros por minuto
m³ – volume em metro cúbico
MF – Microfiltração
mg/L – Miligrama por litro
min – minutos
NBR: Norma Brasileira
NF – Nanofiltração
nm - Nanometro (10⁻⁹ metros)
NM – No monitorado

NMP – Número mais provável
OR – Osmose Reversa
ORP – Osmose Reversa Principal
ORR – Osmose Reversa do Rejeito
ORR: Osmose Reversa do Rejeito
pH – Potencial de Hidrogênio
PSM – Processo de Separação por Membranas
PW – *Pure Water*
Q – Vazão ou fluxo de água
Q_{APT} – Fluxo da água pré-tratada
Q_e - Vazão de entrada
Q_p – Vazão de permeado
Q_{PR} – Fluxo do permeado da ORR
Q_r – Vazão de água de rejeito
Q_{R1} – Fluxo do Rejeito do primeiro passo da ORP
Q_{RR} – Fluxo do rejeito da ORR
Q_t – Fluxo de entrada total
R% - Porcentagem de Recuperação (*Recovery*)
RDC: Resolução da Diretoria Colegiada
SAAP - Subsistema de abastecimento de água potável
SANEPAR: Campanha Paranaense de Saneamento
SDATH: Subsistema de distribuição de água tratada para hemodiálise
SM - *Standard Methods*
SPM: Processo de Separação por Membranas
STAH: Subsistema de tratamento de água para hemodiálise
STDAH: Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise
SUS – Sistema Único de Saúde
UF – Ultrafiltração
UFC/mL – Unidade Formadora de Colônia por mililitro
USP - *United States Pharmacopeia*
V – Volume de água
V₁ – Volume medido pelo Hidrômetro H1
V₃ – Volume medido pelo hidrômetro H₃
V₄ – Volume utilizado para uso geral (lavabos, chuveiros, bebedouros)
V₅ – Redução na retrolavagem
V_a – Volume medido pelo hidrômetro de abastecimento Há
V_{BW} – Volume necessário par retrolavagem
V_C – Volume de consumo total
V_E – Volume de entrada na ORP

V_g – Volume de ganho econômico ou volume economizado

VMP – Valor Máximo Permitido

V_P – Volume de Permeado da ORP

V_{P2} – Volume do permeado do segundo passo da ORP

V_{POT} – Volume de água potável para consumo geral

V_{PR} – Volume de permeado da ORR

V_R – Volume de Rejeito da ORP

V_{R1} – Volume do Rejeito do primeiro passo da ORP

V_{RR} – Volume de rejeito da ORR

η – Rendimento ou recuperação

TERMOS ADOTADOS PARA AS DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DE ÁGUA OBSERVADAS DURANTE ESTUDO

Água Potável – Água de abastecimento, fornecida pela Companhia de Saneamento, a qual deve obedecer aos parâmetros da Portaria 2914/11;

Água para Hemodiálise – Água utilizada para fins de tratamento dos pacientes renais, a qual deve obedecer aos parâmetros da Resolução RDC 11/14;

Água de Rejeito – Subproduto da *água potável* quando esta atravessou o STDAH, mas especificamente, pela unidade de Osmose Reversa, para produção de *água para hemodiálise*;

Água Purificada do Rejeito – Produto final após a *água de rejeito* passar por uma unidade de osmose reversa para reuso ORR;

Água Diluída – Mistura que ocorre entre a *água potável* e a *água purificada do rejeito* na cisterna de abastecimento do STAH ;

Água de Rejeito da ORR – Descarte final da ORR, é o subproduto descartado da *água de rejeito*, portanto com alta condutividade devido a grande concentração de íons, destinado para reuso em vasos sanitários e limpeza de pátios.

Água de retrolavagem – Efluente oriundo do processo de limpeza ou retrolavagem dos filtros de sedimentação e carvão ativado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.3 JUSTIFICATIVA.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA HEMODIÁLISE	23
2.2 CONTAMINANTES DA ÁGUA PARA USO HEMODIÁLISE	24
2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA HEMODIÁLISE.....	25
2.4 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA HEMODIÁLISE	28
2.4.1 SAAP - Subsistema de Abastecimento de Água Potável.....	30
2.4.2 STAH - Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise	30
2.4.3 SDATH - Subsistema de distribuição de água tratada para hemodiálise.....	39
2.5 REÚSO DE ÁGUA	39
2.5.1 Reaproveitamento de água em clínica de hemodiálise.....	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA	43
3.2 FONTE DE DADOS - DEFINIÇÕES DOS LOCAIS DE ESTUDO	43
3.2.1 Descrição do Sistema Empregado na clínica 01	44
3.2.2 Descrição do Sistema Empregado na clínica 02.....	47
3.3 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA.....	49
3.3.1 Processos empregados na clínica 01	49
3.3.2 Processos empregados na clínica 02	53
3.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 RESULTADOS QUANTITATIVOS DA CLÍNICA 01	58
4.2 RESULTADOS QUALITATIVOS DA CLÍNICA 01	69
4.3 RESULTADOS DA CLÍNICA 02.....	76
5 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE A – RESULTADO DAS MEDIÇÕES DOS HIDRÔMETROS E DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES DE CONSUMO DIÁRIOS	88

APÊNDICE B – RESULTADO DAS MEDIÇÕES DOS ROTÂMETROS E CÁLCULO DAS PORCENTAGENS DE RECUPERAÇÃO	91
ANEXO 1 - INFORMAÇÃO DE PRODUTO – MEMBRANA DE OSMOSE REVERSA FILMETC-DOW.....	94
ANEXO 2 – DADOS DE SESSÕES DE HEMODIÁLISE DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CENTROS DE NEFROLOGIA - DIALSIST	95

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso hídrico fundamental para os seres vivos e amplamente utilizada pelos seres humanos muito além do próprio consumo. Exemplo disto é o tratamento de pacientes com insuficiência renal que necessitam de terapias como a hemodiálise, que é um processo de depuração artificial do sangue efetuada graças a um filtro que elimina as moléculas tóxicas em caso de insuficiência renal grave (AURÉLIO, 2017).

Esta terapia depende de avaliações periódicas do quadro clínico do paciente, a partir da necessidade da remoção das escórias e dos líquidos acumulados presentes em seu organismo. Normalmente este tratamento é realizado três vezes por semana, num período entre três a quatro horas para cada sessão (BRUNNER, 1998; RIELLA, 2010).

Para a hemodiálise é imprescindível o uso de água purificada (WARD, 2011), a qual é utilizada para diluição dos concentrados utilizados para produção da solução de diálise. Esta solução irá entrar em contato com um filtro, denominado capilar ou dialisador, que removerá do sangue do paciente, o excesso de líquido acumulado, os solutos dissolvidos e as toxinas, através dos processos denominados de ultrafiltração, difusão e adsorção (DAUGIRDAS, 2007; SILVA, 2013).

Como esta solução irá entrar em contato com o sangue, através da membrana semipermeável do filtro capilar, faz-se necessário que a água utilizada seja purificada. No Brasil, os padrões de qualidade da *água para hemodiálise* são definidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), sendo a mais recente atualização definida através da Resolução da Diretoria Colegiada, RDC 11, de 13 de março de 2014, publicada no Diário Oficial da União em 14 de março de 2014, a qual “Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Diálise e dá outras providências” (BRASIL, 2014).

Segundo a Resolução RDC 11 de março de 2014, as clínicas devem possuir um Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise (STDAH) que permita garantir a qualidade necessária para o tratamento dos

pacientes com segurança. Normalmente, o STDAH possui um sistema final de purificação baseado no princípio da Osmose Reversa (OR), no qual uma bomba de alta pressão permite o processo inverso ao da osmose, produzindo *água para hemodiálise*, livre de micro organismos, endotoxinas e partículas orgânicas e inorgânicas. Porém, este método de tratamento gera grande volume de efluente denominado de *água de rejeito*.

Embora a *água de rejeito* possua concentração mais elevada, devido à presença dos elementos orgânicos e inorgânicos removidos da água de origem, é possível reaproveitá-la diretamente na própria unidade, em processos que não exijam água potável, como por exemplo, na limpeza de calçadas e nas descargas dos sanitários. Porém esse tipo de reuso não é suficiente para consumir todo o volume gerado pelo descarte da osmose reversa (FARIA et al., 2016).

No caso de aproveitar a água do rejeito para reuso, é importante a avaliação qualitativa nos pontos de consumo e adequação destas características de acordo com o uso proposto (OENNING, 2006). Desta forma, são necessários estudos científicos em clínicas de hemodiálise, que tenham como objetivo a busca por metodologias e alternativas para viabilizar o reaproveitamento da *água de rejeito*. Há ainda questões a serem discutidas como, por exemplo:

- i) Apenas o reuso da *água de rejeito* para fins de limpeza e descarga de sanitários é suficiente para garantir um consumo mais racional deste efluente?
- ii) Seria possível reutilizar esta água em outros setores da clínica ou no próprio STDAH?
- iii) Seria viável tratar este efluente?
- iv) Seria possível distribuir este efluente para uso externo, visando a otimização dos recursos econômicos da clínica?

Baseando-se neste contexto, o presente trabalho visa apresentar alternativas de reuso da água descartada pelo STDAH em cada etapa do processo, o qual compreende desde os filtros do pré-tratamento até a unidade de Osmose Reversa. Dessa forma, serão adotados processos de reutilização,

visando uma gestão mais adequada desse recurso hídrico, conforme a qualidade apresentada pelos efluentes gerados antes e após tratamento dos mesmos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Reduzir o desperdício de efluentes gerados pelo Sistema de Tratamento de Água para Hemodiálise.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o volume de água descartado em STDAH quantitativamente e qualitativamente;

Implantar sistema de reaproveitamento deste volume de água no própria clínica de hemodiálise;

Comprovar a partir de um tratamento adequado da *água de rejeito* que é possível produzir *água para hemodiálise* com mínimo desperdício.

Reutilizar os efluentes das retrolavagens, para fins não potáveis, como vasos sanitários e limpeza de calçadas, por exemplo.

Reduzir os custos para produção de água para a hemodiálise.

Garantir a segurança em cada etapa do processo com base nas normativas vigentes para qualidade de água potável e para consumo na terapia.

Atender aos padrões estabelecidos para qualidade da água em acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da Resolução mais recente RDC 11/2014.

1.3 JUSTIFICATIVA

A água doce, recurso natural, vital para sobrevivência humana e de todos os seres vivos, vem apresentando sinais de escassez no mundo (ARAÚJO et al., 2015). Embora seja abundante, aproximadamente dois bilhões de pessoas sofrem com a falta de água devido a fatores como a poluição, as variações climáticas e o aumento da população (BARLOW, 2009).

O Brasil possui cerca de 13,7% da água doce disponível no mundo (ARAÚJO et al., 2015). Porém, já é possível perceber uma crise hídrica em vários Estados brasileiros pelos mesmos fatores (SILVA et al., 2016). A característica da distribuição dos recursos hídricos no país, também corrobora para essa escassez, uma vez que 68% da água doce encontra-se na região Norte, onde vivem 8% da população brasileira, sendo que os grandes centros urbanos se estabeleceram onde há menor quantidade de água doce disponível (BARRETO et al., 2007).

Uma vez que a água é utilizada como suporte para atividades econômicas e para o desenvolvimento da sociedade (TUNDISI & TUNDISI, 2014), a redução dos recursos hídricos, pode ocasionar a situação indesejada de se definir qual o destino da água entre a produção de atividades econômicas e o próprio consumo humano (TEIXEIRA et al., 2016).

Dentre as atividades econômicas, a hemodiálise é uma terapia que utiliza a água no tratamento a pacientes com insuficiência renal. A falta desse recurso natural afetaria diretamente a vida desses pacientes (CHEN et al., 2017).

Entre os anos de 2013 e 2015, a Região Metropolitana de São Paulo presenciou sinais evidentes da crise hídrica (JACOBI et al., 2015), a qual afetou diretamente várias clínicas de hemodiálise, que precisaram buscar alternativas, como perfuração de poços artesianos, abastecimento via caminhão pipa, adição de reservatórios de água, diminuição do tempo de terapia do pacientes renais, entre outras ações (ABCDDT, 2015).

De acordo com o Inquérito Brasileiro de Diálise Crônica de 2016 da

Sociedade Brasileira de Nefrologia (SBN), 38.437 pacientes são atendidos pelo Sistema Único de Saúde (SUS), conforme a Tabela 1. Esse total representa 83% dos pacientes em hemodiálise no país. Contudo, levando-se em consideração que apenas 41,4% das clínicas de hemodiálise existentes no Brasil responderam ao inquérito, pode-se estimar um número ainda maior de pacientes sendo atendidos por essa modalidade de diálise (SESSO et al., 2017).

Nesse cenário, é possível observar que há uma carência de ações que proporcionem um consumo mais racional da água em clínicas de hemodiálise. Com base nos dados da Tabela 1, pode-se afirmar que mais de um bilhão de litros de água são desperdiçados anualmente durante a terapia de hemodiálise, uma vez que poucas clínicas adotam algum método de reúso dos efluentes gerados pelo sistema de tratamento de água.

Tabela 1 – Distribuição de pacientes conforme tipo de diálise e fonte pagadora, CENSO 2016.

Modalidade	SUS	NÃO SUS	TOTAL
HD Convencional	38437 (91,4%)	7279 (83,0%)	45716 (90,0%)
HD diária (> 4x/sem.)	359 (0,9%)	708 (8,1%)	1067 (2,1%)
CAPD	933 (2,2%)	140 (1,6%)	1073 (2,1%)
DPA	2281 (5,4%)	637 (7,3%)	2918 (5,7%)
DPI	25 (0,1%)	8 (0,1%)	33 (0,1%)
Total	42035 (100%)	8772 (100%)	50807 (100%)

HD=hemodiálise; CAPD=diálise peritoneal ambulatorial contínua; DPA=diálise peritoneal automatizada; DPI=diálise peritoneal intermitente; SUS=Sistema Único de Saúde

Fonte: (SESSO et al., 2017)

Esse tratamento é necessário para garantir a qualidade de água para a hemodiálise. Os sistemas de purificação comumente utilizados são compostos por duas etapas principais, sendo a primeira ou pré-tratamento, responsável por proteger a etapa à jusante, ou segunda etapa, cuja finalidade é remover os elementos físico-químicos e contaminantes microbiológicos prejudiciais aos pacientes (OKUNOLA & OLAITAN, 2016; COULIETTE & ARDUINO, 2013; RAMIREZ, 2009).

Ambas as etapas geram efluentes, que por suas características

poderiam ser reaproveitados. Na primeira, há a retrolavagem dos filtros do pré-tratamento (processo utilizado para a manutenção dos filtros de areia, abrandador e carvão ativado); na segunda, o processo de purificação por Osmose Reversa que descarta entre 25% a 50% do total utilizado para a produção de *água para hemodiálise* (AMATO et al., 2013).

Diante das questões orçamentárias das unidades de hemodiálise, cuja principal fonte pagadora é o Sistema Único de Saúde (SUS), pela eminente percepção de crise hídrica e pela possibilidade de minimizar o impacto ambiental gerado pelo descarte da água do rejeito e da retrolavagem dos filtros, a presente pesquisa buscou alternativas economicamente viáveis, para minimizar o desperdício de água, aliado à responsabilidade em garantir a qualidade e a segurança durante a terapia.

A reutilização desses efluentes, além de gerar economia para as clínicas, seria uma maneira de empregar a gestão ambiental em clínicas de hemodiálise. O Sistema de Gestão Ambiental, baseando na Norma ISO 14001, seria uma das formas de busca pela excelência ambiental, de maneira a promover uma imagem benéfica para clientes, fornecedores e órgãos ambientais (TEIXEIRA, 2016).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, o padrão de qualidade de água para consumo humano é determinado pelo Ministério da Saúde através da Portaria Nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011. De acordo com a Portaria, a mesma é definida como sendo potável a água destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem (BRASIL, 2011).

Em clínicas de hemodiálise é necessário um tratamento da água potável, visando restringir ainda mais a presença de elementos orgânicos e inorgânicos que são aceitáveis dentre os padrões de potabilidade. Nesse caso, a segurança dos pacientes em terapia, é pautada pelos parâmetros definidos pelo Ministério da Saúde, através da Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº 11, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2014).

2.1 IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA HEMODIÁLISE

Os pacientes em hemodiálise são submetidos a uma grande exposição de água, muito além dos 14 litros por semana recomendados para ingestão humana (AL-NASERI et al., 2013). Neste mesmo período, esses pacientes são submetidos a mais de 300 litros de água (TONG et al., 2001; RIELLA, 2010). Isto corresponde a mais de 30 vezes o consumo normal esperado para humanos (CHEN et al., 2017).

Durante as sessões de hemodiálise, a exposição à água pode variar entre 18.000 a 36.000 litros por ano para cada paciente (SANTOS et al., 2015). Até a década de 70, ainda se acreditava na possibilidade do uso de água potável no tratamento dialítico do sangue. No entanto, com o aumento da quantidade de pacientes, associada a maior sobrevivência dos mesmos, pode-se observar uma correlação entre os elementos presentes na água potável e os efeitos adversos apresentados durante o procedimento (SILVA et al., 1996; RIELLA, 2010; RODRIGUES, 2012).

Em 1996, 65 pacientes renais faleceram na cidade de Caruaru, Pernambuco, após o contato com água contaminada com microcistina-LR, foi um marco nacional no que diz respeito a melhorias do ponto de vista de controle de qualidade da água empregada para a hemodiálise, pois a partir desse episódio foram publicadas legislações mais rigorosas voltadas aos serviços de hemodiálise (JESUS & ALMEIDA, 2016, FELIZARDO et al., 2016).

Portanto, a qualidade da água utilizada no tratamento aos pacientes renais, deve ser avaliada e monitorada de forma criteriosa, evitando-se que os vários contaminantes químicos, bacteriológicos e tóxicos sejam transferidos para os pacientes, ocasionando efeitos adversos e às vezes letais. (SILVA et al., 1996; RIELLA, 2010)

2.2 CONTAMINANTES DA ÁGUA PARA USO HEMODIÁLISE

A qualidade da água natural, do ponto de vista sanitário, depende diretamente de dois fatores: i) das condições naturais; ii) e do uso e ocupação do solo próximo às bacias hidrográficas.

No primeiro caso, o escoamento superficial e pluvial contribui para que partículas, substâncias e impurezas sejam transferidas para rios e lagos, além da própria infiltração no solo, contaminando mananciais subterrâneos.

No segundo caso, a ação humana proporciona o lançamento direto de despejos de origem doméstica ou industrial nos corpos hídricos, gerando uma poluição pontual.

Associada às condições naturais do primeiro caso, há ainda a poluição difusa, originada pela ocupação de solos rurais onde são utilizados defensivos agrícolas nas lavouras e que são absorvidos pela água durante escoamento superficial (CARVALHO et al., 2011).

O crescimento das cidades favorece a poluição dos corpos hídricos, que sofrem alterações de suas características naturais, além de afetar o processo normal de autodepuração (NAGALLI & NEMES, 2009).

A poluição altera as propriedades físicas, químicas, radiológicas ou

biológicas da água e do meio ambiente, cabe ressaltar que a contaminação da água é um caso particular de poluição, pois nesse caso os elementos poluidores são nocivos ao consumo humano ou animal e também de vegetais (HELLER & PÁDUA, 2006).

Existem diversos contaminantes presentes em águas de superfície. Os principais são os materiais orgânicos, os minerais e as bactérias ou micro-organismos. Os poluentes orgânicos são derivados do nitrogênio, de origem vegetal, animal, industrial ou urbana, como, por exemplo, o amoníaco e o óxido de azoto, encontrados respectivamente na zona rural e nas fábricas. Os poluentes minerais são compostos químicos, como por exemplo: o Cobre, o Arsênio, o Bismuto, o Cádmio, o Zinco, entre outros (SILVA et al., 1996).

Há também elementos adicionados pelas companhias de saneamento. O grande inconveniente em se utilizar a água potável em hemodiálise é que os recursos utilizados pelos sistemas públicos de tratamento da mesma, visando torná-la própria para consumo, são considerados tóxicos aos pacientes em hemodiálise, como por exemplo, adições de sulfato de alumínio, de cloramina e de flúor, que podem causar, entre outros danos, a anemia, a hemólise e a osteomalacia respectivamente (RIELLA, 2010; Rodrigues, 2012).

A presença destes compostos minerais é esperada em água potável, porém na *água para hemodiálise*, pequenas concentrações desses elementos podem trazer riscos à saúde do paciente, como náuseas, dores no corpo, calafrios, doenças ósseas, além do risco de morte (SILVA et al., 1996; RIELLA, 2010; WARD, 2011; RODRIGUES, 2012).

2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA HEMODIÁLISE

No Brasil, a portaria que define os padrões de qualidade da *água para hemodiálise* é a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 11, de 13 de março de 2014, que “*Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Diálise e dá outras providências*” (BRASIL, 2014). Os padrões físico-químicos e microbiológicos adotados por essa RDC nº

11 são apresentados no Quadro 1.

Além desta portaria, existe a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 33, de 03 de junho de 2008 que define o “*Sistema de tratamento e distribuição de água para hemodiálise*” (BRASIL, 2008), o qual contém informações importantes para o projeto de um STDAH.

Quadro 1 - Padrão de qualidade da água para hemodiálise.

