

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA
EM QUÍMICA

KARLA CRISTINA DE BARROS FRANÇA

**ASPECTOS QUÍMICOS NO PROCESSO DA HEMODIÁLISE: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

RECIFE-PE
2019

KARLA CRISTINA DE BARROS FRANÇA

**ASPECTOS QUÍMICOS NO PROCESSO DA HEMODIÁLISE: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA**

Monografia apresentada como pré-requisito de conclusão do curso de Licenciatura Plena em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, tendo como orientadora a Profa. Dra. Ivoneide de Carvalho Lopes Barros

RECIFE-PE
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F814a França, Karla Cristina de Barros
Aspectos químicos no processo da hemodiálise: uma revisão bibliográfica / Karla Cristina de Barros França. - 2019.
52 f. : il.
- Orientadora: Ivoneide de Carvalho Lopes Barros.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química,
Recife, 2019.
1. química. 2. hemodiálise. 3. rim. 4. dialisador. 5. insuficiência renal crônica. I. Barros, Ivoneide de Carvalho
Lopes, orient. II. Título

CDD 540

KARLA CRISTINA DE BARROS FRANÇA

**ASPECTOS QUÍMICOS NO PROCESSO DA HEMODIÁLISE: UMA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA.**

Aprovada em: 19/12/2019

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Ivoneide de Carvalho Lopes Barros.
Orientadora/UFRPE

Profª Dr. André Augusto Pimentel L. Nascimento
Membro Interno Titular/UFRPE

Profª Drª Flávia Christiane G. M. Barreto Silva
Membro Interno Titular /UFRPE

AGRADECIMENTOS

Para este trabalho de conclusão de curso tive o apoio de muita gente; sem elas nada disso seria possível. Primeiramente quero agradecer a Deus por ter me fortalecido ao ponto de superar as dificuldades e enxugar as minhas lágrimas. Por toda saúde que ele me deu e por colocar verdadeiros anjos em minha vida ao qual me permitiram alcançar esta etapa tão importante.

Agradeço a minha família: Mãe (Vera), Avós (Neuza e José Luiz) e Irmã (Cristiane), pois não desistiram de mim e sempre que precisei me ajudaram e por todo ensinamento e paciência.

A minha orientadora Ivoneide Barros por sua orientação incansável, e a confiança depositada e o apoio que sempre me ofereceu.

A minha Co-orientadora Amanda Maritsa, por todo apoio recebido, carinho e palavra de conforto, por todas as madrugadas em claro e por não me deixar desistir. Minha eterna gratidão.

A meu grupo Quimiligados: Alicia, Dayane, Edilane e Tatyana, vocês foram desde o início até o fim meu alicerce. O apoio de vocês foi primordial!

As minhas enfermeiras e amigos de profissão do IMIP: Brenda, Claudia, Gabriela, Ivamary, Luana, Priscila, Wanessa, Vilma, Daniela, Marilene, Edilene, Marinalva, Patrício, Veruska, Camila, Zicelda e Barbara, por toda compreensão e ajuda.

As minhas Enfermeiras e amigos do HR: Alayone, Sueli, Sylene, Karyna, Dayse, Ivania, Juliany, Everton, Cinthia, Cris, Ana Lúcia, Marizete, Marinalva, Rosimere, Vitória, Fred, Jackson, Ana Paula, Luziana, Tainan, Filipe, Jerrar e Zé Gomes vocês contribuíram pra essa conquista.

Aos meus amigos da UFRPE: André, Juscelino, Debora, Sttefhania, Wellerson, Eugênio Caroline e Danylo.

Por fim, agradeço a todos os professores, aos momentos de orientação repletos de conhecimento, sabedoria e paciência.

Deixo uma palavra de gratidão a todos que de alguma forma tocaram meu coração e transmitiram uma palavra de força, confiança e inspiração. Quero que saiba que reconheço tudo que fizeram por mim, e o conforto de saber que nunca estarei só e sempre serei capaz de tudo por maiores que sejam as dificuldades.