Componentes	Valor máximo permitido	Frequência
Coliforme total	Ausência em 100 mL	Mensal
Contagem de bactérias heterotróficas	100 UFC/mL	Mensal
Endotoxinas	0,25 EU/mL	Mensal
Alumínio	0,01 mg/L	Semestral
Antimônio	0,006 mg/L	Semestral
Arsênico	0,005 mg/L	Semestral
Bário	0,1mg/L	Semestral
Berílio	0,0004 mg/L	Semestral
Cádmio	0,001 mg/L	Semestral
Cálcio	2 mg/L	Semestral
Chumbo	0,005mg/L	Semestral
Cloro total	0,1 mg/L	Semestral
Cobre	0,1 mg/L	Semestral
Cromo	0,014 mg/L	Semestral
Fluoreto	0,2 mg/L	Semestral
Magnésio	4 mg/L	Semestral
Merúrio	0,0002 mg/L	Semestral
Nitrato (N)	2 mg/L	Semestral
Potássio	8 mg/L	Semestral
Prata	0,005mg/L	Semestral
Selênio	0,09 mg/L	Semestral
Sódio	70 mg/L	Semestral
Sulfato	100 mg/L	Semestral
Tálio	0,002 mg/L	Semestral
Zinco	0,1mg/L	Semestral

Fonte: RDC 11 (Brasil, 2014)

Os padrões adotados nacionalmente seguem regras semelhantes às

normatizações internacionais, dentre as quais, as mais importantes são:

- i) *Association for the Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI) estabelece os padrões e recomendações práticas para água de hemodiálise (COULLIETTE & ARDUINO, 2013).
- ii) *European Pharmacopoeia*, através da *European Best Practice Guidelines* e da *European Renal Best Practice*, publicada em 2002, que estabeleceu padrões de qualidade da água, semelhantes aos adotados pela AAMI no mesmo ano e revisados em 2004.
- iii) *International Organization for Standardization* a ISO 11663:2009 e ISO 23500:2011 os padrões de qualidade para água de hemodiálise (GLORIEUX et al., 2012).

Os padrões microbiológicos adotados pelos estes órgãos regulamentadores internacionais são comparados no Quadro 2.

Além dessas normativas que regulamentam especificamente os serviços de hemodiálise, a Portaria do Ministério da Saúde Nº 2914, que “*Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano*” (BRASIL, 2011), deve ser analisada para garantir os padrões de qualidade para água potável.

Quadro 2 – Padrões microbiológicos de água para hemodiálise

Padrões	EBPG (ERBP) 2002	ANSI / AAMI RD52 - 2004	ANSI / AAMI / ISO 11663 - 2009
Água Purificada			
UFC/mL	<100	200 (Nível de ação: 50)	<100 (Nível de ação: 50)
UE/mL	<0,25	02 (Nível de ação: 01)	<0,25 (Nível de ação: 0,125)
Solução para Diálise			
UFC/mL	<100	200 (Nível de ação: 50)	<100 (Nível de ação: 50)
UE/mL	<0,25	02 (Nível de ação: 01)	<0,5 (Nível de ação: 0,25)
Legenda: EBPG - <i>European Best Practice Guidelines</i> ; ANSI / AAMI - <i>American National Standards Institute/Association for Advancement of Medical Instrumentation</i> ; ISO - <i>International Organization for Standardization</i> ; UFC - <i>Unidade Formadora de Colônias</i> ; UE - <i>Unidade de Endotoxinas</i> ;			

Fonte: Adaptado, (GLORIEUX et al., 2012)

Assim como a Resolução Nº 430, que “*Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA*”, caso os efluentes líquidos necessitem ser despejados em corpo hídrico (BRASIL, 2011).

2.4 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA HEMODIÁLISE

Um sistema de tratamento de *água para hemodiálise* deve ser projetado para garantir a purificação e manutenção de cada componente do equipamento, prevendo o tratamento adequado de acordo com a natureza e das variações sazonais. (SILVA, et. al 1996). A Figura 1 representa um sistema frequentemente utilizado em clínicas de hemodiálise para tratamento de água.

As principais etapas desse sistema são compostas pelo filtro de profundidade, para retenção de partículas, associado ao filtro de carvão ativado granular, para remoção de cloro livre e cloramina e também pela resina de troca iônica ou abrandador, cuja principal finalidade é a remoção de cálcio e magnésio.

Por final, as membranas de Osmose Reversa são utilizadas para garantir a remoção dos demais elementos químicos orgânicos e inorgânicos (WARD, 2011).

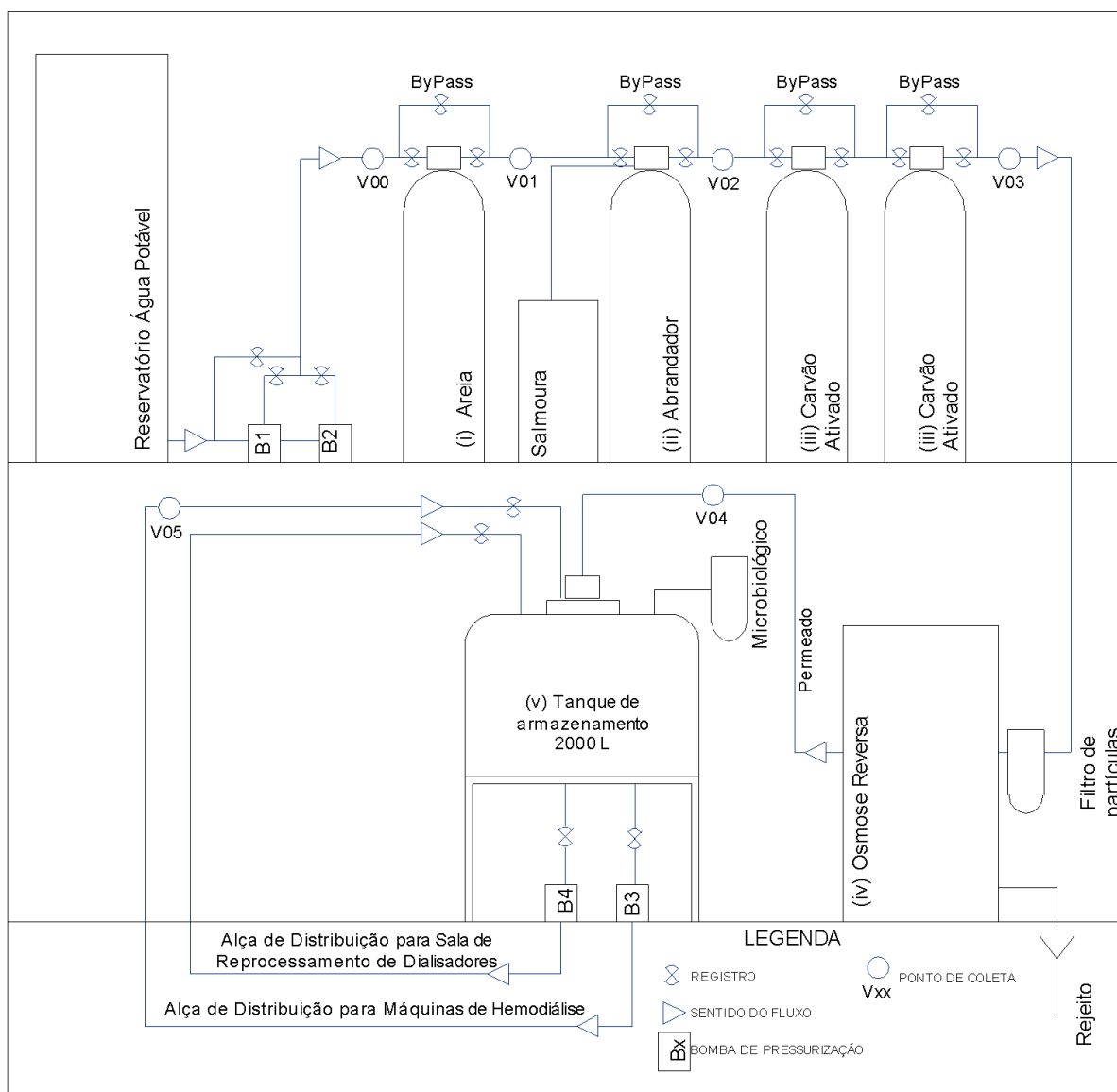
De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº 11 (BRASIL, 2014), a *água para hemodiálise* poderá ser armazenada, quando necessário, em tanque hermeticamente fechado, dotado de fundo cônico e de material apropriado para que não haja contaminações.

A distribuição da mesma deve ser realizada em tubulação ou alça de distribuição em formato de *loop*, de maneira que água retorne para o tanque com pressão suficiente para manter o regime turbulento (BRASIL, 2008).

Esse mecanismo previne a formação de biofilme no interior da canalização, já que a *água para hemodiálise* não possui defensivos como o

cloro, por exemplo, o qual seria considerado um contaminante perigoso para a terapia renal (BRASIL, 2014; RIELLA, 2010).

Figura 1 - Projeto esquemático de um tratamento de água. Fonte



Fonte: Autor

A Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº 11 (BRASIL, 2014) define todo o esse processo como “Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise” – STDAH, que consiste em estabelecer cada etapa pela qual a *água potável* deverá ser processada até chegar ao paciente renal. Conforme determinação desta Resolução, o STDAH é composto pelos

subsistemas:

- i. SAAP - Subsistema de Abastecimento de Água Potável
- ii. STAH - Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise
- iii. SDATH - Subsistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise

2.4.1 SAAP - Subsistema de Abastecimento de Água Potável

Compreende os equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a partir do ponto de alimentação da clínica para fins de armazenagem e distribuição até chegar ao Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise STAH.

Esse subsistema é composto pelo encanamento de entrada, sistema de bombas, reservatórios elevados e tubulação de distribuição interna. O mesmo deve conter ponto de coleta de água de abastecimento para análise em conformidade com a Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº 11 (BRASIL, 2014) e Portaria do Ministério da Saúde Nº 2914 (BRASIL, 2011).

Também deve possuir identificação dos ramais de derivação e distribuição da água armazenada e ponto de coleta antes STAH, conforme descrito pela Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº 33 (BRASIL, 2008).

2.4.2 STAH - Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise

O Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise representa os equipamentos destinados ao tratamento da água potável, com o objetivo de alcançar os parâmetros definidos pela ANVISA para hemodiálise, através da Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº11 (BRASIL, 2014).

Esse subsistema é composto pelo pré-tratamento e pelo equipamento de osmose reversa OR. A função do pré-tratamento é eliminar partículas, silte, turbidez, com o uso de filtros de sedimentação, minimizar a dureza da água pelo filtro abrandador e adsorver o cloro e partículas orgânicas com o uso de

filtro de carvão ativado granular. Após esse processo de pré-tratamento o fluido irá passar pelo processo final, realizado pelas membranas de OR para remoção dos solutos dissolvidos (CONNOR et al., 2010; WARD, 2011).

2.4.2.1 Filtros de Sedimentação

A função principal destes filtros é a remoção de partículas em suspensão, cor, odor e turbidez. Normalmente os filtros mais utilizados são os filtros de areia ou filtros multicamadas com variações de granulometria. São também empregados filtros zeólitas, que possuem eficiência mais elevada em comparação à areia e necessitam de menor vazão para retrolavagem (LITER, 2018). O principal risco associado aos filtros de areia está na contaminação do mesmo por colonização e crescimento de algas, resultando no aumento da pressão interna e queda do fluxo de água (SILVA et al., 1996).

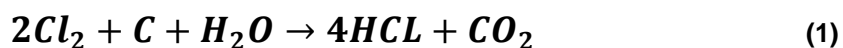
A operação correta do processo de retrolavagem requer que a camada filtrante seja fluidizada, expandindo-se em consequência do fluxo reverso da água. Esse procedimento deve ser baseado em vazões predeterminadas e controladas para atingir a eficácia desejada da limpeza e impedir perdas de areia da camada. Portanto, as vazões e as pressões apropriadas de retrolavagem que determinem a expansão correta da camada de areia estão sujeitas às características do modelo de filtro utilizado, da granulometria dos grãos e da uniformidade da areia (SALCEDO et al., 2011, p. 1227).

2.4.2.2 Filtros de Carvão Ativado

Os filtros de carvão são porosos com elevada área de superfície e têm alta afinidade por matéria orgânica. Esse filtro é capaz de adsorver compostos de várias naturezas e propicia as condições ideais para degradação biológica de substâncias orgânicas, além de ser utilizado para remoção de cor verdadeira, odores e sabores presentes na água (DUARTE, 2011).

Uma das principais funções da existência desse filtro em STAH é para a remoção do cloro livre, presente na água potável, cuja função é inibir o crescimento microbológico. Porém, além de ser considerado um contaminante

para água de hemodiálise (BRASIL, 2014), é um agente degradante para a membrana de OR (Filmetc, s.d.), ANEXO 1. As propriedades adsorventes do carvão ativado garante a remoção do cloro livre e pode ser determinada através da reação química abaixo (SCHIMIDT, 2011).



O carvão recomendado para uso em hemodiálise deve ser lavado a ácido, visando remoção de metais como o alumínio, por exemplo. Possuir índice de iodo maior do que 900 e granulometria de 12 x 40 Mesh ou menor. O tempo de contato da água com o leito de carvão ativado, *Empty Bed Contact Time (EBCT)*, recomendação pela AAMI é de 6 minutos para remoção de cloro livre e de 10 minutos para cloramina, sendo calculado pela razão entre a o volume (V) de carvão ativado e a vazão (Q) da água a ser tratada, (EBCT=V/Q). Na literatura internacional, é comum utilizar-se o volume (V) em pés cúbicos (ft³) e a vazão (Q) em galões por minuto (gpm), nesse caso é necessário multiplicar o resultado obtido por 7,48, ou seja, (EBCT=(V/Q)x7,48) (AMATO et al., 2013).

2.4.2.3 Filtros abrandadores

A dureza da água está relacionada com a presença de cátions bivalentes dissolvidos, mas principalmente dos íons de Cálcio (Ca⁺²) e de Magnésio (Mg⁺²) (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008). Ela pode ser classificada de acordo com o teor da dureza total como sendo doce, para índices inferiores a 75 mg/L de Carbonato de Cálcio (CaCO₃), moderadamente dura para valores entre 75 mg/L e 150 mg/L de CaCO₃, dura para concentrações de 150 a 300 mg/L de CaCO₃ e muito dura para níveis superiores a 300 mg/L de CaCO₃ (MENEZES et al., 2013).

Esses cátions são prejudiciais ao funcionamento das membranas de OR, reduzindo a sua vida útil. A utilização de filtros abrandadores antes da OR garante melhor desempenho e durabilidade. As resinas utilizadas nesses filtros

tem afinidade com os íons de Cálcio (Ca^{+2}) e Magnésio (Mg^{+2}), nas quais ocorrem a troca iônica pelos íon do Sódio (Na^{+}). Conforme o uso, essas resinas começam a saturar, sendo necessário realizar regenerações periódicas com cloreto de sódio (NaCl) (AMATO et al., 2013).

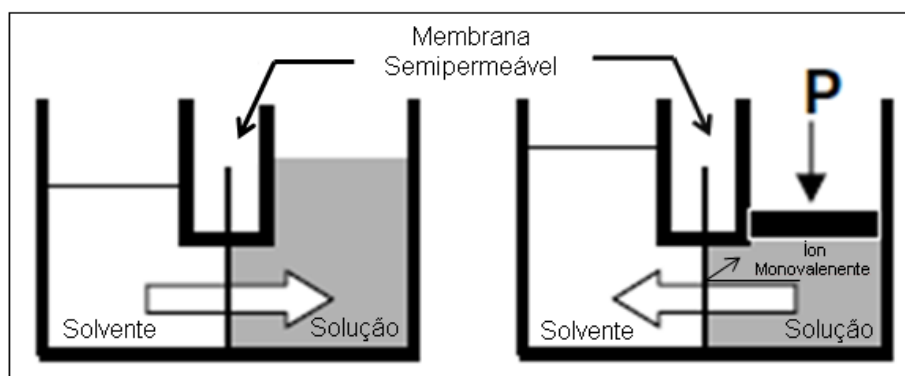
Visando maior vida útil dos filtros abrandadores, eles poderiam ser instalados após o filtro de carvão ativado, pois as resinas são sensíveis à presença do cloro. Porém, nessa configuração, há maior possibilidade de contaminação microbiológica, visto que há uma grande área sem proteção. Dessa forma, as clínicas de hemodiálise tendem a instalar o filtro abrandador antes do filtro de carvão ativado, justamente para se evitar a contaminação do filtro e das membranas de OR. Embora haja, nessa configuração, uma perda de durabilidade da resina, o risco microbiológico é mais importante de ser evitado (AMATO et al., 2013).

2.4.2.4 Sistema de Osmose Reversa

Quando uma solução contendo solutos dissolvidos está separada por uma membrana semipermeável de um solvente puro, ocorrerá uma pressão osmótica. Este princípio fará com que apenas o solvente atravesse a membrana em busca do equilíbrio de concentração iônica. Quando uma pressão maior do que a pressão osmótica é aplicada no lado da solução, também haverá apenas a passagem de solvente pela membrana semipermeável, pois o soluto é um íon monovalente que será bloqueado pela membrana, como ilustrado na Figura 2. Essa técnica de separação por membrana é conhecida por Osmose Reversa (OR) (THAKUR et al., 2017).

O sistema de osmose reversa faz parte do processo de Separação por Membranas (PSM), conhecido como *crossflow* ou fluxo cruzado. Estas membranas são porosas ou semipermeáveis, cuja função é a separação da água das partículas sólidas de pequenos diâmetros, moléculas e até compostos iônicos dissolvidos. Este mecanismo de separação depende do gradiente de pressão hidráulica ou de um campo elétrico (WATANABE et al., 2008).

Figura 2– Princípio de uma Osmose Reversa



Fonte Adaptada: (ALLGEIER, 2005)

O PSM permite a retenção contínua das partículas e dos solutos na superfície da membrana, os quais são removidos no concentrado que flui tangencialmente ao longo da superfície da mesma (TEIXEIRA, 2001). Os processos de SPM incluem a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF), a nanofiltração (NF) a osmose reversa (OR), a diálise (DI) e a eletrodialise (ED). A Figura 3 representa um espectro de filtração e o Quadro 3 – Características Gerais dos processos de Separação por Membranas (PSM) .

No caso dos processos de separações por MF, UF, NF e OR o gradiente hidráulico é força motriz necessária. Na diálise, a força motriz resultante é a diferença de concentração entre os meios líquidos separados pela membrana, a passagem de íons e substâncias de baixos pesos moleculares ocorre ao mesmo tempo em que ocorre a rejeição de solutos e colóides com altos pesos moleculares (OENNING JR, 2006).

Foi entre a década de 1950 e 1960 que os sistemas de osmose reversa tiveram suas primeiras aplicações práticas, visando principalmente, a dessalinização da água do mar e da água salobra para uso em indústrias. O emprego deste princípio tinha como objetivo reduzir o consumo de água e de energia, controle da poluição e recuperação de materiais úteis (WATANABE et al., 2008)

Quadro 3 – Características Gerais dos processos de Separação por Membranas (PSM)

Tipos de Processo	Força atuante na Membrana	Tipo de Mecanismo de separação	Estrutura de operação (tam. Poro)	Faixa típica de Operação (μm)	Descrição do permeado	Tipos de elementos removidos
Microfiltração	Diferença de pressão hidrostática ou vácuo	Filtro	Macroporos (>50nm)	0,08 - 2,00	Água + solutos dissolvidos	SST, Turdez, protozoários, oócitos, cistos, algumas bactérias e vírus
Ultra filtração	Diferença de pressão hidrostática	Filtro	Mesoporos (2-50nm)	0,005 - 0,2	Água + pequenas moléculas	Macromoléculas, colóides, a maioria das bactérias e alguns vírus, proteínas
Nanofiltração	Diferença de pressão hidrostática	Filtro + Dissolução, difusão + exclusão ou separação	Microporos (<2nm)	0,001 - 0,01	Água + pequenas moléculas, íons dissolvidos	Pequenas Moléculas, dureza e vírus
Osmose Reversa	Diferença de pressão hidrostática	Dissolução, difusão + exclusão ou separação	Desnso/opaco (<2nm)	0,0001 - 0,001	Água, pequenas moléculas, íons dissolvidos	Moléculas muitos pequenas, cor, dureza, sulfatos, nitratos, sódio, outros íons
Diálise	Diferença de concentração	Difusão	Mesoporos (2-50nm)	--	Água + pequenas moléculas	Macromoléculas, colóides, a maioria das bactérias e alguns vírus, proteínas
Eletrodialíse	Força Eletromotriz	Troca iônica com seleção de membranas	Microporos (<2nm)	--	Água + íons dissolvidos	íons de sais ionizados

Nota:
SST - Sólidos Suspensos Totais

Fonte: OENNING JR, 2006

O tratamento de água por Osmose Reversa é considerado o primeiro e mais eficiente PSM dentro da categoria *crossflow*, a qual emprega membranas semipermeáveis para a separação dos contaminantes da água (PENTAIR, 2018). O emprego de tratamento por osmose reversa possibilita uma água extremamente pura do ponto de vista físico, químico e bacteriológico, com índices de retenção de contaminantes químicos entre 95% a 99% e retenção de praticamente todas as bactérias, fungos, algas e vírus, além de reter os pirogênicos e os materiais proteicos de alto peso molecular (AMATO et al., 2013).

Essa retenção será concentrada e drenada como *água de rejeito*. Os sistemas de OR utilizados em clínicas de hemodiálise normalmente já trabalham com um percentual de recuperação dessa água na ordem de 50% a

75%. Com isso, parte da *água de rejeito* será recuperada pelo sistema, sendo adicionada à entrada do sistema (AMATO et al., 2013).

Este reaproveitamento é calculado a partir da vazão de entrada de água na OR (Q_e) e da vazão de água permeada (Q_p), com base na Equação (2). Normalmente, os equipamentos utilizados são dotados de rotômetros que medem instantaneamente os fluxos de permeado Q_p e de rejeito (Q_r), portanto o fluxo de entrada pode ser determinado pela Equação (3). Quanto maior o percentual de recuperação ($R\%$), menor quantidade de água descartada (ALLGEIER, 2005).

$$R\% = \frac{Q_p}{Q_e} \quad (2)$$

$$Q_e = Q_p + Q_r \quad (3)$$

$R\%$ - Porcentagem de Recuperação (*Recovery*)
 Q_p – Vazão de água produzida ou *água para hemodiálise*
 Q_e – Vazão de água de entrada ou *água potável*.
 Q_r – Vazão de *água de rejeito*

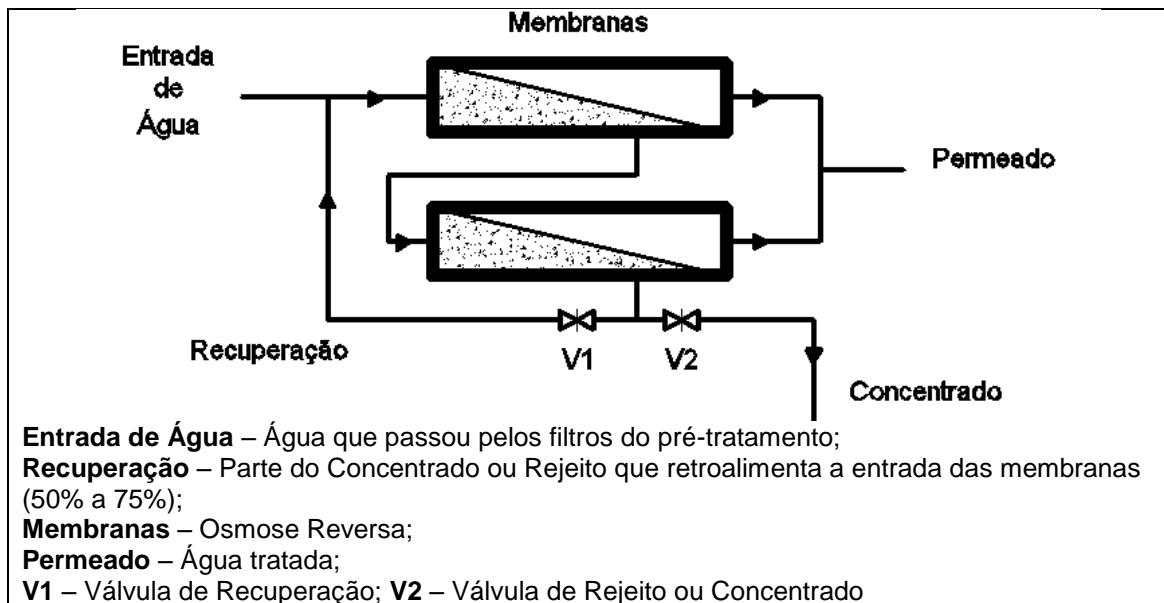
2.4.2.5 Sistema de OR Simples Passo e Duplo Passo

Existem duas configurações principais para o tratamento de água por Osmose Reversa utilizados em clínicas de hemodiálise:

- i) O primeiro e mais comum é o Sistema de Simples Passo, Figura 4, no qual a água de entrada é permeada apenas uma vez pelas membranas. Nesse sistema, existe apenas um rejeito, ou concentrado, que normalmente é direcionado para a rede de esgoto. Parte desse rejeito pode ser recuperado, entre 50% a 75%, conforme a configuração do sistema (AMATO et al., 2013)
- ii) O segundo sistema é o Duplo Passo, Figura 5, que vem sendo utilizado em substituição ao primeiro, por apresentar menor condutividade da água tratada, garantido padrões de Água Purificada ou PW (*Pure Water*) para uso farmacêutico (GRELA, 2004). Isso ocorre devido ao fato da água ser duplamente permeada, ou seja, o produto do primeiro passo passa novamente

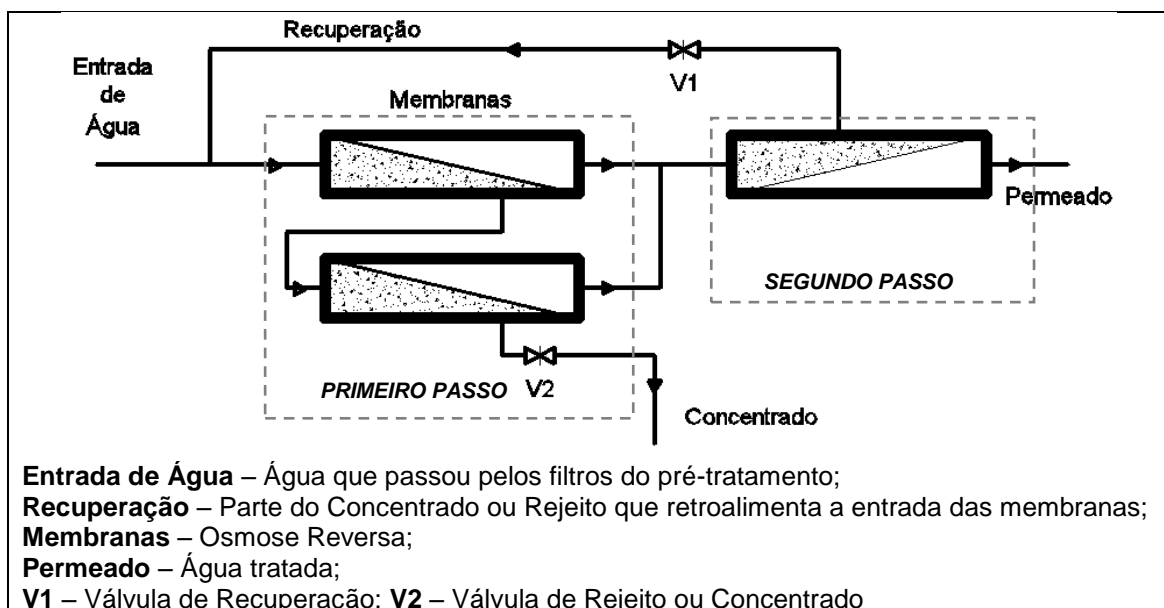
por um sistema de membranas, gerando um segundo concentrado. O primeiro rejeito é totalmente descartado e o segundo, normalmente retroalimenta o primeiro passo, sendo diluído na água de entrada.

Figura 4 – Sistema de Osmose Reversa de Simples Passo.



Fonte: Autor

Figura 5 – Sistema de Osmose Reversa de Duplo Passo.



Fonte: Autor

2.4.3 SDATH - Subsistema de distribuição de água tratada para hemodiálise

Esse sistema é responsável pelo armazenamento de água tratada por OR, esse tanque deve ser constituído de material opaco, liso, resistente, impermeável, inerte e isento de amianto, deve também possuir sistema de fechamento hermético que impeça contaminações provenientes do exterior, deve possuir fundo cônico e acesso para inspeção, limpeza e desinfecção e filtro microbiológico para entrada e saída de ar, conforme recomendação do Ministério da Saúde, através da Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº11 (BRASIL, 2014).

A distribuição da água deverá ser:

Dotado de sistema fechado de recirculação contínua de água 24 (vinte e quatro) horas por dia, 7 (sete) dias por semana e a uma velocidade que garanta regime turbulento de vazão no retorno do loop de distribuição ao tanque, durante o funcionamento de todas as máquinas (BRASIL, 2014, p. 42).

2.5 REÚSO DE ÁGUA

A gestão dos recursos hídricos é uma necessidade cada vez mais notável, sendo mais efetiva no continente europeu e no norte da América. Em vários países, a água de reuso, já é considerada como uma das fontes principais de água, juntamente com a de superfície, subterrânea e pluvial (CARVALHO et al., 2014).

Fatores como o desperdício e as perdas de água devem ser levados em consideração, visando melhor controle e redução dos mesmos. No Brasil, de acordo com Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), as perdas de água na distribuição são de aproximadamente 40%, sendo que em cidades da Alemanha, Japão e Austrália, esse índice é menor que 16%. O programa REÁGUA (Programa de Apoio de Recuperação de Água), desenvolvido pelo Banco Mundial e pela Secretaria de Saneamento e Recursos

Hídricos do Estado de São Paulo, foca em três componentes quantitativos: i) redução de perda real; ii) uso racional de água e iii) reuso de efluentes tratados (ABES, 2013).

O reuso de efluentes, tema dessa pesquisa, de acordo com a (CETESB, 2018), pode ser desenvolvido através de reutilização direta ou indireta, por ações planejadas ou não. Dessa forma, as fontes de água de reuso são:

- *Reuso indireto não-planejado da água*: Acontece quando a água utilizada é descarregada no meio ambiente e novamente aproveitada, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada.

- *Reuso indireto planejado da água*: Processo que descarrega os efluentes de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, que por sua vez são utilizadas de maneira controlada, no atendimento de alguma necessidade.

- *Reuso direto planejado das águas*: É aquele cujos efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso. Esse método já está sendo praticado por algumas indústrias e em irrigações.

- *Reciclagem de água*: Reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Funciona como uma fonte suplementar de abastecimento do uso original. A reciclagem da água é um caso particular do reuso direto planejado (CARVALHO et al., 2014).

Segundo NUNES (2012), o tratamento de águas residuárias pode ser realizado através dos seguintes processos:

- i) Físicos, como: gradeamento, peneiramento, sedimentação, floculação, decantação, filtração, osmose reversa, resfriamento, entre outros;
- ii) Químicos: coagulação, correção de pH, homogeneização, precipitação, oxidação, redução, adsorção, troca iônica, eletrodialise, desinfecção, entre outros;
- iii) Biológicos: lodos ativados, lagoas de estabilização, lagoas aeradas, filtros biológicos, biodiscos, reatores anaeróbios,

Dentre os processos físicos, o Processo de Separação por Membranas (PSM) é considerado um eficiente e avançado tratamento para efluentes industriais, sendo que a Osmose Reversa (OR) tem se destacado

principalmente no reuso de efluentes, no tratamento industrial e na dessalinização de água do mar (WOSNIAK, 2016).

2.5.1 Reaproveitamento de água em clínica de hemodiálise

Estudo realizado no setor de Nefrologia do Conjunto Hospitalar de Sorocaba (CHS) sugere que é possível o reaproveitamento da *água de rejeito* em lavanderias, caldeiras ou mesmo a diluição na caixa de água central do hospital (TELLES et al., 2010).

Segundo AGAR (2012), embora a Hemodiálise seja um das terapias, na área de saúde, que mais consomem água, ainda não há grande preocupação com o impacto ambiental que a mesma produz. O autor ressalta que a água do rejeito é altamente filtrada e apresenta condutividade ligeiramente superior ao da água mineral comercialmente consumida, além possuir gosto indistinguível à mesma.

A qualidade da *água de rejeito* atende às quatro classes de reuso prevista na a NBR 13969/97. Isto implica na condição adequada para usos que requeiram contato direto com o usuário, ou seja, na irrigação de pomares, pastagens de gados, manutenção de lagos, paisagismo, lavagem de automóveis, uso em chafarizes e descargas de vasos sanitários (FARIA et. al., 2016).

Em clínica de hemodiálise de Canterbury (Kent, Reino Unido) há estudos sobre o reaproveitamento do rejeito, o qual era formado por dois sistemas de OR instalados em paralelo, em 1997, cujo volume de rejeito era bem significativo. Em 1999, foi implantado um sistema para utilização de parte desse volume em descargas de sanitários. Já em 2007, houve uma reformulação do equipamento que passou de uma instalação em paralelo para uma instalação em série, visando recuperação desse efluente. Um sistema similar foi instalado também em clínica de Ashford (Kent, Reino Unido), em ambos os casos, o rejeito do segundo passo é redirecionado para o primeiro, minimizado o desperdício (CONNOR et al., 2010).

Outros estudos internacionais também sugerem a necessidade do reuso de água em hemodiálise, adotando termos como “*Green Hospital*”, “*Ecodialysis*”, “*Green dialysis*”. Nesses estudos, há a preocupação com alternativas para reutilização da água do rejeito, questões sobre a qualidade da mesma, visando segurança e preservação do meio ambiente, sem comprometer a terapia realizada pelas clínicas de hemodiálise, com custos e consumo de energia de implantação reduzidos (AGAR, 2009; AGAR, 2012; AGAR, 2013; AGAR, 2015; PONSON et al., 2014; TALESKI & NEJADKOORKI, 2016; AL-GHAMDI, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo está descrita, de forma detalhada, a metodologia de pesquisa e as etapas necessárias para o seu desenvolvimento, visando reutilizar a água descartada pelos filtros, durante o processo de retrolavagem e também do descarte de *água de rejeito*.

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia de pesquisa adotada na presente dissertação é definida a partir de uma abordagem sistêmica, no qual, a partir de um evento associado ao desperdício de água em clínicas de hemodiálise, pretende-se desenvolver um sistema geral de reaproveitamento dessa água, através da implantação de um modelo de tratamento desse efluente e observar os resultados, trabalhando com os mesmos para alcançar menor desperdício.

A pesquisa tem objetivos exploratórios, de natureza qualitativa e quantitativa. A fonte de resultados foram duas clínicas de hemodiálise da cidade de Curitiba, com dados coletados através de estudos longitudinais em relação ao tempo. Tem caráter de estudo experimental associado ao estudo de caso, a partir de implantação de um sistema de tratamento do rejeito e do reuso de água de retrolavagem em descarga de sanitários e limpeza de calçadas.

3.2 FONTE DE DADOS - DEFINIÇÕES DOS LOCAIS DE ESTUDO

A presente pesquisa foi realizada nos STAH de duas clínicas de hemodiálise da cidade de Curitiba-PR. A clínica 01 possui 32 máquinas de hemodiálise e com isto pode atender até 96 pacientes. Já a clínica 02 tem 41 máquinas, atendendo até 123 pacientes ao dia.

Ambas as clínicas atendem em três turnos diários, sendo que cada turno dura em média quatro horas. Os STAHS adotados para garantirem a qualidade de água, estabelecida pela Resolução RDC 11/2014, são formados pelos filtros de areia, abrandador, carvão ativado e uma unidade de osmose reversa em duplo passo para a clínica 01 e simples passo para a clínica 02

Na clínica 01 já existia um reaproveitamento da *água de rejeito* para descargas e limpeza de calçadas e nessa clínica foi gerada a maior parte dos resultados dessa pesquisa, sendo que na clínica 02 foi instalado um sistema de reaproveitamento de água do rejeito posteriormente, visando comparações entre os sistemas empregados.

3.2.1 Descrição do Sistema Empregado na clínica 01

Em outubro de 2015 foi instalado um sistema de osmose reversa para tratamento da *água de rejeito* da clínica 01, conforme a Figura 6. A partir daqui os sistemas serão tratados em dois processos:

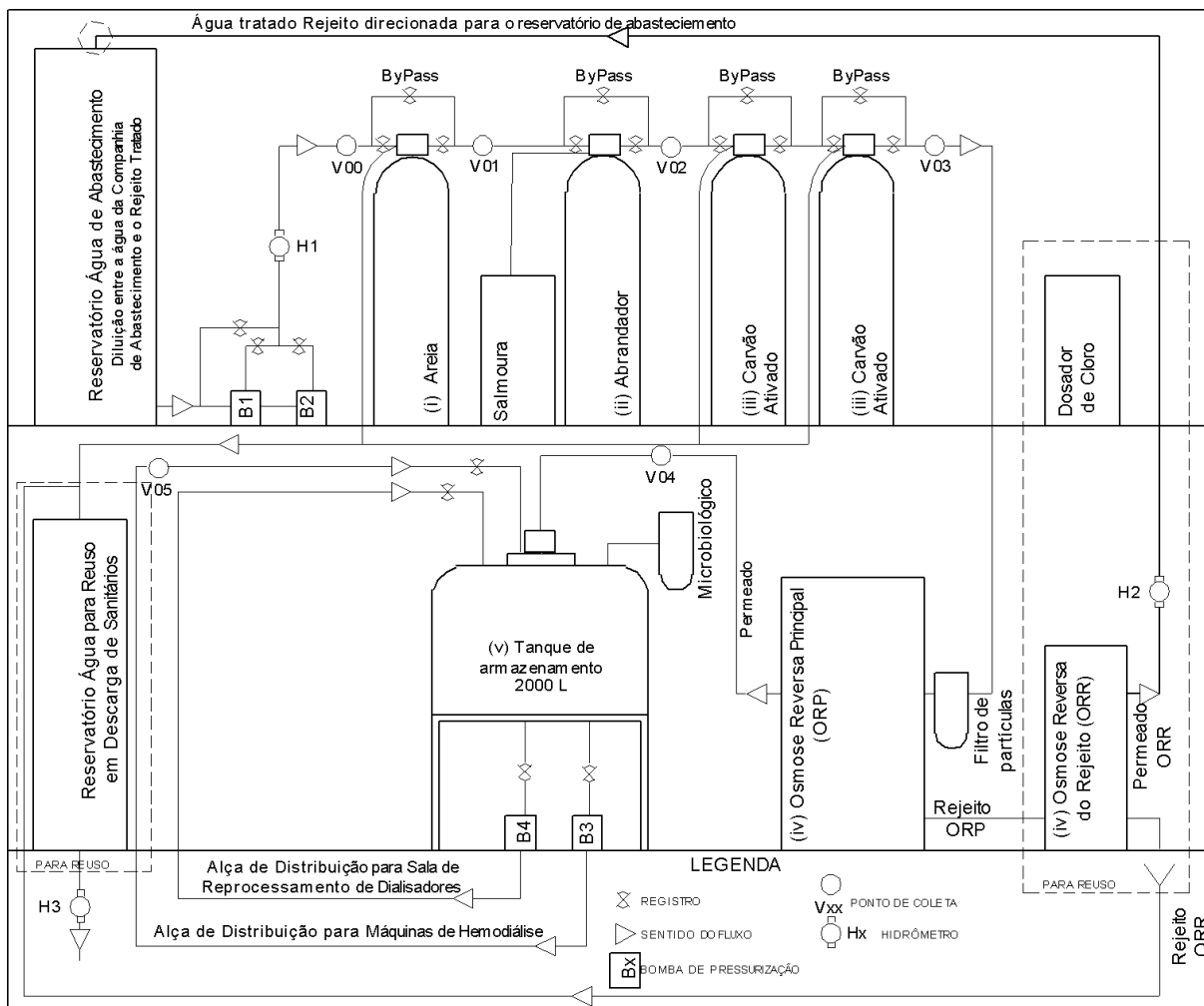
- i) ORP, ou Osmose Reversa Principal, responsável pela produção de *água para hemodiálise*;
- ii) ORR, ou Osmose Reversa do Rejeito, cuja função é a recuperação de parte da *água de rejeito*.

A partir dessa instalação toda a água concentrada do primeiro passo da ORP será tratada e o produto da mesma será desviado para a cisterna de abastecimento de água potável para uso exclusivo do STAHS. O objetivo desse processo é monitorar a qualidade da água de entrada no STAHS, que a partir desse momento, deixa de ser somente potável e passa a ser uma mistura ou diluição entre o produto da ORR e água de abastecimento.

Nesse caso, haverá um tempo de detenção antes dessa mistura retornar aos filtros do STAHS. Como o cloro da água de abastecimento teve sua concentração reduzida, foi empregado um dosador de hipoclorito de sódio para compensar, visando inibir qualquer crescimento microbológico. O concentrado final da ORR será destinado ao uso nas descargas dos sanitários e limpeza de

calçadas.

Figura 6 – Sistema de tratamento de água do rejeito da CLÍNICA 01



Fonte: Autor

O equipamento ficou em observação até maio de 2016, para ajustes e adaptação à ORP. Nessa fase, a água produzida pela mesma era descartada para avaliação de segurança, até que os resultados foram considerados confiáveis. Logo após esse período, no mês de julho, o sistema foi adaptado para reutilização da água descartada durante a retrolavagem dos filtros de areia, abrandador e carvão ativado.

Conforme a Figura 7, foram separados reservatórios e cisternas para armazenamento de cada etapa da distribuição da água, conforme a mesma era tratada.

Inicialmente a cisterna (C1) armazena a água de abastecimento e também o volume permeado pela ORR. Essa água fica mais diluída em relação à original, proveniente da companhia de abastecimento. Depois é transferida por bombas hidráulicas para os reservatórios (R1) e (R2), com o abastecer o STDAH.

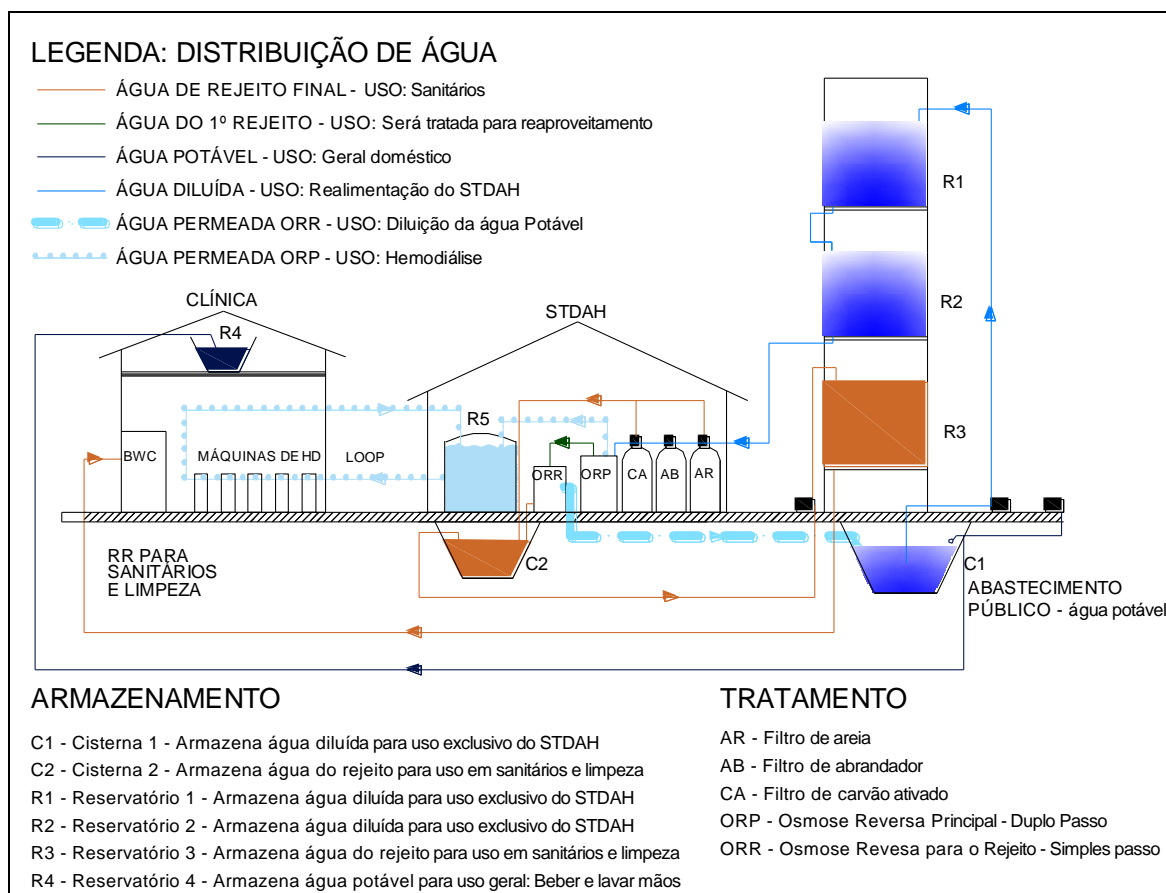
A água tratada, ou seja, aquela que passou pelos filtros de areia, abrandador, carvão ativado e ORP, é direcionada ao reservatório R5, para distribuição através da alça de distribuição (*loop*) para uso nas máquinas de hemodiálise e sala de reprocessamento de dialisadores. O rejeito gerado pela ORP é direcionado para tratamento na ORR, sendo que o volume permeado por essa é direcionado para C1.