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luther King

RESUMO

A qualidade e a segurança são uma constante preocupação das unidades de saúde, e é comum a realização de avaliações de risco não somente para os pacientes, mas também para os funcionários e profissionais de saúde uma vez que ajuda a minimizar/reduzir efeitos adversos. Um dos processos mais complexos realizados em um paciente, entre os vários que são realizados em unidades de saúde é a hemodiálise pois envolve não somente a hemodiálise em si, mas também processos assistenciais e inúmeros compostos químicos e tecnologias que podem causar um efeito adverso no paciente. A terapia renal substitutiva (TRS) é o meio disponível para prolongar a vida dos pacientes com doença renal crônica (DRC) avançada, sendo a hemodiálise a técnica mais acessível, porém onerosa aos sistemas de saúde (público ou privado) em diferentes partes do mundo. No Brasil, em 2017, o Ministério da Saúde destinou 3,9 bilhões de reais para o tratamento de pacientes com DRC em TRS, abrangendo custos com internações e medicamentos. Vale ressaltar que este é o maior recurso despendido pelo Ministério da Saúde para uma área específica de atendimento no Sistema Único de Saúde (SUS). A taxa de prevalência de DRC vem aumentando devido ao envelhecimento da população, aumento da prevalência de diabetes mellitus e hipertensão arterial. O desenvolvimento de novas tecnologias como máquinas de proporção automatizadas e dialisadores reutilizáveis permitiu o aumento exponencial de pacientes em diálise. No entanto, o incremento do número de pacientes em TRS exerce pressão financeira nos sistemas de saúde públicos e privados, o que deve se agravar nos próximos anos. Uma forma de reduzir custos relacionados à hemodiálise é o reprocessamento de materiais, essencialmente, o reuso de dialisadores. Este trabalho de pesquisa bibliográfica, qualitativa e descritiva, tem como objetivo principal discutir a evolução da máquina de hemodiálise e os componentes químicos envolvidos nesse processo. Conclui-se que o conhecimento da evolução tecnológica dos dialisadores e a química envolvida no processo pode promover posicionamento aos estudantes na tomada de decisões e responsabilização quanto ao papel da química, ou seja, seus benefícios e riscos no âmbito da saúde humana (tratamento em pacientes com risco de vida), especialmente na TRS.

Palavras-chave: química, hemodiálise, rim, dialisador; insuficiência renal crônica.

ABSTRACT

Quality and safety are a constant concern of health units, and it is common to carry out risk assessments not only for patients, but also for employees and health professionals as it helps to minimize / reduce adverse effects. One of the most complex processes performed on a patient, among the many that are performed in health units is hemodialysis because it involves not only hemodialysis itself, but also care processes and numerous chemical compounds and technologies that can cause an adverse effect on the patient. Renal replacement therapy (RRT) is the means available to prolong the life of patients with advanced chronic kidney disease (CKD), with hemodialysis being the most accessible technique, but costly to health systems (public or private) in different parts of the world. In Brazil, in 2017, the Ministry of Health allocated 3.9 billion reais for the treatment of patients with CKD in RRT, covering costs with hospitalizations and medications. It is worth mentioning that this is the largest resource spent by the Ministry of Health for a specific service area in the Unified Health System (SUS). The prevalence rate of CKD has been increasing due to the aging of the population, increased prevalence of diabetes mellitus and arterial hypertension. The development of new technologies such as automated proportioning machines and reusable dialyzers has allowed an exponential increase in dialysis patients. However, the increase in the number of patients on RRT exerts financial pressure on public and private health systems, which should worsen in the coming years. One way to reduce costs related to hemodialysis is the reprocessing of materials, essentially, the reuse of dialyzers. This bibliographic research work, qualitative and descriptive, has as main objective to discuss the evolution of the hemodialysis machine and the chemical components involved in this process. It is concluded that the knowledge of the technological evolution of dialyzers and the chemistry involved in the process can promote positioning to students in decision making and accountability regarding the role of chemistry, that is, its benefits and risks in the scope of human health (treatment in patients life-threatening), especially in RRT.