Já o volume rejeitado pela mesma, ou concentrado final é armazenado na cisterna (C2), juntamente com o volume de descarte da retrolavegem dos filtros de areia e carvão. Essa água é direcionada ao reservatório (R3) para distribuição por gravidade com o intuito de reúso nas descargas dos sanitários e limpezas externas.

Foi separado um pequeno reservatório (R4) de 1000 litros para uso doméstico, permitindo assim que a *água potável* fosse utilizada nos pontos onde há contato humano, como lavatórios, pias, chuveiros, bebedouros e também para as cubas especiais destinadas a higienização do braço onde há a fístula arteriovenosa dos pacientes em hemodiálise.

O objetivo desse cuidado foi garantir água potável para uso onde o mesmo é exigido e reaproveitar a água descartada do STAH para reúso no próprio sistema, tomando como referência os padrões e normas de qualidade de água para a hemodiálise.

Figura 7 – Armazenamento e distribuição da água para fins de reúso

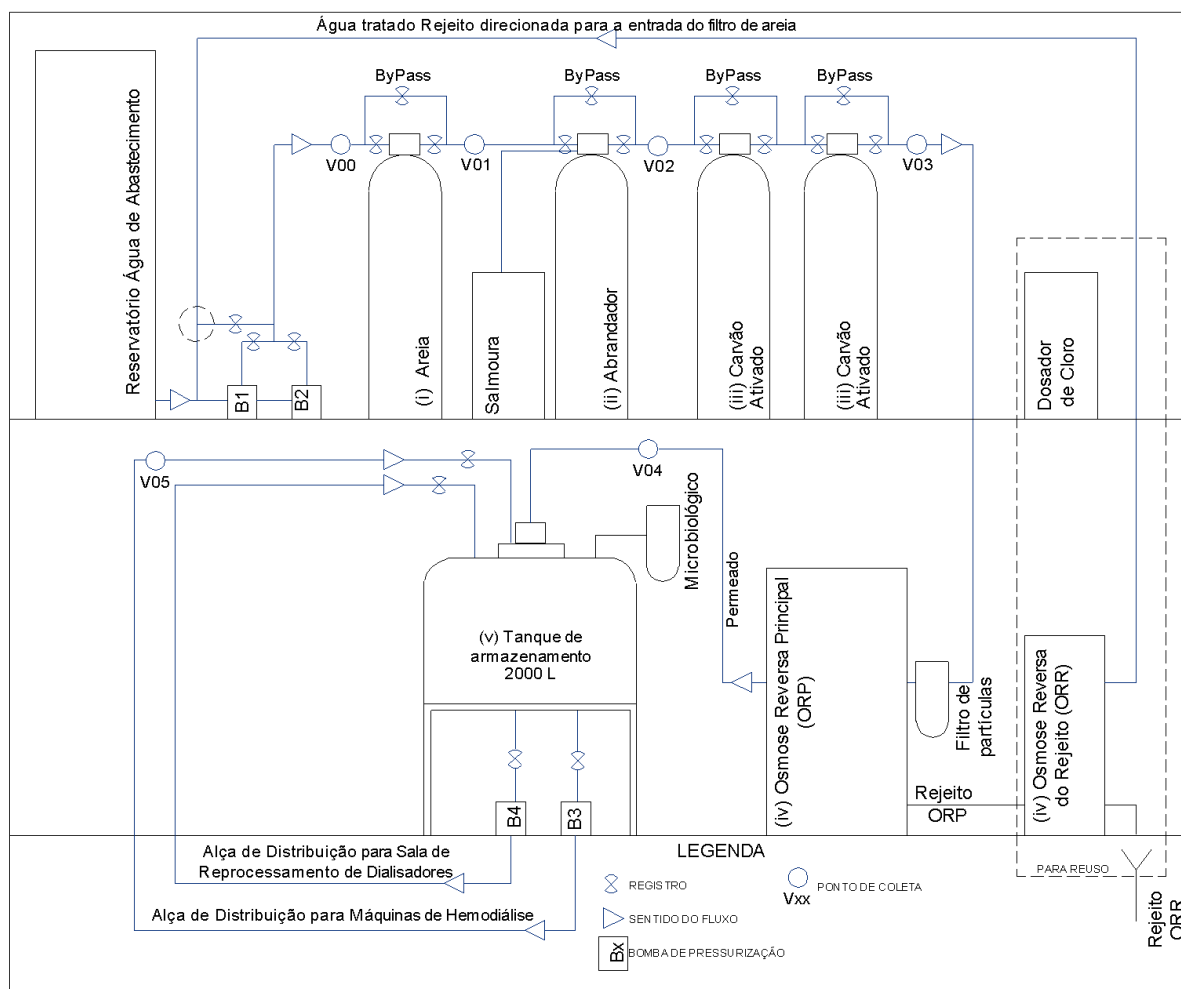


Fonte: Autor

3.2.2 Descrição do Sistema Empregado na clínica 02

Em setembro de 2016, foi instalado um equipamento de osmose reversa simples passo, reaproveitado de outra clínica do grupo, como tratamento de rejeito do equipamento da clínica 02. Como essa clínica não possui a mesma estrutura da clínica 01, esse equipamento reformulado, foi utilizado de forma que o produto do mesmo seja direcionado para a entrada do pré-tratamento, sem uso de cisterna ou tanque de armazenamento e mistura, Figura 8. Nesse caso, a diluição entre a água permeada dessa ORR e a água de abastecimento ocorre dentro dos próprios filtros, sem tempo de detenção.

Figura 8 - Sistema de tratamento de água do rejeito da CLÍNICA 02



Nesse caso, as pressões geradas pelas bombas hidráulicas do pré-tratamento irão influenciar na pressão exercida pela saída da ORR e vice-versa. Neste tipo de instalação, foi necessária maior atenção para regular as pressões, e vazões, sem comprometer com os sistemas e sem gerar danos aos equipamentos.

Nesse tratamento de água também foi instalado um dosador de cloro, visando minimizar possíveis focos de formação de biofilmes ou surgimento de micro organismos.

3.3 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

Essa sessão descreve os processos utilizados para determinação dos volumes de água consumidos pelas respectivas clínicas, sendo que na clínica 01, foi monitorada cada etapa, gerando dados mais precisos. Quanto a clínica 02, a função nessa pesquisa é poder comparar os dados entre as clínicas, usando apenas os dados principais gerados pelos medidores existentes no próprio equipamento e as leituras realizadas pela companhia de saneamento.

3.3.1 Processos empregados na clínica 01

As medições ocorreram em três fases de consumo distintos: A primeira (F_1), foi demarcada pelo período em que somente se utilizava a água do rejeito para descargas dos sanitários e limpezas externas. A segunda (F_2), é a etapa em que foi instalado o sistema de reaproveitamento pela ORR e a terceira (F_3), quando também foi realizado o reúso da água das retrolavagens dos filtros.

Para monitorar o volume de água utilizado na clínica 01, além do uso do hidrômetro de abastecimento (H_a) instalado pela companhia de saneamento, foram instalados mais três medidores, conforme indicação na Figura 6, para a hidrometria dos seguintes pontos:

- i) H1 – Hidrômetro instalado na entrada de água no STAH;
- ii) H2 – Hidrômetro instalado na saída do rejeito da ORR;
- iii) H3 – Hidrômetro instalado na saída de água para reuso em sanitários e limpeza da clínica;

A hidrometria de (H1) indica o volume utilizado pelo STAH (V_1), que é composto pela somatória do volume de entrada (V_E) de água na ORP e da quantidade de líquido utilizado para a retrolavagem ou *backwash* (V_{BW}) dos filtros de areia, abrandador e carvão ativado, conforme a Equação 4.

$$\sum V_1 = \sum V_E + \sum V_{BW} \quad (4)$$

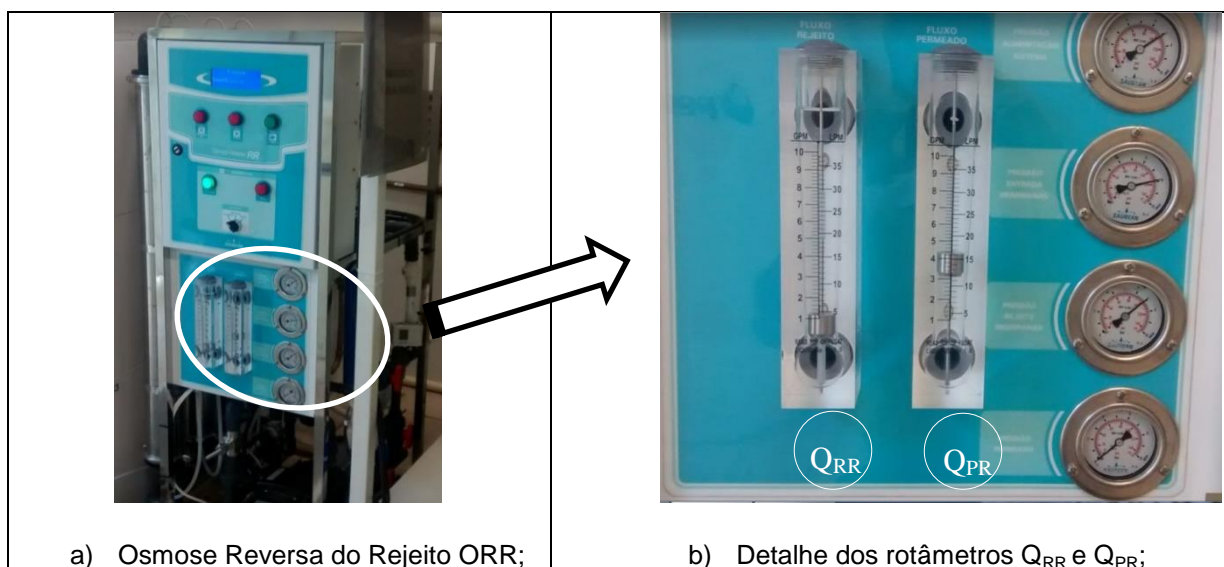
Para a determinação de (V_E) foi necessário, além do monitoramento de H_2 , a leitura dos rotâmetros, que são medidores de fluxo contínuos, instalados nas ORR e ORP, para as medições das vazões de água do rejeito (V_R) e de permeado (V_P) dos respectivos equipamentos. A determinação desses volumes foi realizada da seguinte maneira:

- I) Primeiramente foi desmembrado a Equação 4 na Equação 5, para a determinação do Volume de entrada de água na ORP (V_E).

$$V_E = V_P + V_R \quad (5)$$

- II) Depois, foram realizadas as leituras dos fluxos de água de permeado (Q_{PR}) e de rejeito (Q_{RR}) da ORR, ilustrados na Figura 9;

Figura 9 – Equipamento para tratamento da água do rejeito – Detalhes dos rotâmetros



- III) Com esses dois dados são possíveis o cálculo da porcentagem de recuperação do sistema de tratamento do rejeito ($\%Re_{CORR} = Q_{PR} / (Q_{PR} + Q_{RR})$), conforme as às equações (2) e (3) da sessão 2.4.2.4 e a determinação da vazão de Rejeito da ORP, que é a soma dada pela Equação 6 entre Q_{PR} e Q_{RR} ;

$$Q_{R1} = Q_{PR} + Q_{RR} \quad (6)$$

- IV) Tomando-se um intervalo de tempo adequado para a pesquisa, transforma-se a equação de vazão em volume, ao se multiplicar o tempo desejado em ambos os membros da Equação 6.

$$V_{R1} = V_{PR} + V_{RR} \quad (7)$$

- V) Como se conhece o volume do rejeito da ORR, através do monitoramento de H₂, aqui denominado por V₂, e tendo calculado a porcentagem de recirculação dela (%Rec_{ORR}), pode-se determinar o volume de água do rejeito da ORP V_{R1} através das equações:

$$V_{R1} = \frac{V_{PR}}{\%Rec_{ORR}} \quad (8)$$

$$V_{R1} = \frac{V_2}{(1-\%Rec_{ORR})} \quad (9)$$

- VI) Conhecendo-se os fluxos de *água para hemodiálise* (Q_{P2}) e de rejeito da ORP (Q_{R1}), ilustrados na Figura 10, pode-se determinar a vazão de entrada de água na mesma (Q_E), que é o somatório desses dois fluxos, demonstrados na Equação 10 e, multiplicando-se ambos os membros da Equação 11 pelo tempo, tem-se o volume utilizado no intervalo desejado, de acordo com a Equação 8.

$$Q_E = Q_{P2} + Q_{R1} \quad (10)$$

$$V_E = V_{P2} + V_{R1} \quad (11)$$

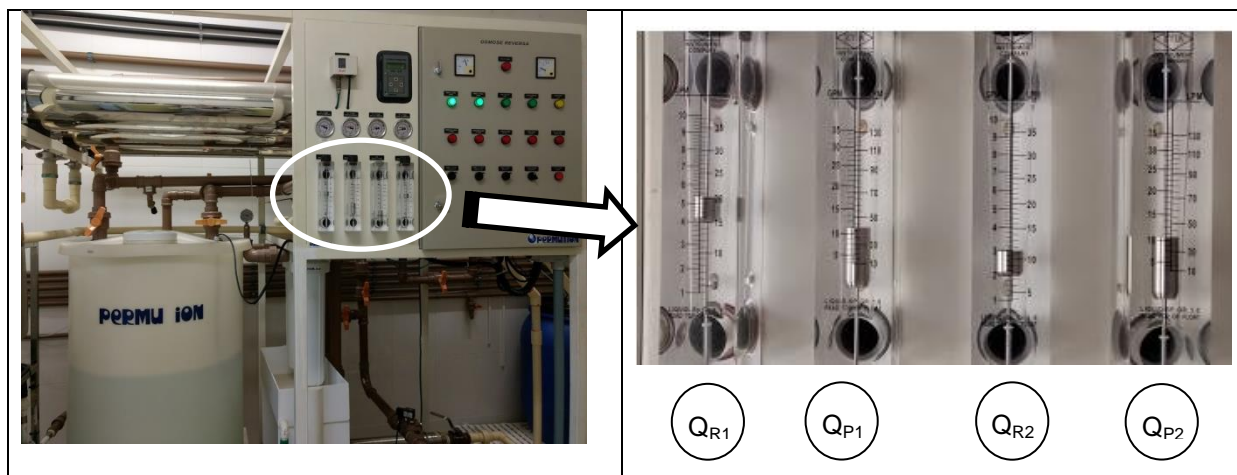
- VII) Utilizando-se da equação de rendimento $\eta = Q_{saída}/Q_{Entrada}$, tem-se:

$$\eta = \frac{Q_{P2}}{Q_{P2} + Q_{R1}} \quad (12)$$

Com o rendimento η calculado e V_{R1} determinado na Equação 9, calcula-se o volume de água para hemodiálise V_{P2} , de acordo com a Equação 13:

$$V_{P2} = \frac{\eta(V_{R1})}{(1-\eta)} \quad (13)$$

Figura 10 – Equipamento para tratamento da água para hemodiálise – Detalhes dos rotâmetros



a) Osmose Reversa do Rejeito Principal ORP;

b) Detalhe dos Rotômetros Q_{R1} , Q_{P1} , Q_{R2} , Q_{P2} ;

Assim, através das Equações 9 e 13, têm-se os volumes de água do rejeito da ORP (V_R) e do permeado da mesma (V_P), respectivamente. Retornando a Equação 4, pode-se determinar o restante de água utilizado para a retrolavagem dos filtros (V_{BW}), conforme a Equação 14:

$$V_{BW} = V_1 - V_E \quad (14)$$

Como o hidrômetro H3 está monitorado o volume de água utilizado para limpeza de calçadas e descargas dos vasos sanitários (V_3), pode-se determinar a porcentagem de reúso das águas descartadas pelo rejeito da ORR e da retrolavagem dos filtros, que são conhecidas em V_{RR} e V_{BW} , respectivamente, através da Equação 15:

$$\%Reúso = \frac{V_3}{V_{RR}+V_{BW}} \quad (15)$$

Finalizando, com os principais consumos de água da clínica determinados, faltou apenas determinar do volume de água potável para uso nas pias, lavatórios e chuveiros (V_{POT}), que pode ser obtido pela Equação 16, que é a diferença entre o volume medido pelo hidrômetro de abastecimento (V_a) e o volume monitorado pelo hidrômetro da entrada do STAH (V_1):

$$V_{POT} = V_a - V_1 \quad (16)$$

Também é possível determinar a vazão do rejeito da ORP através dos rotômetros instalados na mesma, que monitoram além do fluxo de rejeito (QR1): a) o fluxo de permeado do primeiro passo (QP1); b) o rejeito do segundo passo ou água de recirculação (QR2) e; c) o permeado do segundo passo ou *água para hemodiálise* (QP2), conforme a Figura 10.

3.3.2 Processos empregados na clínica 02

Nessa clínica apenas é recuperada parte do rejeito, o qual é tratado também por uma ORR e o produto da mesma é utilizado para realimentar o sistema de pré-tratamento, sem reservatório para este fim, conforme a Figura 8.

Com base nos fluxos indicados pela ORP de *água de rejeito* e de permeado, pode-se avaliar o quanto está sendo reaproveitado pela ORR, monitorando-se os rotômetros da mesma.

Da mesma forma, como realizado na clínica 01, será necessário calcular a porcentagem de recirculação da ORR e da ORP, que nesse caso é dotado de um sistema de simples passo.

Como base nas leituras realizadas pela companhia de saneamento do município, pode-se determinar a redução do consumo de água de abastecimento e calcular reúso da mesma.

3.4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Para garantir a qualidade de água destinada à hemodiálise foram realizadas, em ambas as clínicas, análises físico-químicas e microbiológicas em conformidade com a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC 8 (Brasil, 2001) e da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC 11 (BRASIL, 2014), que determinam os padrões para produção de Concentrado Polieletrólítico para Hemodiálise (CPHD) e os parâmetros de qualidade de *água para hemodiálise* respectivamente.

Como as portarias citadas requerem padrões semelhantes, porém distintos quanto à frequência de análises e a concentração máxima, foram adotados os parâmetros de segurança mais rigorosos de cada uma delas. Dessa forma, foi definido como referencia o Quadro 4, no qual está indicado os elementos analisados, o intervalo ou frequência de avaliação, o valor máximo permitido (VMP) e a resolução utilizada como referência.

Além das análises da *água para hemodiálise*, foram avaliados qualitativamente os seguintes pontos:

Água potável – diariamente após hidrômetro e reservatório R4 para as análises organolépticas e físico-químicas conforme o

Quadro 5, realizadas na própria clínica e mensalmente para análises microbiológicas (BRASIL, 2014), realizadas em laboratório externo.

Água diluída – Foram analisadas a condutividade, pH, e temperatura com o equipamento Hydra, a análise de turbidez foi realizada em laboratório terceirizado. Cor, odor e sabor foram avaliados através de análises sensoriais, conforme a NBR 12806 - Análise Sensorial dos Alimentos e Bebidas, (BRASIL, 1993). Também foram realizadas análises microbiológicas para bactérias heterotróficas e coliformes totais em laboratório externo.

Água de rejeito da ORR - as análises físico-químicas apresentadas no Quadro 6, foram realizadas na própria clínica, com auxílio dos equipamentos da Hanna, Hach e Hydra conforme a Figura 11.

Figura 11 – Equipamentos Utilizados para medição dos parâmetros físico-químicos.



Considerando que a água de origem do STDH passou a ser *água diluída*, foi observada a necessidade de dosagem de cloro para o controle microbiológico. Além disto, partindo do princípio que a mesma apresenta-se em menor concentração que a de origem potável, foi avaliado a possibilidade da redução da frequência para retrolavagem dos filtros, visto que os mesmos levariam mais tempo para atingir a saturação. Foram realizados testes de:

- Turbidez, antes de sedimentação;
- Dureza após filtro abrandador;
- Residual de cloro livre após filtro de carvão ativado;
- Diferencial de pressão entre cada filtro.

Quadro 4 – Adaptação das Resoluções RDC 08/2001 e RDC 11/2014

Parâmetro	Intervalo	VMP	Resolução
Amônia	Mensal	0,2 mg/L	RDC 08
Cálcio	Mensal	2 mg/L	RDC 08 e RDC11
Cloro Total	Semestral	0,1 mg/L	RDC 11
Cloramina	Semestral	-	Adotado
Condutividade	Semestral	10 µS	RDC 11
Fluoreto	Semestral	0,2 mg/L	RDC 11
Magnésio	Mensal	2 mg/L	RDC 08 e RDC11
Nitrato	Semestral	2 mg/L	RDC 11
Sólidos Totais	Mensal	10 mg/L	RDC 08
Sulfato	Mensal	100 mg/L	RDC 08 e RDC 11
Alumínio Total	Mensal	0,01 mg/L	RDC 08 e RDC 11
Antimônio Total	Semestral	0,006 mg/L	RDC 11
Arsênio Total	Semestral	0,005 mg/L	RDC 11
Bário Total	Semestral	0,1 mg/L	RDC 11
Berílio Total	Semestral	0,0004 mg/L	RDC 11
Cádmio Total	Semestral	0,001 mg/L	RDC 11
Chumbo Total	Mensal	0,005 mg/L	RDC 08 e RDC 11
Cobre Total	Semestral	0,1 mg/L	RDC 11
Cromo Total	Semestral	0,014 mg/L	RDC 11
Mercúrio Total	Mensal	0,0002 mg/L	RDC 08 e RDC 11
Potássio Total	Mensal	8 mg/L	RDC 08 e RDC 11
Prata Total	Semestral	0,005 mg/L	RDC 11
Selênio Total	Semestral	0,09 mg/L	RDC 11
Sódio Total	Mensal	70 mg/L	RDC 08 e RDC 11
Tálio	Semestral	0,002 mg/L	RDC 11
Zinco Total	Mensal	0,1 mg/L	RDC 08 e RDC 11

Quadro 5 - Características físicas e organolépticas da água potável – Quadro II da RDC 11 (BRASIL, 2014).

Característica	Parâmetro Aceitável	Frequência
Cor aparente	Incolor	Diária
Turvação	Ausente	Diária
Sabor	Insípido	Diária
Odor	Inodoro	Diária
Cloro residual livre	Água da rede pública maior que 0,2 mg/L; Água de fonte alternativa: maior que 0,5 mg/L	Diária
pH	6,0 a 9,5	Diária

Quadro 6 – Elemento para análise físico-química da água de rejeito da ORR

Elemento	Método	Equipamento
Amônia	<i>Adaptation of the ASTM Manual o Water and Enviromental Technology D1426-92</i>	<i>HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer – Hanna Instruments</i>
Cloro Livre	<i>Free and Total Chlorine by the DPD method</i>	<i>Chlorine (Free and Total) Reagent Set, DPD 5 mL</i>
Fosfato	<i>Adaptation of the Standard Methods for the Examination of Water Wasterwater 18th edition</i>	<i>HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer – Hanna Instruments</i>
Fósforo	<i>Adaptation of the Standard Methods for the Examination of Water Wasterwater 18th edition</i>	<i>HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer – Hanna Instruments</i>
Nitrato	<i>Adaptation of the cádmium reduction method</i>	<i>HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer – Hanna Instruments</i>
Nitrito	<i>Adaptation of the EPA Diazotization method 354.1</i>	<i>HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer – Hanna Instruments</i>
Condutividade	<i>Hand-held, syringe-style meter for quick and accurate measurement of conductivity,</i>	<i>Hydra Meter</i>
Dureza	<i>Total Hardness by the Drop Count EDTA Titration Method</i>	<i>Hardness (Total) Reagent Set for HA-71A Test Kit</i>
pH	<i>Hand-held, syringe-style meter for quick and accurate measurement of pH of the water</i>	<i>Hydra Meter</i>

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A demonstração dos resultados segue a mesma orientação do Capítulo 3, de Materiais e Métodos, em relação à sequência de apresentação dos dados obtidos. Seja através de leituras dos equipamentos, como através de cálculos para obtenção de cada volume de consumo das clínicas que fizeram parte dessa pesquisa. Finalizando com os laudos qualitativos, conforme a metodologia apresentada.

4.1 RESULTADOS QUANTITATIVOS DA CLÍNICA 01

Os primeiros dados relativos às medições diretas dos hidrômetros instalados na clínica 01 e concomitantemente dos rotômetros instalados na ORP e na ORR podem ser visualizados respectivamente no APÊNDICE A – Medição dos hidrômetros e determinação dos volumes de consumo diários e no APÊNDICE B – Medição dos Rotômetros e cálculo das Porcentagens de Recuperação.

Com base nos registros dos hidrômetros de abastecimento (Ha), de entrada no STAH (H1), de saída de rejeito da ORR (H2) e de reúso final (H3) foram obtidos respectivamente os consumos médios diários V_a , V_1 , V_2 e V_3 , conforme a Tabela 2, para cada intervalo de medição, denominados por: i) Fase A, antes da instalação da ORR; Fase B, após a instalação da ORR e; iii) Fase C, após a ORR e com redução da retrolavagem e reúso da mesma.

Tabela 2 – Volumes diários a partir das medições dos hidrômetros

Volume diário	Fase A (m ³)		Fase B (m ³)		Fase C (m ³)	
	Médi a	Desvio Padrão	Médi a	Desvio Padrão	Médi a	Desvio Padrão
V_a - Entrada na Clínica	25,69	4,02	20,14	3,23	17,47	1,67
V_1 - Entrada no STAH	NM	NM	25,41	4,86	23,49	1,76
V_2 - Rejeito	8,00	1,63	1,70	0,32	1,45	0,63
V_3 - Sanitários - Limpeza	1,61	0,56	1,75	0,43	1,46	0,16

Fase A – Antes da ORR
Fase B – Depois da Instalação da ORR
Fase C – Após ORR e redução da retrolavagem
NM – Não monitorado

Da Tabela 2 já é possível observar a redução de *água de rejeito* de $8 \pm 1,63\text{m}^3$ por dia para $1,7 \pm 0,32 \text{ m}^3$ na fase B e uma medida ainda menor na Fase C, de $1,45 \pm 0,63 \text{ m}^3$. Da mesma forma, percebe-se menor volume de abastecimento diário que era $25,69 \pm 4,02 \text{ m}^3$ na Fase A, $20,14 \pm 3,23 \text{ m}^3$ na Fase B e $17,47 \pm 1,67 \text{ m}^3$ na Fase C.

A partir das medições dos rotômetros, indicadas no Apêndice B, foram calculadas as porcentagens de recuperação para cada etapa de purificação da água, utilizando as equações (2), $\%Rec = Q_p / Q_t$ e (3), $Q_t = Q_p + Q_r$, da sessão 2.4.2.4. Os valores obtidos referentes ao monitoramento dos fluxos podem ser consultados na Tabela 3 e a porcentagem de recuperação derivada dessas medidas na Tabela 4.

Tabela 3 – Média obtida dos fluxos mensurados pelos rotômetros

Fluxo Indicado pelos Rotômetros	Fase B (L/min)		Fase C (L/min)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Q_{r1} - Rejeito do Primeiro Passo	17,9	1,0	17,4	1
Q_{p1} - Permeado do Primeiro Passo	33,6	0,6	33,8	0,4
Q_e - Entrada na ORP ($Q_{r1}+Q_{p1}$)	51,5	1,6	51,2	1,4
Q_{r2} - Rejeito do Segundo Passo	9,5	0,8	9	0
Q_{p2} - Permeado do Segundo Passo	24,1	0,9	24,8	0,4
Q_{rr} - Rejeito da ORR	3,6	1,8	3	0,2
Q_{pr} - Permeado da ORR	14,0	1,5	14,7	0,5

Nota: (L/min) – Litros por minuto

Durante a Fase B, no primeiro passo, foi observado um fluxo médio de rejeito (Q_{r1}) de $17,9 \pm 1,0$ litros por minuto (L/min) para produção de $33,6 \pm 0,6$ L/min (Q_{p1}). Desse permeado são removidos pelas membranas do segundo passo $9,5 \pm 0,8$ L/min (Q_{r2}), que serão redirecionados para a entrada da ORP, restando para uso em hemodiálise, o permeado do segundo passo (Q_{p2}) de $24,1 \pm 0,9$ L/min.

A vazão média na entrada das membranas (Q_e) foi de $51,5 \pm 1,6$ L/min que é a soma entre o fluxo de rejeito (Q_{r1}) e de permeado (Q_{p1}) da primeira passagem. Nessa etapa de purificação foi alcançada uma porcentagem de recuperação média de 65%, ou seja, para cada litro de água na entrada do primeiro passo, são permeados 0,65 litros.

O fluxo de entrada nas membranas do primeiro passo é constituído pela Água Pré-Tratada (APT), proveniente dos filtros do ante ORP e da adição da recirculação do rejeito do segundo passo (Q_{r2}). Logo, o fluxo de APT é a diferença entre a entrada nas membranas (Q_e) e (Q_{r2}), conforme a Equação 17:

$$Q_{APT} = Q_e - Q_{r2} = 51,5 - 9,5 = 42,0 \text{ l/min} \quad (17)$$

Esse fluxo de APT também pode ser obtido pelo soma entre o fluxo de rejeito do primeiro passo (Q_{r1}) com o permeado da segunda passagem (Q_{p2}), indicado na Equação 18:

$$Q_{APT} = Q_{r1} + Q_{p2} = 17,9 + 24,1 = 42,0 \text{ l/min} \quad (18)$$

No segundo passo a porcentagem de recuperação foi de aproximadamente 72%, ou seja, dos $33,6 \pm 0,6$ L/min permeados pelo primeiro passo indicados em Q_{p1} , $24,2 \pm 0,8$ L/min atravessam a membrana de OR do segundo passo produzindo a *água para hemodiálise*, mensurada em Q_{p2} .

Concluindo a Fase B, obteve-se a recuperação da ORP de $57\% \pm 2\%$, determina pelos resultados de fluxo obtidos em Q_{r1} e Q_{p2} , através da equação de recuperação, $\%Rec_{(SISTEMA)} = Q_{p2} / (Q_{r1} + Q_{p2})$. Isso significa que para cada litro de APT, são produzidos $0,572 \pm 0,026$ litros de *água para hemodiálise*.

Durante a Fase C, após as alterações das retrolavagens, visando minimização e reúso, não houve significativas mudanças dos fluxos monitorados, porém elas são suficientes para alterar a porcentagem de recuperação da ORP e da ORR, unissonante a Tabela 4.

Tabela 4 – Porcentagem de Recuperação nas Fases B e C

Porcentagem de Recuperação	Fase B		Fase C	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
%Rec _{P1} - Primeiro Passo da ORP	65%	1%	66%	1%
%Rec _{P2} - Segundo Passo da ORP	72%	2%	73%	0%
%Rec_{ORP} - Osmose Reversa Principal	57%	2%	59%	1%
%Rec_{RR} - Osmose Reversa do Rejeito	80%	7%	83%	1%
%Rec_{Sistema} - Recuperação do Sistema	87%	5%	89%	1%

Ao se observar essa tabela, percebe-se durante a Fase B, que para cada litro de água que entra no STAH, 650 mL são direcionados ao segundo passo e desse volume, 72% torna-se água própria para hemodiálise e o restante é redirecionado para a entrada da ORP.

Ainda na Fase B, o volume de água permeado na ORP foi de 570 mL para cada litro de água que entra no equipamento, ou seja, 57% ± 2%. Entretanto, com a adição da ORR foi possível recuperar 80% ± 7% do rejeito produzido pela ORP, ou para cada litro de rejeito, 800 mL são recuperados e reintroduzidos na cisterna de abastecimento do STAH.

Na Fase C, os percentuais sofreram pequenas variações em relação à Fase B, destacam-se as porcentagens de recuperação da ORP de 59% ± 1% e da ORR de 83% ± 1%. Esses percentuais de ambas as fases serão utilizados na determinação do volume de água que entra na ORP (V_E) e da quantidade de líquido utilizada para retrolavagem (V_{BW}), tendo como premissa as equações da sessão 3.3.1, (4) $\Sigma V_1 = \Sigma V_E + \Sigma V_{BW}$, e (5), $V_E = V_P + V_R$, que é a soma do permeado com o rejeito.

Primeiramente foi determinado o volume de rejeito do primeiro passo (V_{R1}) utilizando a equação (9), $V_{R1} = V_2 \cdot (1 - \%Rec_{CORR})^{-1}$. Nesse caso, o volume do rejeito da ORR (V_2) é originado da medição do hidrômetro (H2), cuja média para cada fase está indicada na Tabela 2.

A partir da determinação de (V_{R1}) e tomando como base a equação (3), da sessão 2.4.2.4, calcula-se o permeado da ORR (V_{PR}), que é a diferença entre (V_{R1}) e (V_2), já que este é o volume total que entra na ORR. A partir de (V_{R1}), calcula-se ademais o permeado da ORP (V_{P2}), através da equação (13), $VP2 = \eta \cdot (VR1) \cdot (1 - \eta)^{-1}$, sendo (η) a porcentagem de recuperação da ORP, ou

seja, 57% para a Fase A e 59% para a Fase B, conforme a Tabela 4.

Os resultados dessas operações estão sintetizados em (V_{PR}), (V_{R1}) e (V_{P2}) na Tabela 5, na qual também são conhecidos os valores de (V_a), (V_1), (V_2) e (V_3), pela média das medições dos hidrômetros, consoante a Tabela 2.

O volume utilizado nas retrolavagens (V_{BW}) foi determinado pela equação (14), $V_{BW}=V_E-V_1$, em $5,25\text{m}^3/\text{dia}$ na Fase B, sendo admitido o mesmo valor na Fase A. Para a Fase C, houve uma redução para $2,46\text{m}^3/\text{dia}$, graças ao reúso desse efluente e também pela menor quantidade de retrolavagens nos filtros de areia e abrandador.

Finalmente, faltou apenas a determinação da porção de água necessária para os lavabos, pias, chuveiros e bebedouros, ou seja, para outros fins (V_4). Nesse caso, foi estimado um consumo total (V_c) que é a soma da quantidade de abastecimento com os volumes de reúso, ou seja, dos sanitários (V_3), do permeado da ORR (V_{PR}) e da economia gerada pela otimização da retrolavagem (V_5).

$$V_c = V_a + V_3 + V_{PR} + V_5 \quad (19)$$

Tabela 5 – Volumes de água obtidos para os principais consumos da clínica

Consumos	Fase A		Fase B		Fase C	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%
V _c Consumo Total	27,30	(100%)	28,75	(100%)	28,48	(100%)
V _a Abastecimento	25,69	(94%)	20,14	(70%)	17,47	(61%)
V ₁ Entrada no STAH	24,77	(91%)	25,41	(88%)	23,49	(82%)
V ₂ Concentrado Final da ORR	0,00	(0%)	1,70	(6%)	1,45	(5%)
V ₃ Sanitários e Limpeza	1,61	(6%)	1,75	(6%)	1,46	(5%)
V _{PR} Permeado do Rejeito pela ORR	0,00	(0%)	6,87	(24%)	7,10	(25%)
V _{R1} Rejeito Inicial da ORP	8,00	(29%)	8,57	(30%)	8,55	(30%)
V _{P2} Permeado para Hemodiálise	11,51	(42%)	11,59	(40%)	12,15	(43%)
V _{BW} Retrolavagem	5,25	(19%)	5,25	(18%)	2,79	(10%)
V ₄ Lavabos, chuveiros, bebedouros	0,92	(3%)	1,60	(6%)	1,08	(4%)
V ₅ Redução na Retrolavagem	0,00	(0%)	0,00	(0%)	2,46	(9%)
V _g Ganho Econômico	1,61	(6%)	8,62	(30%)	11,01	(39%)

A partir desta estimativa de consumo total (V_C), deduz-se os volumes de entrada no STAH (V_1) e de reúso para sanitários (V_3) na Fase B e também o volume da economia da retrolavagem (V_5) na Fase C. Com esses algoritmos se obtém a quantidade de água utilizada para os outros fins (V_4), ou seja:

$$V_4 = V_C - V_1 - V_3 - V_5 \quad (20)$$

Igualando-se (V_C) das Equações (19) e (20), pode-se obter o volume para outros fins (V_4) com base na Equação (21):

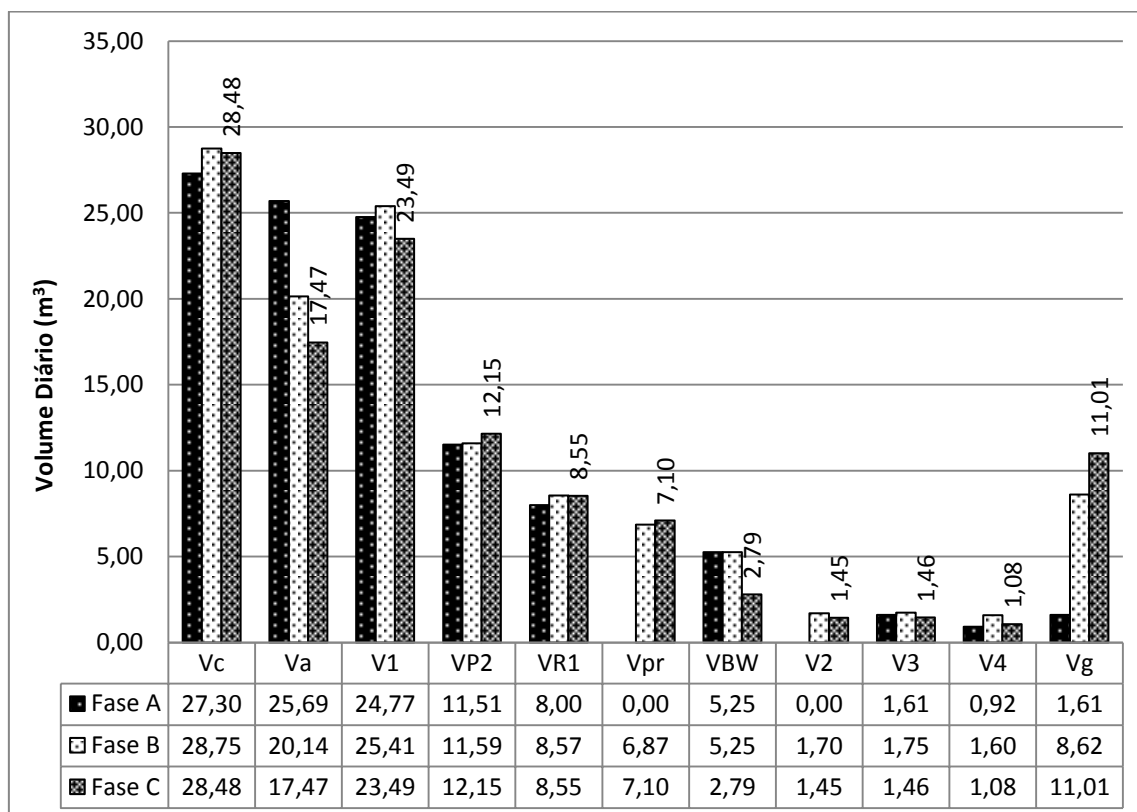
$$V_4 = V_a + V_{PR} - V_1 \quad (21)$$

Com o objetivo de ilustrar os consumos apresentados na Tabela 5, foi gerado o Gráfico 1, no qual se pode observar que a quantidade de água de entrada no STAH (V_1), que é a soma do permeado e do rejeito da ORP, (V_{P2}) e (V_{R1}) respectivamente, não sofreu significativa alteração, permanecendo entre 23,49m³/dia e 25,41 m³/dia. Da mesma observação, tem-se um consumo para os sanitários (V_3) e outros fins (V_4) com pouca variação durante as três fases da pesquisa, permanecendo entre 1,46 m³/dia e 1,75 m³/dia para (V_3) e 0,92 m³/dia e 1,60 m³/dia para (V_4).

A redução do consumo de água se deve principalmente ao permeado gerado pela ORR (V_{PR}) de 6,87 m³/dia na Fase B e 7,10 m³/dia na Fase C, além do reúso e vasos sanitários e limpezas externas (V_3) de 1,75 m³/dia e 1,46 m³/dia nas respectivas fases e por fim, o volume reduzido nas retrolavagens de 2,46 m³/dia na etapa final.

A Tabela 5 e o Gráfico 1 ilustram os consumos de água comparativamente a um volume de consumo total (V_C) estimado, ou seja, na hipótese de não haver nenhum tipo de reúso. Essa análise permite a consecução de ganhos econômicos (V_g) de 6% na Fase A, 30% na Fase B e 39% na Fase C em relação à estimativa de consumo total (V_C).

Gráfico 1 – Volumes de água obtidos para os principais consumos de água da clínica



Vc	Consumo Total	V_{BW}	Retrolavagem
Va	Abastecimento	V₂	Concentrado Final da ORR
V₁	Entrada no STAH	V₃	Sanitários e Limpeza
V_{P2}	Permeado para Hemodiálise	V₄	Lavabos, chuveiros, bebedoros
V_{R1}	Rejeito Inicial da ORP	V_g	Ganho Econômico
V_{PR}	Permeado do Rejeito pela ORR		

Já na Tabela 6 estão comparados os consumos de água nos três principais dispêndios: i) para a hemodiálise; ii) para o descarte e; iii) demais consumos. Com base nos dados obtidos, foram calculadas as porcentagens em função da quantidade registrada pelo hidrômetro de entrada para abastecimento da clínica (He).