Keywords: chemistry, hemodialysis, kidney, dialyzer; chronic renal failure.

LISTA DE SIGLAS

ADRNP	Associação dos Doentes Renais Crônicos do Norte de Portugal
AMMI	Associação para o Avanço da Instrumentação Médica
ANVISA	Agência Nacional de Saúde
ASN	American Society of Nephrology
CAPD	Diálise Peritoneal Ambulatorial Contínua
CPHD	Concentrado Polieletrólítico para Hemodiálise
CVC	Cateter Venoso Central
DRET	Doença Terminal Crônica em Estágio Terminal
FAV	Fístula arteriovenosa
HD	Hemodiálise
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das Coisas
IRC	Insuficiência renal crônica
ISO	Organização Internacional de Padronização
ML	Machine Learning
PTFE	Prótese de politerefluoroetileno
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SBN	Sociedade Brasileira de Nefrologia
TFG	Taxa de Filtração Glomerular
TRS	Terapia Renal Substitutiva

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Os rins e seu funcionamento	14
FIGURA 2 – Compensação renal da Acidose.....	16
FIGURA 3- Localização e anatomia renal.....	17
FIGURA 4- Representação de um néfron e seus componentes.....	18
FIGURA 5 – Néfron e seu funcionamento.....	19
FIGURA 6 - O rim normal e insuficiência renal aguda e a crônica.....	21
FIGURA 7 - Estrutura química da ureia.....	22
FIGURA 8 – Estrutura química da celulose	24
FIGURA 9 - Georg Hass realizando um tratamento de diálise em um paciente, c.1927	24
FIGURA 10 – Estrutura química da heparina.....	25
FIGURA 11 – Representação esquemática do “Rim artificial” de Kolff-Brigham.....	26
FIGURA 12 – Representação química do celofane.....	27
FIGURA 13 – Fotografia do rim artificial utilizado para 1º hemodiálise no Brasil.....	28
FIGURA 14 - O shunt de Scribner e Quinton	29
FIGURA 15- Exemplo de dialisador tipo Coil.....	30
FIGURA 16- Exemplo de dialisador tipo Kiil.....	30
FIGURA 17- Máquina de hemodiálise tipo Tanque.....	31
FIGURA 18- Máquina de hemodiálise de uso em hospital em Recife/PE	32
FIGURA 19 Diagrama de um rim “smart” que pode ser usado pelo paciente	33
FIGURA 20 Procedimento de hemodiálise	35

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Composição do dialisato	37
QUADRO 2 - Características físicas e organolépticas da água potável	39
QUADRO 3 - Padrão de qualidade para a água de hemodiálise (RDC No. 11/2014) ...	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Delimitação do tema e problema de pesquisa	12
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivos específicos	13
2 METODOLOGIA	13
3 RESULTADOS.....	14
3.1 Funcionamento dos rins, falha renal e tratamentos	14
3.2 Evolução histórica da hemodiálise	23
3.3 Contaminação de hemodialisadores	33
3.4 A química nos tratamentos de hemodiálise	37
3.5 Riscos e benefícios da química nos equipamentos de hemodiálise	41
3.6 Conteúdos presente na hemodiálise para utilização no ensino da Química.....	44
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5 REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A insuficiência renal crônica (IRC) é uma doença caracterizada pela perda progressiva e irreversível da função renal urinária e endócrinas na qual o organismo não mantém o equilíbrio metabólico e hidroeletrolítico, finalizando em um quadro urêmico, síndrome clínica que compromete o funcionamento de diversos sistemas ou órgãos podendo levar à morte (DOUGLAS, 2001).

De acordo com a pesquisa realizada pela Sociedade Brasileira de Nefrologia (SBN) com base em informações de uma amostra de 291 unidades de Terapia Renal Substitutiva (TRS), o total atual estimado de pacientes em tratamento dialítico em 2017 foi de 126.583 mil.