Tabela 6 – Consumo de água em função do abastecimento real

Volume de água	Sem Réuso		Fase A		Fase B		Fase C	
	m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%
Hemodiálise	11,51	(42%)	11,51	(45%)	11,59	(58%)	12,15	(70%)
Descartados	13,25	(49%)	11,65	(45%)	5,20	(26%)	2,79	(16%)
Demais Consumos	2,53	(9%)	2,53	(10%)	3,35	(17%)	2,53	(14%)
Total	27,30	(100%)	25,69	(100%)	20,14	(100%)	17,47	(100%)

Com o objetivo de facilitar a visualização dos dados dessa tabela, foram elaboradas as seguintes projeções:

Gráfico 2 – Porcentagem de Consumo de água sem reúso;

Gráfico 3 – Porcentagem de Consumo de água com reúso em sanitários (Fase A);

Gráfico 4 – Porcentagem de Consumo de água com tratamento do Rejeito (Fase B);

Gráfico 5 – Porcentagem de Consumo de água com tratamento do rejeito e reúso da retrolavagem (Fase C)

Gráfico 2 – Porcentagem de Consumo de água sem reúso

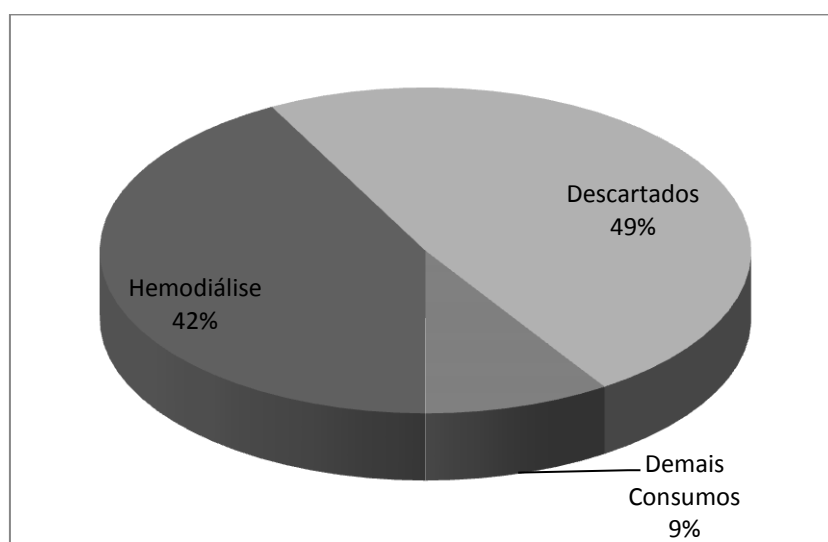


Gráfico 3 – Porcentagem de Consumo de água com reúso em sanitários (Fase A)

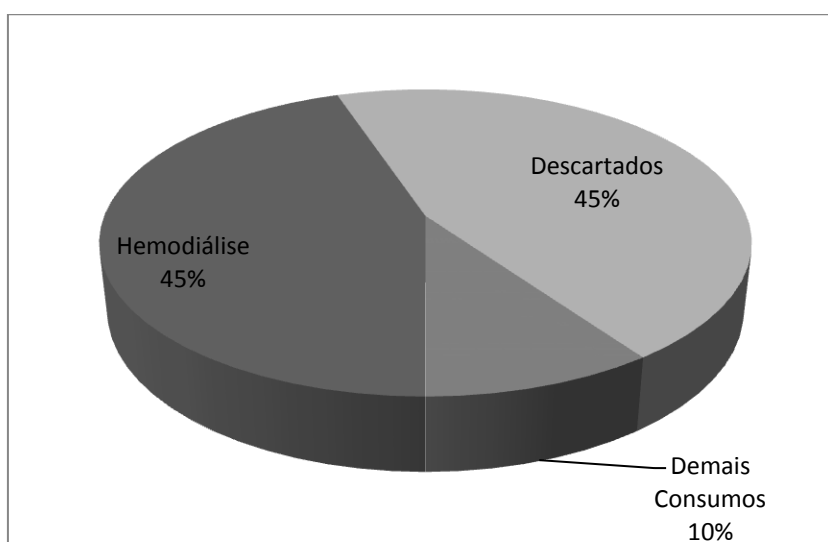
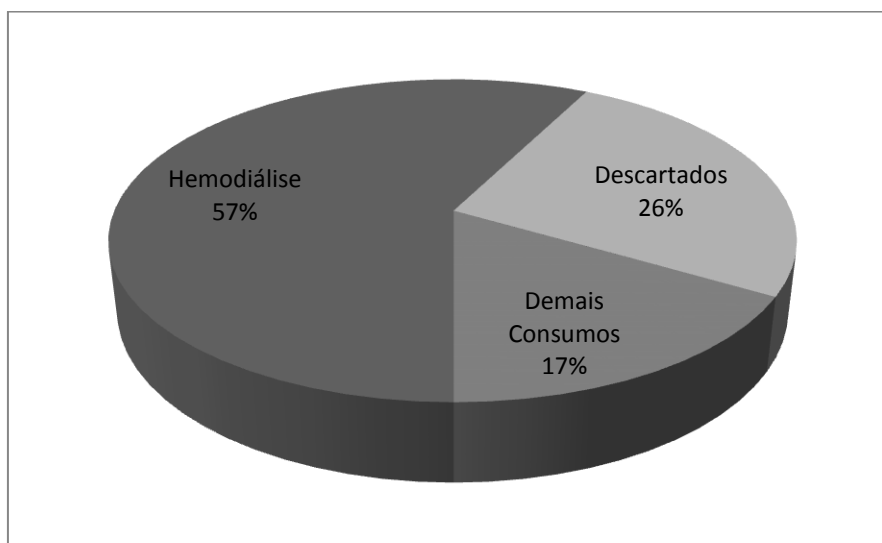
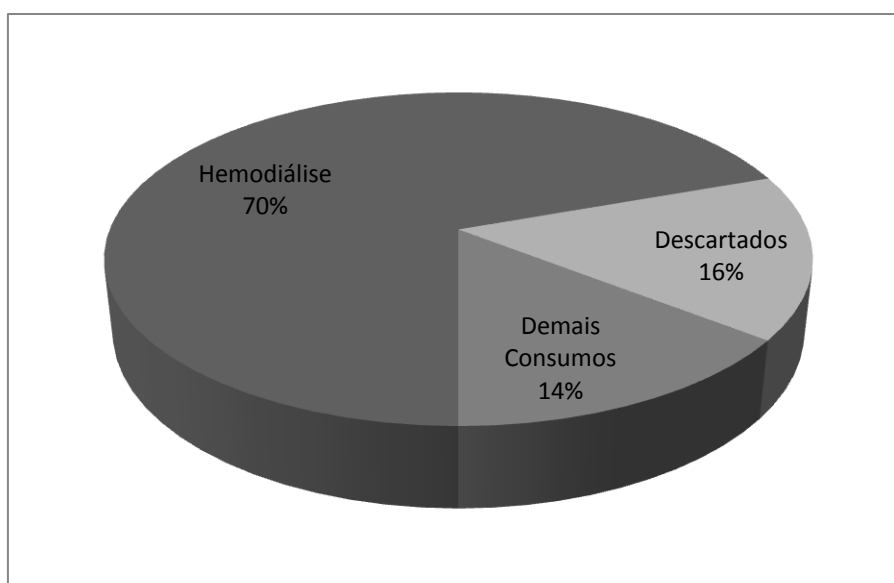


Gráfico 4 – Porcentagem de Consumo de água com tratamento do Rejeito (Fase B)**Gráfico 5 – Porcentagem de Consumo de água com tratamento do rejeito e reúso da retrolavagem (Fase C)**

O volume de água descartado para a rede de esgoto sem nenhum sistema de reaproveitamento foi de 49%, ou seja, é o maior consumo, seguido da quantidade de fluido utilizado para a hemodiálise, em 42% e os demais gastos somam apenas 9%.

Na Fase A, embora pouco significativo, já foi possível uma redução do volume descartado para 45%, igualando-se ao volume utilizado para hemodiálise. Os demais consumos somaram 10%.

Finalizando, as fases B e C alcançaram reduções bem mais significativas na quantidade de efluente gerado, sendo 26% na primeira e apenas 16% na última. Para hemodiálise foram consumidos 58% e 70% respectivamente e os demais consumos ficaram em 17% e 14% obedecendo à mesma ordem.

Conhecendo-se o consumo diário, foi determinada a quantidade de água por ano, para cada período de estudo desta pesquisa, com o objetivo de se estimar o volume necessário por sessão de hemodiálise. Os valores obtidos estão indicados na Tabela 7, juntamente com o total de sessões realizadas nos respectivas fases investigadas, conforme dados do ANEXO 2 – Dados de sessões de hemodiálise do Sistema de Gerenciamento de Centros de nefrologia – Dialsist.

Tabela 7 – Consumo de água por sessão de hemodiálise

Consumo de água		Volume Anual (m ³)	Sessões de HD	Volume por Sessão (l)*
Ano: 2011 Sem Reúso	Hemodiálise	4202	17.795	236
	Descartados	4838		272
	Demais Consumos	923		52
	Total	9963		560
Ano: 2011 Fase A	Hemodiálise	4202	17.795	236
	Descartados	4252		239
	Demais Consumos	923		52
	Total	9377		527
Ano: 2016 Fase B	Hemodiálise	4229	23.805	178
	Descartados	1899		80
	Demais Consumos	1222		51
	Total	7350		309
Ano: 2017 Fase C	Hemodiálise	4435	24.503	181
	Descartados	1017		42
	Demais Consumos	924		38
	Total	6376		260

* (l) litros

Dessa tabela, pode-se observar que o consumo total de água por sessão em 2017 foi de 260 litros, que é ligeiramente maior que a quantidade

permeada para hemodiálise em 2011, ou seja, 236 litros. Em outras palavras, no período antes da utilização da ORR para tratamento do rejeito e do reúso da retrolavagem dos filtros, o volume de água purificado para a terapia renal era semelhante ao volume total atual, que engloba a *água para hemodiálise* mais os consumos diversos e também o descarte.

O volume utilizado por sessão de hemodiálise teve uma redução nos últimos anos. Isso se deve principalmente pelo cumprimento da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC 11 (BRASIL, 2014), que inibe a realização de reprocessamento da linhas sanguíneas e do dialisador de pacientes com sorologia positiva para hepatite B, hepatite C (tratados ou não) e HIV, que em 2011 ainda era permitido.

O custo médio por metro cúbico de água tarifado para a clínica, já incluída a taxa de esgoto, ficou em aproximadamente R\$14,21 para o final de 2017, conforme as últimas faturas. A partir dessa despesa, calculou-se o valor contabilizado por sessão, na moeda nacional e também na moeda americana, com cotação do dólar a R\$3,31, conforme exibido na Tabela 8.

Tabela 8 – Custo da água por sessão de hemodiálise

Consumo de água	Volume		Custo/Sessão	
	(litros/Sessão)	%		
Hemodiálise	181	(43%)	R\$ 2,57	\$0,78
Descartados	42	(10%)	R\$ 0,59	\$0,18
Demais Consumos	38	(9%)	R\$ 0,54	\$0,16
Ganho Econômico	164	(39%)	R\$ 2,33	\$0,70
Total				
Sem ganho Econômico	424	(100%)	R\$ 6,03	\$1,82
Com ganho Econômico	260	(61%)	R\$ 3,70	\$1,12
Produção de água para HD				
Sem ganho Econômico	387	(91%)	R\$ 5,49	\$1,66
Com ganho Econômico	223	(52%)	R\$ 3,16	\$0,96
<i>Custo/m³ R\$ 14,21</i>			<i>Dólar Americano R\$ 3,31</i>	

De acordo com Tabela 8, o volume atual de água, necessário para todas as atividades da clínica, representa 61% da quantidade consumida no caso da unidade não possuir nenhum sistema de reúso de água. Com isso o custo total

passaria de R\$6,03 (US\$1,82) para R\$3,70 (US\$1,12) para cada sessão de hemodiálise. Isso representa uma economia real de R\$2,33 (US\$0,70) por terapia.

Como foram realizadas 24.503 sessões no ano de 2017, a economia nesse período foi de R\$57.091,99 (US\$17.152,10), ou seja, aproximadamente R\$4.757,67 (US\$1.429,34) por mês.

O custo para implantação do sistema foi R\$46.000,00, considerando-se o investimento na ORR mais as adaptações, manutenções e análises laboratoriais necessárias para qualificação da água produzida. Nesse cenário, o *pay back* foi de aproximadamente 10 meses.

Considerando que não houvesse nenhum tipo de tratamento para reúso da água descartada, seriam necessários 387 litros de água, incluindo o rejeito e o volume usado para a manutenção dos filtros durante as retrolavagens, para produzir 181 litros de água purificada para hemodiálise. O custo de acordo com a Tabela 8 seria R\$5,49 (US\$1,66) por terapia, representando 91% de todo o abastecimento. Entretanto, com as ações implementadas pela clínica, o volume necessário foi reduzido para 223 litros por sessão, e o custo passou a ser R\$3,16 (US\$0,96) por sessão de hemodiálise, ou seja, uma redução de 57,6%

4.2 RESULTADOS QUALITATIVOS DA CLÍNICA 01

As avaliações qualitativas semestrais estão indicadas na Tabela 9. Pode-se observar que todos os parâmetros físico-químicos monitorados atenderam aos padrões de qualidade exigidos pela Resolução RDC 11 (BRASIL, 2014) nos quatro semestres analisados.

Os parâmetros Alumínio, Antimônio, Arsênio, Berílio, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cloramina, Cloro, Cromo, Mercúrio, Prata, Selênio, Sulfato, Tálcio e Zinco totais não foram detectados pelos métodos empregados para as análises.

O parâmetro Bário Total apresentou nos primeiros semestres de 2016 e de 2017 medições de 0,0084 mg/L e 0,0078 mg/L respectivamente, porém

abaixo do valor máximo permitido pela RDC 11/2014 de 0,1 mg/L.

A condutividade permaneceu entre 3,25 μ S e 4,7 μ S, menor que 10 μ S, atendendo ao parâmetro da RDC 11/2014.

O Fluoreto apresentou 0,1 mg/L nas duas amostras realizadas em 2016, sendo seu valor máximo permitido de 0,2 mg/L.

O Magnésio teve uma única amostra em dois anos com 0,5 mg/L, sendo que o padrão máximo permitido pela RDC 11/2014 é de 2 mg/L.

No segundo semestre de 2016, o Nitrato total apresentou uma amostra que atingiu o limite máximo permitido de 2,0 mg/L, porém em conformidade com a RDC 11/2014.

Tabela 9 – Análises Físico-Químicas e Microbiológicas

Parâmetro	VMP	1º Semestre 2016	2º Semestre 2016	1º Semestre 2017	2º Semestre 2017
Alumínio Total	0,01	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Antimônio Total	0,006	<0,001	<0,001	<0,01	<0,001
Arsênio Total	0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Bário Total	0,1	0,0084	<0,005	0,0078	<0,005
Berílio Total	0,0004	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Cádmio Total	0,001	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Cálcio	2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Chumbo Total	0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cloramina	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cloro Total	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre Total	0,1	0,0089	<0,005	<0,005	<0,005
Condutividade	10	3,25	3,62	3,34	4,7
Cromo Total	0,014	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fluoreto	0,2	0,1	0,1	<0,1	<0,1
Magnésio	2	<0,2	<0,2	0,5	<0,2
Mercúrio Total	0,0002	<0,00017	<0,00017	<0,00017	<0,00017
Nitrato	2	<1	2	<0,1	<0,1
Potássio Total	8	0,82	0,28	0,16	0,031
Prata Total	0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Selênio Total	0,09	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sódio Total	70	1,07	0,65	0,31	0,35
Sulfato	100	<10	<10	<10	<10
Tálio	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zinco Total	0,1	<0,005	0,019	<0,005	<0,005

O Potássio total apresentou leituras bem distintas nos quatro semestres, sendo 0,82 mg/L e 0,28 mg/L para as amostras de 2016 e 0,16 mg/L e 0,031 mg/L para as medições de 2017. O padrão dado pela RDC 11/2014, permite

um valor máximo de 8,0 mg/L.

O Sódio total apresentou uma leitura maior que 1,0 mg/L no primeiro semestre de 2016, as demais foram de 0,65 mg/L, 0,31 mg/L e 0,35 mg/L para o segundo semestre de 2016 e para o primeiro e segundo semestre de 2017, nessa ordem. O máximo permitido pela RDC 11/2014 é de 70 mg/L.

Quanto aos parâmetros da RDC 08 (Brasil, 2001), das medições mensais realizadas, estão indicados na Tabela 10 os valores obtidos entre os meses de janeiro a agosto de 2016, apenas como referência, visto que durante a pesquisa, os laudos apresentados pelo laboratório estiveram em conformidade com a normativa da vigilância sanitária, com exceção do resultado do mês de junho de 2016, que apresentou 60 mg/L de sólidos totais, valor superior a 10 mg/L, que é o limite estabelecido pela RDC 08/2001.

Os parâmetros Amônia, Cálcio, Magnésio, Sulfato, Chumbo e Mercúrio não apresentaram medida mínima para a metodologia adotada, permanecendo bem abaixo do limite máximo especificado pela RDC 08/2001.

Tabela 10 – Medições obtidas dos laudos mensais referenciados pela RDC 08/2001

Parâmetro	VMP	01/16	02/16	03/16	04/16	05/16	06/16	07/16	08/16
Amônia	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cálcio	2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Magnésio	2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sólidos Totais	10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	60	2	<1,0
Sulfato	100	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Alumínio	0,01	<0,004	0,006	0,0079	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,0083
Chumbo	0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mercúrio	0,0002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Potássio	8	0,54	0,66	0,84	0,95	0,54	<0,005	0,093	<0,005
Sódio	70	0,64	<0,005	1,46	0,74	<0,005	0,21	1,32	<0,005
Zinco	0,1	<0,005	<0,005	<0,005	0,028	<0,005	<0,005	0,0097	<0,005

Unidades: mg/L

ND – Não detectado para 0,00017 mg/L

Chamam a atenção os resultados dos Sólidos totais que apresentaram uma única leitura de 60 mg/L, superior ao valor máximo permitido de 10 mg/L,

sendo que nas demais medições apresentadas, manteve-se inferior a medida mínima do método empregado pelo laboratório. Isso se deve possivelmente a uma falha de leitura ou coleta.

O Alumínio detectado nas amostras dos meses de fevereiro, março e agosto de 2016, com resultados de 0,006 mg/L, 0,0079 mg/L e 0,0083 mg/L, todos abaixo do valor máximo permitido de 0,01 mg/L.

O elemento Potássio foi detectado na maioria das amostras, porém com valores bem menores que o limite especificado de 8 mg/L, sendo a maior medição detectada em abril de 2016, com 0,95 mg/L.

O parâmetro Zinco somente foi detectado nos meses de abril e julho de 2016 com valores de 0,028 mg/L e 0,0097 mg/L, sendo que o valor máximo prescrito pela RDC 08/2001 é de 0,1 mg/L.

Na Tabela 11 são indicadas as avaliações diárias, determinadas com base na RDC 11/2014. Os resultados são satisfatórios, vistos que a maioria deles depende da perspicácia de quem está monitorando. Cor, turvação, sabor e odor apresentaram-se ausentes à percepção do operador. O cloro residual ficou entre 0,8 mg/L e 1,5 mg/L para água após o hidrômetro (H1) e menor que entre 0,5 mg/L e 1,0 mg/L após He, que monitoram a entrada de água do STAH e o abastecimento da clínica, respectivamente. O pH permaneceu dentro dos limites de 6,0 e 9,5.

Tabela 11 – Avaliações diárias com base no Quadro I da RDC 11/2014

Característica	Parâmetro Aceitável	Após Hidrômetro (Ha)	Após hidrômetro (H1)
Cor aparente*	Incolor	Conforme	Conforme
Turvação*	Ausente	Conforme	Conforme
Sabor	Insípido	Conforme	Conforme
Odor	Inodoro	Conforme	Conforme
Cloro residual livre	> 0,5 mg/L	0,5 mg/L a 1,0 mg/L	0,8 mg/L a 1,5 mg/L
pH	6,0 a 9,5	Conforme	Conforme

* Percepção visível sem auxílio de equipamentos

As análises físico-químicas realizadas da água de reúso, utilizada nas

descargas dos sanitários e limpezas das calçadas externa, estão indicadas na Tabela 12.

O parâmetro Amônia apresentou uma média de $0,43 \pm 0,15$ mg/L, considerado baixo, pois o valor admissível para água potável segundo a portaria 2914 (BRASIL, 2014), seria de 1,5 mg/L.

A condutividade foi mais alta nos primeiros meses, chegando a 0,9 mS pois nesse período ainda se utilizava a água da retrolavagem da resina do filtro abrandador, que está concentrada com o sódio da salmoura utilizada durante o processo de regeneração. Depois, optou-se por não utilizar mais esse efluente, limitando-se apenas ao reúso da retrolavagem dos filtros de areia e de carvão ativado. A partir disto, a condutividade baixou para 0,4 mS.

Tabela 12 – Resultados da qualidade da água para reúso

Parâmetro	20/12/16	25/01/17	07/02/17	16/05/17	30/08/17	Média	Desvio Padrão
Amônia	0,21 mg/L	0,59 mg/L	0,40 mg/L	0,39 mg/L	0,56 mg/L	0,43 mg/L	0,15 mg/L
Condutividade	0,9 mS	0,8 mS	0,8 mS	0,34mS	0,4 ms		
Dureza	>300 mg/L	>300 mg/L	>300 mg/L	10,0 mg/L	9,0 mg/L		
Ferro	0,3 mg/L	0,3 mg/L	0,2 mg/L	0,3 mg/L	0,3 mg/L	9,5 mg/L	0,71 mg/L
Fosfato	1,0 mg/L	0,10 mg/L	0,7 mg/L	0,2 mg/L	1,0 mg/L	0,6 mg/L	0,4 mg/L
Fósforo	1,6 mg/L	0,0 mg/L	0,3 mg/L	0,4 mg/L	0,7 mg/L	0,6 mg/L	0,6 mg/L
Nitrato	1,9 mg/L	2,9 mg/L	3,5 mg/L	1,8 mg/L	3,8 mg/L	2,8 mg/L	0,91 mg/L
Nitrito	0,0 mg/L	0,0 mg/L	0,02 mg/L	0,02 mg/L	0,0 mg/L	0,01 mg/L	0,01 mg/L
pH	8,2	7,3	7,9	7,90	8,10	7,88	0,35
Sulfato	85,0 mg/L	25,0 mg/L	55 mg/L	5,00 mg/L	35,0 mg/L	41,0 mg/L	30,5 mg/L

O mesmo ocorreu para Dureza total que era maior do que 300 mg/L e passou para 10 mg/L após a decisão de não se reaproveitar a água da retrolavagem do filtro abrandador.

O fosfato e o fósforo apresentaram média semelhante de 0,6 mg/L. No caso do fósforo, houve um desvio padrão um maior de 0,6 mg/L e o fosfato foi de 0,4 mg/L.

O Nitrato apresentou medidas variando entre 1,8 mg/L até 3,5 mg/L. Comparativamente a água potável, o mesmo permaneceu menor que 10 mg/L, que é o limite máximo para a mesma.

Quanto ao Nitrito, as medições apresentaram-se inferiores a 0,02 mg/L.

O valor máximo permitido para água potável é de 1,0 mg/L.

O pH dessa *água de rejeito* permaneceu alcalino, com média de 7,9. Essa medida também atende aos padrões para água potável.

A medida máxima obtida para o Sulfato foi de 85 mg/L, também inferior ao padrão de água potável de 250 mg/L.

Embora não seja o mais apropriado comparar esses resultados ao de água potável, pode-se constatar com essas medidas que a água deste rejeito se assemelha à água mineral ou subterrânea, cuja condutividade e a dureza são mais elevadas que as da água de superfície.

Da análise microbiológica realizada para a água do rejeito, pode-se observar que o sistema atende aos padrões de água potável, mesmo no rejeito final da ORR, conforme a Tabela 13 e Anexo 3.

Não houve presença de coliformes totais e a formação de bactérias heterotróficas apresentou 70 UFC/mL na água permeada pela ORR, esse nível está abaixo do limite máximo de *água para hemodiálise*, que segundo a RDC 11/2014, é de 100 UFC/mL, porém acima do limite de ação, que é 50 UFC/mL. Comparativamente a água potável, segundo a portaria 2914 (BRASIL, 2011), o limite máximo é de 500 UFC/mL, e nesse caso, o resultado também atende.

Tabela 13 – Análises Microbiológicas da água do rejeito

Parâmetro	Método	Rejeito da ORP	Rejeito da ORR	Permeado da ORR	Unidade
Bactérias heterotróficas	SM 9215 A E B	< 1,0	< 1,0	70	UFC/mL
Coliformes Totais	SM 9221 B e C	< 1,1	< 1,1	< 1,1	NMP/100mL
Endotoxinas Bacterianas	USP XXX	> 0,25	> 0,25	< 0,25	UE/mL

NMP = Número mais Provável; UFC = Unidade Formadora de Colônia; EU = Unidade de Endotoxina

Não há parâmetro de endotoxinas na portaria 2914/2011 para água potável. Nas análises realizadas utilizou-se o padrão de leitura de 0,25 EU/mL adotado como limite máximo para água utilizada em hemodiálise, conforme a RDC 11/2014.

Comparativamente a esta essa norma, apenas a água permeado da ORR apresentou resultado inferior ao limite desejado, porém essas três fontes

de água não são utilizadas para este fim, mas para reabastecimento do STAH e para descargas dos sanitários e limpeza dos pátios. Portanto, permanece em conformidade com os padrões de água potável.

Das análises microbiológicas da água após o reservatório de reúso (R3), que alimenta as descargas dos sanitários e pátios externos para limpeza, foi possível observar a importância da dosagem de cloro ao mesmo, conforme resultados da Tabela 14, na qual se observa nos meses de novembro de 2016 e fevereiro de 2017, que houve um número maior do que 100 unidades formadoras de colônia, quando a pastilha de cloro utilizada havia sido consumida por completo.

Nas demais datas em que havia a presença da pastilha de cloro, os resultados apresentaram-se satisfatórios tanto para bactérias heterotróficas, quanto para coliformes totais.

Tabela 14 – Análise microbiológicas após reservatório R3 para água de reúso

Data	Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	Coliformes Totais (UE/mL)
16/11/2016	>100	-
19/12/2016	<1,0	<1,1
07/02/2017	>100	<1,1
14/02/2017	<1,0	<1,1
19/02/2018	2,0	-

NMP = Número mais Provável; UFC = Unidade Formadora de Colônia.

Outro resultado importante foi à redução de parâmetros como condutividade e dureza da água de entrada no STAH, conforme a Tabela 15, após a mistura entre a água de abastecimento e o permeado da ORR. Nela, pode-se observar uma condutividade de 82% a 91% da condutividade da água de abastecimento, após a mistura, e uma dureza total entre 65% a 67% em relação a da entrada.

Tabela 15 – Avaliação da condutividade e da dureza da água de abastecimento e após diluição pelo permeado da ORR

Amostras	Condutividade		Dureza Total	
	Abastecimento (He)	Pós diluição (H1)	Abastecimento (He)	Pós diluição (H1)
01	105µS	86 µS (82%)	65 mg/L	41 mg/L (63%)
02	96 µS	82 µS (85%)	60 mg/L	39 mg/L (65%)
03	98 µS	89 µS (91%)	51,3 mg/L	34,2 mg/L (67%)

4.3 RESULTADOS DA CLÍNICA 02

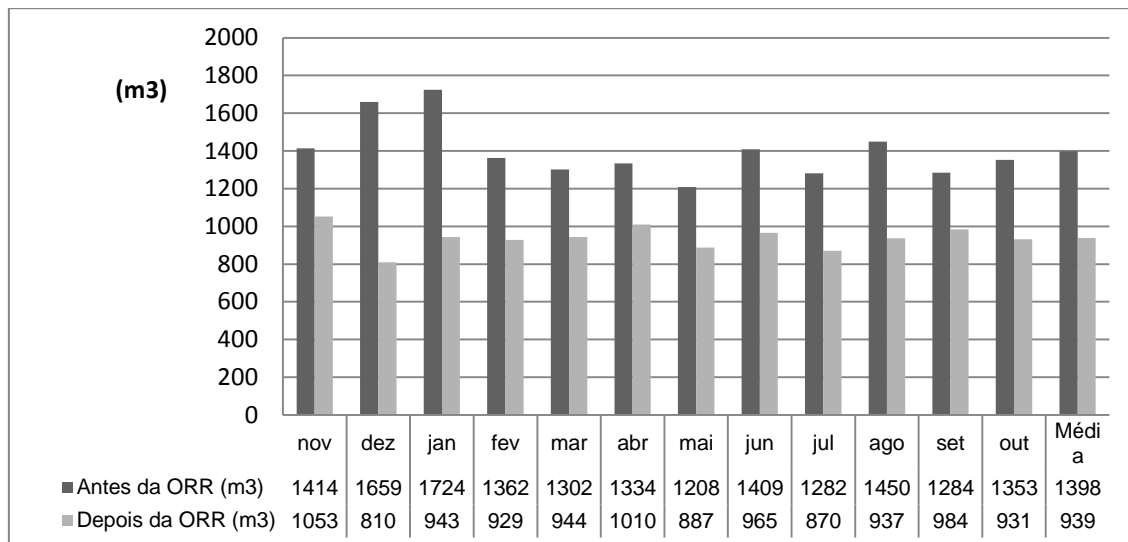
Como na clínica 02 não foram instalados hidrômetros e a água reutilizada é apenas a do tratamento do rejeito pela ORR, ou seja, não há reúso em sanitários ou limpezas externas e nem cisternas ou reservatórios para detenção da água recuperada, os resultados serão apresentados comparativamente aos dados principais obtidos pela clínica 01.

O consumo médio entre os meses de novembro de 2015 e outubro de 2016, quando ainda não havia a instalação da ORR, era 1398 m³/mês, somando um total anual de 16.781 m³, conforme o Gráfico 6 e o Gráfico 7.

Após a instalação da ORR, o consumo mensal baixou para 939 m³, em média, e o volume total utilizado nos meses seguintes, entre novembro de 2016 e outubro de 2017, foi de 11.263 m³, ou seja, 67% em relação ao consumo no mesmo período antes do tratamento do rejeito. Considerando o custo médio de R\$14,21/m³ estima-se uma economia de R\$6.522,39 (US\$1.970,51) por mês.

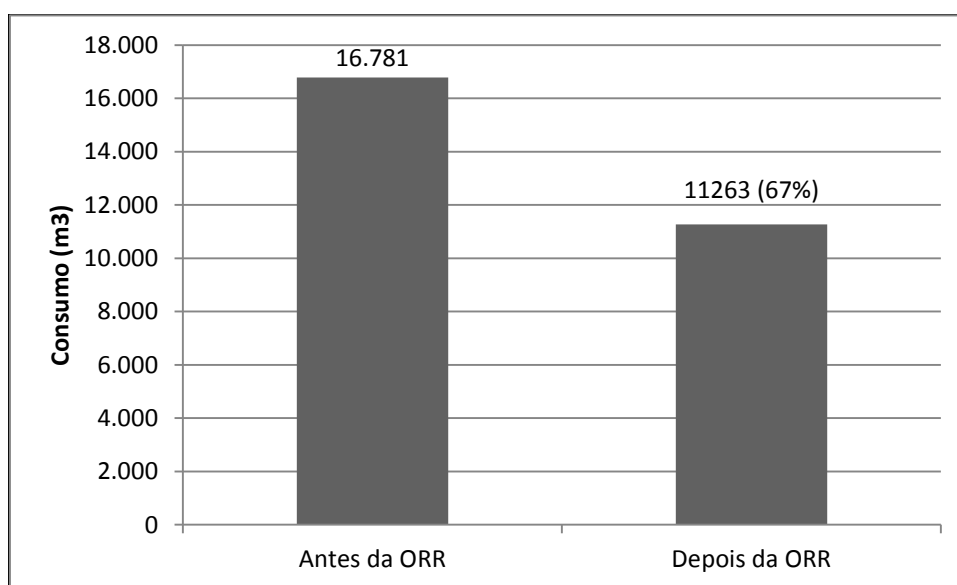
O ganho econômico alcançado foi aproximadamente 33%, sendo que na clínica 01 foi atingida uma porcentagem de 39% de racionamento. No caso da clínica 02, o que falta é a implantação do sistema de reúso dos descartes para vasos sanitários e limpezas externas, que representa, segundo os dados da clínica 01, uma média 5% do habitual.

Gráfico 6 – Histórico comparativo de consumo de água antes e após ORR entre novembro de 2015 e outubro de 2017



De acordo com o consumo de 16781 m³, durante um ano, antes da ORR, o volume destinado às descargas e limpezas externas deve ser de aproximadamente 840 m³ por ano, tomando como referência os 5% determinados anteriormente. Isso representa cerca de R\$11.936,40 (US\$3.606,16) por ano ou quase mil reais por mês (US\$300,51).

Gráfico 7 – Consumo em 12 meses antes e após ORR



Segundo o Censo clínico da clínica 02, durante o ano de 2017, foram realizadas 32.309 sessões de hemodiálise, ou seja, foi necessário um total de

349 litros de água de abastecimento por diálise, incluindo todos os usos e o custo por sessão, conforme a Tabela 16. O custo estimado ficou em R\$4,96 (US\$1,50). Para a clínica 01, de acordo com a Tabela 8, da sessão 4.1, foram necessários 261 litros para os mesmos procedimentos, com custo de R\$3,70 (US\$1,12). Segundo a mesma tabela, aproximadamente 181 litros são utilizados exclusivamente para hemodiálise, ou seja, nos demais 168 litros de abastecimento, estão o volume descartado e os demais consumos da clínica.

Tabela 16 – Consumo de água anual e estimativa por sessão de HD

Dados	Antes da ORR	Depois da ORR
Volume de água (m ³ /ano)	16.781	11.263
Sessões de HD	32.360	32.309
Volume por sessão (l/sessão)	519	349

Com a cotação do dólar adotada de R\$3,31, valor do final do ano de 2017, foi estabelecida a Tabela 17, na qual estão os custos com água para cada sessão de HD, considerando todo o procedimento e os demais consumos e descartes.

No caso da CLÍNICA 01, o custo sem reúso foi R\$6,03 (US\$1,82) por sessão de HD e R\$3,70 (US\$1,12) para cada terapia quando implantado o reaproveitamento de água.

Para a CLÍNICA 02, os custos ficaram em R\$ 7,37 (US\$2,23) e R\$4,95 (US\$1,50) para antes e depois da instalação da ORR, respectivamente.

Tabela 17 – Custo em Dólar para água consumida a cada sessão de HD

Custo da água	CLÍNICA 01		CLÍNICA 02	
	R\$	US\$	R\$	US\$
Consumo total - Sem Reúso	R\$ 6,03	\$1,82	R\$ 7,37	\$2,23
Consumo total - Com Reúso	R\$ 3,70	\$1,12	R\$ 4,95	\$1,50
Economia Gerada	R\$ 2,33	\$0,70	R\$2,42	\$0,73

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados é possível concluir que o sistema proposto tem grande potencial de gerar economia de água sem perder a garantia, segurança e atendimento as normas e legislação vigentes para garantir a saúde dos pacientes de hemodiálise que necessitam de tratamento.

As clínicas de hemodiálise consomem grandes quantidades de água e como este recurso vem se tornando escasso, o presente estudo torna-se fundamental para garantir a manutenção do fornecimento de água ao tratamento de hemodiálise aos pacientes, mesmo em situações de escassez ou racionamento de água.

Na presente pesquisa, foi possível verificar uma economia real da ordem de R\$4.757,67 (US\$1.429,34) por mês na CLÍNICA 01 e R\$6.522,39 (US\$1.970,51) na CLÍNICA 02 no mesmo período. Por sessão de hemodiálise à economia gerada foi de R\$2,33 (US\$0,70) para a CLÍNICA 01 e R\$2,42 (US\$0,73) para CLÍNICA 02. Sendo o retorno do investimento ou *Pay Back* menor do que 10 meses.

Com base na Tabela 1 - Distribuição de pacientes conforme tipo de diálise e fonte pagadora, CENSO 2016. Fonte (SESSO et al., 2017), são 45.716 pacientes em hemodiálise convencional, ou seja, de três sessões semanais. Considerando essa rotina, pode-se estimar uma perspectiva de economia entre R\$319.554,84 (US\$96.542,24) e R\$331.898,16 (US\$100.271,35) por semana, tomando como referência o valor médio de R\$14,21/m³.

Isso representa algo entre 22.488 m³ a 23.357 m³ de água que podem estar sendo descartados semanalmente nas clínicas de hemodiálise do país. No ano, isso deve passar de um bilhão de litros de água, o que significa mais de R\$14,21 milhões.

No caso das clínicas em estudo, foi utilizada água de superfície, tratada pela companhia de saneamento. Isso facilita bastante o reaproveitamento do rejeito se comparado a uma fonte cuja origem é de água subterrânea, em que a concentração de solutos é maior, principalmente no que se define a dureza da

água. Porém, observou-se que após a introdução da água permeada da ORR na entrada do STAH, tanto a dureza, quanto a condutividade reduziram.

A ORP utilizada na Clínica 01 já tem mais de sete anos de uso, sendo dois desses anos com o auxílio da ORR. Nesse período, ela manteve-se com parâmetros semelhantes de condutividade, fluxos e pressões. Espera-se que, pelo fato da água introduzida à mesma, seja mais diluída em relação à água de origem, que a durabilidade das membranas aumente progressivamente em relação às expectativas iniciais e esta poderá ser uma nova fonte para estudos futuros.

Do ponto de vista qualitativo, não houve variações negativas na *água para hemodiálise*, mas pelo contrário, ficou evidente que o fato de estar tratando a água do rejeito, com finalidade de reutilizá-lo no próprio STAH garantiu uma água com menores teores de solutos dissolvidos, facilitando todo o sistema de filtragem, com resultados bastante satisfatórios para os elementos designados pela RDC 11/2014.

Quanto à qualidade da água de reúso para as descargas e limpezas externas, foi importante reutilizar apenas os efluentes da retrolavagem dos filtros de areia e do carvão ativado, que misturados a água do rejeito final da ORR, garantem uma redução na concentração deste reúso. Dos elementos analisados desse líquido, pode-se comparar a uma água de origem subterrânea do ponto de vista de condutividade e dureza da mesma.

A água efluente da regeneração da resina do abrandador possui condutividade bastante elevada e características que, embora não qualificadas nessa pesquisa, dificultam o reúso da mesma, principalmente se for utilizada para limpeza de ambientes ou veículos.

Como sugestões para futuros trabalhos, poderia ser realizada uma pesquisa com fonte de água subterrânea para avaliação dos resultados, principalmente no que diz respeito à manutenção dos filtros e da própria osmose reversa. Um segundo estudo, seria avaliar as possibilidades de reúso do líquido descartado pelas máquinas de hemodiálise.

É necessário que as clínicas de hemodiálise repensem sobre as possibilidades de se reutilizar a água do rejeito e das retrolavagens dos filtros,

pois se bem tratadas e armazenadas corretamente, são evidentemente fontes alternativas essenciais para minimizar o consumo de água, gerando benefícios econômicos e ambientais para toda a sociedade.

REFERÊNCIAS

ABCDT Associação Brasileira dos Centros de Diálise e Transplante. **Tratamento de 15.000 pacientes de diálise é ameaçado por falta de água**, Brasília/DF, 2015.

ABES. **Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com sua Redução e Propostas de Medidas para o Efetivo Combate**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Setembro, Volume Elaborado pela ABES Nacional e ABES de São Paulo - Site: <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf> - acessado em 01/02/2018, p. 45 páginas, 2013.

AGAR, J. W. **Conserving water in and applying solar power to haemodialysis: ‘Green Dialysis’ through wiser resource utilization**. *Nephrology*, p. 448–453, 2009.

AGAR, J. W. **Reusing and recycling dialysis reverse osmosis system reject water**. *Researchgate* - Kidney International - nephrologists sans frontières, Novembro.p. 653–657, 2015.

AGAR, J. W. M. **Personal viewpoint: Hemodialysis—Water, power, and waste disposal: Rethinking our environmental responsibilities**. *Hemodialysis International*, Janeiro, Volume 16, pp. 6-10, 2012.

AGAR, J. W. M. **It is time for “green dialysis”**. *Hemodialysis International*, p. 474–478, 2013..

AL-GHAMDI, A. A. **Recycling of Reverse Osmosis (RO) Reject Streams in Brackish Water Desalination Plants Using Fixed Bed Column Softener**. *Elsivier*, Setembro.pp. 205-211, 2016.

ALLGEIER, S. **Membrane Filtration Guidance Manual**. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, 2005.

AL-NASERI, S. K.; MAHDI, Z. M.; HASHIM, M. F. **Quality of water in hemodialysis centers in Baghdad, Iraq**. *Hemodialysis International*, Janeiro, pp. 517-522, 2013.

AMATO, R. L.; CURTIS, J.; PAYNE, G. M. **Water Treatment for Hemodialysis: An Update**. CNE – Continuing Nursing Education. Setembro, 40(5), pp. 383-404, 465, 2013.

ARAÚJO, V. C.; GONÇALVES, C.; CRISTINA, J.; PEREIRA, R.; FRANKLIN, W.; SOUZA, J. C.; FERREIRA, L. B.; SOUZA, R. A. **A escassez de água sob a perspectiva da gestão pública**, 2015.

AURÉLIO. **Dicionário Aurélio**. Disponível em <https://dicionariodoaurelio.com/hemodialise> Acesso em 04 Jan 2017].

AURÉLIO. **Dicionário Aurélio**. Disponível em <https://dicionariodoaurelio.com/agua> Acessom em 30 Dezembro 2017.

BARLOW, M. **Água, pacto azul: a crise global da água e a batalha pelo controle da água potável no mundo**. São Paulo, SP: M. Books, 2009.

BARRETO, S., RIBEIRO, S. & BORBA, M. **Nascente do Brasil: Estratégias para a proteção de cabeceiras em Bacias Hidrográficas**. São Paulo: WWF - Brasil, 2007.

BRASIL. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 33 de 2008 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação dos Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise no Sistema Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial da União, 08 Junho, pp. 48-49.

BRASIL. **PORTARIA Nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde**. Dispõe sobre as condições e padrões de potabilidade de água Diário Oficial da União, 12 dezembro, pp. 39-46.

BRASIL. **Resolução 430 de 2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, 13 Maio, pp. 89-91.

BRASIL. **Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº11**, de 13 de Março de 2014. Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Diálise e dá outras providências. Diário Oficial da União, 14 Março, pp. 40-42.

CARVALHO, K. Q.; PASSING, F.H.; KREUTZ, C. **Tratamento de Efluentes**. 1 ed. Curitiba: UTFPR, 2011.

CARVALHO, N. L.; HENTZ, P.; SILVA, J. M.; BARCELLOS, A. L. **Reutilização de águas residuárias**. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria - Revista Monografias Ambientais - REMOA, Março, 14(2),

pp. 3164 - 3171, 2014.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Águas Interiores**. Disponível em <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua>>. Acesso em 04 Fevereiro 2018.

CHEN, L.; ZHU, X.; M., ZHANG; Y., WANG; LV, T; S., ZHANG; YU, X.. **Profiling Total Viable Bacteria in a Hemodialysis Water Treatment System**. J. Microbiol. Biotechnol., 09 03, p. 995–1004, 2017.

CONNOR, A.; MILNE, S.; OWEN, A.; BOYLE, G.; MORTIMER, F.; STEVENS, P.. **Toward greener dialysis: a case study to illustrate and encourage the salvage of reject water**. Journal of Renal Care, 36(2), pp. 68-72, 2010.

COULLIETTE, A. D.; ARDUINO, M. J. **Hemodialysis and Water Quality**. Seminar in Dialysis, 26(4), pp. 427 - 438, 2013.