Atualmente o tratamento mais utilizado em pacientes diagnosticados com IRC, é a hemodiálise, visto a alta morbimortalidade causada pelas excretas nitrogenadas, a exemplo do ácido úrico ($C_5H_4N_4O_3$), ureia (CH_4N_2O), e amônia (NH_3), acumuladas no organismo. A hemodiálise é realizada pelos clientes portadores de IRC por toda a vida ou até os rins ser substituídos a um transplante renal bem-sucedido (MADERO, 2010).

O serviço de diálise consiste em filtrar o sangue por via extracorpórea, através de uma membrana sintética especial contida em um dispositivo chamado dialisador que se conecta à máquina de hemodiálise. Assim, o dialisador é banhado por uma solução aquosa denominada dialisato ou conforme a Resolução (RDC) Nº 11, Concentrado Polieletrólítico para Hemodiálise (CPHD), composto de eletrólitos, bicarbonato (HCO_3^-) e glicose ($C_6H_{12}O_6$) dissolvidos em água pura (H_2O), que não entra em contato direto com o sangue, mas troca substâncias por meio da membrana do dialisador.

A ureia (CH_4N_2O), creatinina ($C_4H_7N_3O$), água (H_2O) em excesso, entre outros, passam pela membrana indo do sangue para o dialisato, da mesma forma que alguns eletrólitos, bicarbonato (HCO_3^-) e glicose ($C_6H_{12}O_6$) são conduzidos do dialisato para o sangue (MACIEL, 2014).

No decorrer dos últimos 70 anos, desde a fabricação da primeira máquina de hemodiálise tem se dado atenção ao controle da ultrafiltração, o dialisato com bicarbonato, o desenvolvimento de membranas mais biocompatíveis e, não menos importante, da sofisticação das máquinas de hemodiálise com a introdução de novos avanços tecnológicos. Portanto, existe uma grande preocupação com relação à segurança dos procedimentos utilizados no tratamento hemodialítico, visando manter e prolongar a vida dos pacientes (CASTRO, 2001).

Entre os principais fatores que contribuem para uma diálise eficiente estão: (i) o uso da heparina sódica, garantindo a anticoagulação necessária ao sistema; (ii) a fístula-arteriovenosa, visto ser ela, melhor que mais barata que os cateteres triplo lumens utilizados pra ter acesso ao sistema sanguíneo do paciente e (iii) os moderno equipamentos de hemodiálise e a evolução do componentes químicos utilizados no processo de diálise nos últimos anos.

Com a evolução biomédica e bioquímica (que utiliza princípios e métodos da química) na produção e modernização das máquinas de hemodiálise pode-se garantir o aumento da sobrevida dos pacientes com IRC.

1.1 Delimitação do tema e problema de pesquisa

O intuito deste estudo será abordar a evolução das máquinas de hemodiálise com enfoque no uso das substâncias químicas mais utilizadas no tratamento hemodialítico, sob o olhar de uma estudante de graduação em química em vias de formação.

1.2 Justificativa

Diante da amplitude da temática e visto a relevância da mesma na área da química e da saúde pública, este estudo visa analisar de forma mais aprofundada na literatura existente a evolução da máquina de hemodiálise e os componentes químicos envolvidos nesse processo.

É importante salientar que nem todos os centros de hemodiálise e hospitais especializados em tratamento de pacientes renais contam com aparelhos mais modernos e eficientes ao processo dialítico. Sendo fundamental pontuar os riscos e benefícios do emprego adequado dos componentes químicos no tratamento da IRC, visto que o conhecimento da química envolvida e o emprego de novas técnicas irá beneficiar o paciente com IRC, além de reduzir riscos de infecção e, possivelmente, baratear os custos do tratamento de saúde para as instituições.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica da presença da química na técnica de hemodiálise para pacientes com insuficiência renal crônica

1.3.2 Objetivos Específicos

- Descrever a fisiopatologia da IRC e a importância da hemodiálise como forma de tratamento
- Descrever acerca da química nos equipamentos de hemodiálise;
- Destacar os riscos e os benefícios da química nos equipamentos de hemodiálise.