DAUGIRDAS, J.T. **Physiologic Principles and Urea Kinetic Modeling**. Basicmedical Key – Fastes Basicmedical Insight Engine. Disponível em: <<https://abdominalkey.com/physiologic-principles-and-urea-kinetic-modeling/>>. Acessado em 19 de Março de 2018.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P.. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. 1 ed. São Carlos: LDIBE LTDA, 2008.

DUARTE, M. A. C. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração**, São Carlos/SP: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

FARIA, P.G.S; NAGALLI, A.; FREIRE, F.B; RIELLA, M.C. **Reaproveitamento do concentrado gerado por sistema de tratamento de água por osmose reversa em uma clínica de hemodiálise**. Eng. Sanit. Ambient. [online], 21(2), pp. pp.329-336. ISSN 1413-4152, 2016.

GLORIEUX, G.; NEIRYNCK, N.; VEYS, N.; VANHOLDER, R.. **Dialysis water and fluid purity: more than endotoxin**. Oxford Journals Medicine & Health Nephrology Dialysis Transplantation, Volume 27(Issue 11), pp. 4010-4021, 2012.

GRELA, J. J. **A osmose reversa de dupla passagem e o mercado farmacêutico**. Revista Meio Filtrante, Janeiro / Fevereiro / Março. Issue 8, 2004.

HAAN, J. M. **Reverse Osmosis Systems Review**. Disponível em <<https://reverseosmosissystemsreview.com/how-does-reverse-osmosis-work>>. Acesso em 26 Janeiro 2018, 2010.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

JACOBI, P. R., SOUZA, A. d. N. S. S. N. & FRACALANZA, A. P. **Estudo de Caso - Crise da Água na Região Metropolitana de São Paulo - 2013/2015**, São Paulo, 2015.

JESUS, G. P., ALMEIDA, A. A. **Principais Problemas Gerados Durante a Terapias de Hemodiálise Associados à Qualidade da Água**. Revista Eletrônica Atualiza Saúde, Volume 3, pp 41-52 - 2016, Salvador

LITER, 2018. Liter. Disponível em <<https://liter.com.br/filtro-de-carvao-ativado-hemodialise>> Acesso em 27 Janeiro 2018.

MENEZES, J. P. C., BERTOSSI, A. P. A., SANTOS, A. R. & NEVES, M. A. **Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo**. Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET, Volume 17, pp. 3318-3326, 2013.

NAGALLI, A.; NEMES, P.D.. **Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos**. Revista Acadêmica: Ciência Animal, 7(2), pp. 131-144, 2009

Nunes, J. A. **Tratamento biológico de águas residuárias**. 3ª ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 277 p, 2012.

OENNING JR, A. **Avaliação de Tecnologias Avançadas para o Reúso de Água em Indústria Metal-Mecânica**, Curitiba-PR: Universidade Federal do Paraná, 2006.

OKUNOLA; OLAITAN, J.O.. **Bacterial contamination of hemodialysis water in three randomly selected centers in South Western Nigeria**. Nigerian Journal of Clinical Practice, 19(4), pp. 491 - 495, 2016.

PENTAIR. **Pentair X-Flow**. Disponível em <<http://xflow.pentair.com/pt-pt/technologies/filtration-spectrum>> Acesso em 30 Janeiro 2018.

PONSON, L., ARKOUICHE, W. & LAVILLE, M. **Toward green dialysis: Focus on water savings**. Hemodialysis International, p. 7–14, 2014.

RAMIREZ, S. S. **Água pra hemodiálise no estado do Rio de Janeiro: Uma avaliação dos dados gerados pelo programa de monitoramento da qualidade nos anos de 2006-2007**, Rio de Janeiro: INCQS/FIOCRUZ, 2009.

RIELLA, M. C. **Princípios de Nefrologia e Distúrbios Hidroeletrólíticos** (5ª Edição). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

RODRIGUES, A. I. M. **A intoxicação por alumínio nos doentes em hemodiálise - uma perspectiva histórica**, Porto: Faculdade de Farmácia - Universidade do Porto, 2012.

SALCEDO, J. C., TESTEZLA, R. & MESQUITA, M. **Processo da Retrolavagem em Filtros de Areia Usados na Irrigação Localizada**. Engenharia Agrícola - Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering, nov/dez, 31(6), pp. 1226-1237, 2011.

SANTOS, E. J.; FANTIN, E. B.; PAIXÃO, R. E.; HERRMANN, A. B.; STURGEON, R. E.. **Spectrophotometric Determination of Aluminium in Hemodialysis Water**. Journal of the Brazilian Chemical Society, Novembro, Volume 26 no. 11, pp. 2384-2388, 2015.

SCHIMIDT, C. G. **Desenvolvimento de Filtros de Carvão Ativado para Remoção de Cloro da Água Potável**, Porto Alegre/RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SESSO, R. C.; A., Lopes A.; THOMÉ, F. S.; LUGON, J. R.; T., MARTINS C.. **Inquérito Brasileiro de Diálise Crônica 2016**. Jornal Brasileiro de Nefrologia, Volume 39(3), pp. 261-266, 2017.

SILVA, A. M.; MARTINS, C. T.; FERRABOLI, R.; JORGETTI, V.; ROMÃO JUNIOR, J. E.. **Revisão/Atualização em Diálise: Água para hemodiálise**. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, 180 - 188, 1996.

SILVA, E., FABIAN, J., CAMARGO, M. & Santos, M. H. **Sustentabilidade e responsabilidade socio ambiental: o uso indiscriminado de água**. Revista Maiêutica, Indaial,, 4(1), pp. p. 57-66, 2016.

SILVA, P.P. **Avaliação da Extração e Cinética de Solutos em Pacientes Submetidos à hemodiálise Convencional, hemodiafiltração pós-diluição e hemofiltração pré-diluição**. Dissertação (Mestrado) da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2013.

TALESHI, M. S. A. & NEJADKOORKI, F. **Characterization of Hemodialysis Reverse Osmosis Wastewater from Yazd Educational Hospitals**. Avicenna J Environ Health Eng, Maio, 2016.

TEIXEIRA, C. A. **Análise da Certificação ISO 14001 para a Sustentabilidade em Conformidade com a Legislação Ambiental. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade** - Volume 10, número 5. Curitiba – PR - Versão on-line ISSN2319-2856, pp. 82-104, 2016..

TEIXEIRA, C.A.; ZATTONI, G. T.; NAGALI, A.; FREIRE, F. B.; & TEIXEIRA, S. H. **Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de água de chuva em uma indústria metalmeccânica na região metropolitana de Curitiba PR. Gestão & Produção**, 23(3), pp. 638-648, 2016..

TEIXEIRA, M. M. **Ultrafiltração no Tratamento de Água para Consumo Humano.** , Lisboa , 2001..

TELLES, D.D.; COSTA, R. H. P. G.; NUVOLARI, A.; TEIXEIRA, E. P; RIBEIRO, F. M.; NASCIMENTO, J. E.; STANGE, K.; BASSOI, L. J.. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas.** 2. ed. rev. atual. ed. São Paulo/SP: Edgard Blucher, 2010.

THAKUR, V. K., THAKUR, M. K. & KESSLER, M. R. **Handbook of Composites from Renewable Materials.** Berverly, MA: Wiley Global Headquarters, 2017.

TONG, M.K. H.; WANG, W.; H., KWAN T.; CHAN, L.; T.C., AU. **Water treatment for hemodialysis.** Hong Kong J Nephrol 2001;3(1):7-, 3(1), pp. 7-14, 2001

TUNDISI, J. G. & TUNDISI, T. M. **Recursos hídricos no século XXI.** nova ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2014.

WARD, R. A. **Avoiding Toxicity From Water-Borne Contaminants in Hemodialysis: New Challenges in an Era of Increased Demand for Water.** Advances in Chronic Kidney Disease, May, Volume Vol 18,, pp. pp 207-213, 2011.

WATANABE, N. I., PINTO, F. D. & DALOSTTO, G. D. **Água Saudável, s.l.:** Informativo. ASSTEFIL Sistemas de Filtragem, 2008.

WOSNIAK, A. J. **Avaliação em Escala Piloto do uso de Membrana de Osmose Reversa para o Tratamento de Água para uso Industrial.** 122f. Dissertação (Mestrado) do Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a Universität Stuttgart, Curitiba, Paraná, 2016

APÊNDICE A – RESULTADO DAS MEDIÇÕES DOS HIDRÔMETROS E DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES DE CONSUMO DIÁRIOS

Hidrômetros: Antes da Osmose Reversa do Rejeito

Datas das Medições	He m ³	H1 m ³	H2 m ³	H3 m ³	Ve m3/dia	V1 m3/dia	V2 m3/dia	V3 m3/dia
31/10/11 16:32	120		438	93				
1/11/11 10:00	138		442	94	24,27		6,28	1,15
3/11/11 15:57	198		464	98	26,65		9,63	1,76
4/11/11 15:37	228		473	100	31,03		9,05	2,42
7/11/11 16:17	289		492	103	19,98		6,20	1,02
8/11/11 17:17	316		501	105	26,52		8,84	1,67
Média das Medições					25,69		8,00	1,61
Desvio Padrão (SD)					4,02		1,63	0,56

Hidrômetros: Depois da Osmose Reversa do Rejeito

Datas das Medições	He m ³	H1 m ³	H2 m ³	H3 m ³	Ve m3/dia	V1 m3/dia	V2 m3/dia	V3 m3/dia
3/6/16 17:10	37222		4482	2977				
4/6/16 17:00	37246		4487	2978	24,17		5,62	1,28
6/6/16 17:12	37281		4494	2980	17,43		3,66	1,13
7/6/16 18:10	37308		4496	2983	25,95		1,54	2,45
8/6/16 17:10	37333		4498	2985	25,98		1,64	1,91
13/6/16 11:30	37418		4505	2992	17,86		1,46	1,46
14/6/16 18:50	37449		4507	2995	23,74		2,18	2,52
15/6/16 11:35	37462		4508	2997	18,63		1,45	2,32
20/6/16 8:32	37554		4515	3004	18,88		1,42	1,60
21/6/16 13:13	37582		4518	3007	23,43		2,03	2,31
22/6/16 12:31	37604		4519	3009	22,66		1,76	2,00
24/6/16 13:46	37647		4523	3014	20,95		1,82	2,42
27/6/16 12:37	37692		4526	3018	15,24		1,04	1,36
28/6/16 12:32	37720		4528	3020	28,10		1,87	2,09
1/7/16 12:17	37802		4531	3027	27,43		1,09	2,38
4/7/16 13:55	37845		4534	3031	14,02		0,81	1,36
5/7/16 12:00	37883		4535	3033	41,30		1,55	1,40
8/7/16 17:01	37953	8	4540	3039	21,78		1,54	1,83
26/7/16 8:21	38262	455	4562	3068	17,52	25,36	1,26	1,68
29/7/16 16:00	38331	554	4568	3077	20,79	29,57	1,57	2,56
1/8/16 11:35	38370	609	4570	3080	13,85	19,57	0,98	1,27
5/8/16 12:30	38445	722	4577	3090	18,57	28,03	1,53	2,32
8/8/16 16:37	38490	788	4580	3095	14,16	20,97	0,99	1,68
15/8/16 18:15	38616	971	4588	3106	17,84	25,85	1,18	1,54
26/8/16 18:05	38894	1322	4602	3130	25,29	31,91	1,23	2,17
20/9/16 17:39	39280	1862	4626	3167	15,45	21,62	0,98	1,49
24/10/16 12:31	39917	2805	4709	3223	18,85	27,90	2,44	1,65
7/11/16 17:10	40199	3212	4755	3243	19,87	28,68	3,24	1,45
8/11/16 17:51	40221	3245	4758	3246	21,39	32,67	3,54	2,02
11/11/16 15:55	40277	3329	4763	3251	19,18	28,60	1,59	1,75
14/11/16 14:32	40314	3384	4766	3253	12,57	18,56	0,93	0,93
16/11/16 15:38	40354	3445	4769	3257	19,55	29,87	1,57	1,56
21/11/16 18:00	40431	3560	4775	3265	15,10	22,61	1,24	1,67
22/11/16 18:00	40448	3583	4776	3266	17,00	22,70	1,01	0,88
25/11/16 16:20	40503	3659	4779	3271	18,77	26,10	1,03	1,84
28/11/16 17:28	40538	3710	4781	3274	11,49	16,74	0,71	0,98
Média das Medições					20,14	25,41	1,70	1,75
Desvio Padrão (SD)					3,23	4,86	0,32	0,43

Hidrômetros: Depois da Osmose Reversa do Rejeito e após Redução da Retrolovagem								
Datas das Medições	He m ³	H1 m ³	H2 m ³	H3 m ³	Ve m ³ /dia	V1 m ³ /dia	V2 m ³ /dia	V3 m ³ /dia
16/12/16 9:10	40874	4130	4798	3300	19,03	23,78	0,95	1,46
18/12/16 14:45	40910	4179	4801	3303	16,12	21,72	1,24	1,36
20/2/17 13:40	41932	5556	4862	3396	15,98	21,54	0,96	1,46
16/3/17 22:04	42343	6100	4885	3431	16,88	22,33	0,92	1,41
1/9/17 18:08	45119	10050	5043	3678	16,44	23,39	0,94	1,47
18/1/18 18:16	47506	13432	5324	3869	17,17	24,33	2,02	1,37
20/2/18 9:11	48069	14208	5398	3911	17,26	23,78	2,27	1,30
Média das Medições					17,47	23,49	1,45	1,46
Desvio Padrão (SD)					1,67	1,76	0,63	0,16

Hidrômetros*He - Entrada da Clínica**H1 - Entrada STAH**H2 - Saída do Rejeito da ORR**H3 - Descargas dos sanitários e limpeza***Volumes Diários***Ve - Entrada da Clínica**V1 - Entrada STAH**V2 - Saída do Rejeito da ORR**V3 - Descargas dos sanitários e limpeza*

**APÊNDICE B – RESULTADO DAS MEDIÇÕES DOS ROTÂMETROS E
CÁLCULO DAS PORCENTAGENS DE RECUPERAÇÃO**

Leitura dos Rotômetros após Instalação da ORR

DATA	Q _{r1} (l/min)	Q _{p1} (l/min)	Q _{em} (l/min)	%Rec P1	Q _{r2} (l/min)	Q _{p2} (l/min)	%Rec P2	%Rec ORP	Q _{rr} (l/min)	Q _{pr} (l/min)	Q _{er} (Q _{rr} +Q _{pr}) (l/min)	%Rec RR	%Rec Sistema
02/05/16	17	34	51	67%	9	25	74%	60%	5,1	14,5	19,6	74%	83%
03/05/16	17	33	50	66%	8	25	76%	60%	4,75	11	15,8	70%	84%
03/06/16	17	33	50	66%	8	25	76%	60%	3,8	11,5	15,3	75%	87%
06/06/16	18	33	51	65%	10	23	70%	56%	3,8	12	15,8	76%	86%
07/06/16	18	33	51	65%	10	23	70%	56%	9	16	25,0	64%	72%
14/06/16	18	34	52	65%	10	24	71%	57%	3,2	14	17,2	81%	88%
22/06/16	18	33	51	65%	10	23	70%	56%	2,43	14,5	16,9	86%	90%
08/07/16	17	33	50	66%	10	23	70%	58%	1,9	14,5	16,4	88%	92%
08/08/16	18	34	52	65%	10	24	71%	57%	2,4	14,5	16,9	86%	91%
20/09/16	19	34	53	64%	10	24	71%	56%	2,6	14	16,6	84%	90%
24/10/16	18	35	53	66%	10	25	71%	58%	2,06	14,2	16,3	87%	92%
07/11/16	19	34	53	64%	10	24	71%	56%	3	15	18,0	83%	89%
08/11/16	20	34	54	63%	9	25	74%	56%	2,9	16	18,9	85%	90%
21/11/16	16	34	50	68%	9	25	74%	61%	3	14	17,0	82%	89%
Média	17,9	33,6	51,5	65%	9,5	24,1	72%	57%	3,6	14,0	17,5	80%	87%
SD	1,0	0,6	1,3	1%	0,8	0,9	2%	2%	1,8	1,5	2,5	7%	5%

Legenda

Q _{r1}	Fluxo rejeito 1º passo	Q _{rr}	Fluxo rejeito da ORR	P1	Primeiro Passo
Q _{p1}	Fluxo permeado 1º passo	Q _{pr}	Fluxo permeado da ORR	P2	Segundo Passo
Q _e	Fluxo de entrada na ORP	Q _{er}	Fluxo de entrada na ORR	ORP	Osmose Reversa Principal
Q _{r2}	Fluxo rejeito 2º passo	Q _{erm}	Fluxo médio de entrada na ORR	ORR	Osmose Reversa do Rejeito
Q _{p2}	Fluxo permeado ORP	%Rec	Porcentagem de Recuperação	L/min	Litros por minuto

Medições dos Rotômetros após Instalação da ORR e após a Redução das Retrolavagens

DATA	Q _{r1} (l/min)	Q _{p1} (l/min)	Q _{em} (l/min)	%Rec P ₁	Q _{r2} (l/min)	Q _{p2} (l/min)	%Rec P ₂	%Rec ORP	Q _{rr} (l/min)	Q _{pr} (l/min)	Q _{er} (Q _{rr} +Q _{pr}) (l/min)	%Rec RR	%Rec Sistema
18/12/16	17	34	51	67%	9	25	74%	60%	3,3	14	17,3	81%	88%
16/12/16	18	34	52	65%	9	25	74%	58%	2,8	15	17,8	84%	90%
18/12/16	18	34	52	65%	9	25	74%	58%	2,9	15	17,9	84%	90%
20/02/17	19	34	53	64%	9	25	74%	57%	2,8	15	17,8	84%	90%
16/03/17	16	34	50	68%	9	25	74%	61%	2,6	14	16,6	84%	91%
01/09/17	16	33	49	67%	9	24	73%	60%	3,2	14	17,2	81%	88%
18/01/18	17	34	51	67%	9	25	74%	60%	2,9	15	17,9	84%	90%
20/02/18	18	34	52	65%	9	25	74%	58%	3,2	15	18,2	82%	89%
22/02/18	18	33	51	65%	9	24	73%	57%	3,2	15	18,2	82%	88%
Média	17,4	33,8	51,2	66%	9,0	24,8	73%	59%	3,0	14,7	17,7	83%	89%
SD	1,0	0,4	1,2	1%	0,0	0,4	0%	1%	0,2	0,5	0,5	1%	1%

Legenda

Q _{r1}	Fluxo rejeito 1º passo	Q _{rr}	Fluxo rejeito da ORR	P ₁	Primeiro Passo
Q _{p1}	Fluxo permeado 1º passo	Q _{pr}	Fluxo permeado da ORR	P ₂	Segundo Passo
Q _e	Fluxo de entrada na ORP	Q _{er}	Fluxo de entrada na ORR	ORP	Osmose Reversa Principal
Q _{r2}	Fluxo rejeito 2º passo	Q _{erm}	Fluxo médio de entrada na ORR	ORR	Osmose Reversa do Rejeito
Q _{p2}	Fluxo permeado ORP	%Rec	Porcentagem de Recuperação	L/min	Litros por minuto

ANEXO 1 - INFORMAÇÃO DE PRODUTO – MEMBRANA DE OSMOSE REVERSA FILMETC-DOW

ANEXO 2 – DADOS DE SESSÕES DE HEMODIÁLISE DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CENTROS DE NEFROLOGIA - DIALSIST

Product Information



FILMTEC™ Membranes

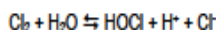
Dechlorinating Feedwater

Introduction

Chlorine (Cl₂) has been used for many years to treat municipal and industrial water and wastewaters as a disinfectant because of its capacity to inactivate most pathogenic microorganisms quickly. The effectiveness of Cl₂ is dependent on the Cl₂ concentration, time of exposure, and the pH of the water. Chlorine is used for the disinfection of potable water where a residual chlorine concentration near 0.5 mg/L is commonly used. In a water treatment scheme, fouling of water intake lines, heat exchangers, sand filters, etc., may be prevented by maintaining a free Cl₂ residual of 0.5-1.0 mg/L.

When FILMTEC™ FT30 thin-film composite membrane is used in the reverse osmosis (RO) process, the RO feed must be dechlorinated to prevent oxidation of the membrane. FT30 membrane has a chlorine tolerance of up to 1,000 ppm-hours before noticeable loss of salt rejection is observed. If dechlorination upsets occur and if corrected in a timely manner, membrane damage can be minimized.

Definitions and Chemistry



Residual chlorine.

Refers to the total amount of chlorine ("combined" and "free available" chlorine) remaining in the water at the time of measurement.

Combined available chlorine.

Refers to one or more of the family of chlorine-ammonia compounds, called chloramines, resulting from the reaction of chlorine with ammonia compounds present in the water.

Free available chlorine.

This form is actually hypochlorous acid, hypochlorite ion or a mixture of the two, depending on pH and temperature. Free chlorine is usually present after sufficient chlorine has been added to satisfy the demand of ammonium ions present.

Engineering Considerations

Chlorine is most commonly available as hypochlorites of calcium and sodium or chlorine gas. Capital cost, operating cost and water chemistry will be the predominate factors in deciding which type of system to use.

If the product water from an RO system is chlorinated, care must be exercised to insure that the chlorine does not diffuse back into the membrane. Air breaks, check valves, etc., should be employed appropriately.

Chloramines

Studies have demonstrated that chlorine reacts with organic compounds present in drinking water to produce a variety of trihalomethanes (THMs). Toxicological investigations have implicated certain THMs as carcinogens. The EPA has established a maximum THM contaminate level of 100 ppb for drinking water. To meet this requirement, many water facilities have sought to reduce levels of THMs. This can be done by using chloramine as a disinfectant. Chloramine does not generate THMs. However, considerable controversy has arisen concerning the efficiency of chloramine disinfection and its potential health effects.