2 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica, de cunho qualitativo e descritivo acerca da evolução química presente no procedimento da hemodiálise. Tal método de revisão foi escolhido por se tratar de uma ferramenta amplamente utilizada em pesquisa científica e por permitir uma avaliação crítica e gerar uma síntese sobre um tema investigado, além de fornecer subsídios para a melhoria em métodos e aplicações científicas (GALVÃO; PEREIRA, 2014).

O percurso metodológico foi subdividido em seis fases: elaboração da questão norteadora; estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão do estudo e da busca na literatura; definição das informações a serem extraídas do estudo selecionado; avaliação dos estudos incluídos; interpretação dos resultados e apresentação da revisão.

A busca dos estudos para a revisão ocorreu por meio das bases de dados: SciElo, BVS, Lilacs e Web Of Scienc. Para selecionar a amostra utilizamos como critérios de inclusão: artigos científicos, teses e dissertações completas disponíveis eletronicamente, e que apresentassem a temática proposta no título, no resumo ou nos descritores.

O levantamento dos estudos para a revisão foi realizado no mês de agosto de 2019. Desta forma, 18.058 estudos foram encontrados e após leitura de resumos, foram selecionados

14 estudos. Os demais estudos foram descartados por não atender fielmente a temática ou não abordarem correlação entre a “química” e a “hemodiálise”.

Após a leitura dos estudos selecionados foram definidas as informações que seriam extraídas dos artigos para a construção da revisão. As informações obtidas foram agrupadas de formas textual e interpretados com base na literatura e apresentados em tópicos na parte dos resultados.

3 RESULTADOS

3.1 Quadro resumo dos artigos científicos incluídos na revisão

AUTOR/ ANO/	TÍTULO DO ESTUDO	PRINCIPAIS EVIDÊNCIAS
Sanches <i>et al</i> 2007	Estudo da presença da toxina microcistina-LR em água utilizada em clínica de hemodiálise e validação de um método analítico.	A literatura reporta a ocorrência de um acidente em uma clínica de hemodiálise de Caruaru, Pernambuco, aonde vieram a falecer 60 pacientes que faziam hemodiálise, devido à presença da toxina microcistina-LR na água. Nesse estudo foi desenvolvido e validado um método analítico, para a determinação e quantificação da microcistina-LR
Oliveira <i>et al</i>, 2011	Um novo método espectrofotométrico para detectar quantidades residuais de peróxido após o reprocessamento de filtros de hemodiálise	A reutilização de filtros de hemodiálise é uma prática disseminada e a substância química esterilizante mais empregada é o ácido peracético. Antes de iniciar uma sessão de análise, os filtros e as linhas são verificados em relação a níveis residuais de ácido peracético por meio de teste colorimétrico não quantitativo, com interpretação visual. Um teste espectrofotométrico quantitativo pode melhorar a detecção de resíduos de ácido peracético quando comparado ao teste qualitativo visual padrão. Essa inovação pode contribuir para o desenvolvimento de padrões mais seguros para a reutilização de filtros de hemodiálise.
Pereira; Reis, 2002	Determinação espectrofotométrica de alumínio em concentrados salinos utilizados em hemodiálise empregando pré-concentração em fluxo	A Comissão da Comunidade Européia de Toxicologia para controle de alumínio fixou em $15 \mu\text{g L}^{-1}$ o limite tolerável em soluções de hemodiálise ⁶ . Em geral, a concentração salina nessas soluções é da ordem de 400 g L^{-1} , o que dificulta a determinação. As técnicas de detecção mais utilizadas são fluorescência de raios-X, cromatografia líquida, polarografia,

		análise por ativação de nêutrons e espectrometria de absorção atômica em forno de grafite
Castro et al, 2019	Vascular access cannulation in hemodialysis patients: technical approach	A técnica de canulação do acesso vascular depende das características do acesso vascular e da experiência dos “canuladores”. Ensaios clínicos são necessários para a formulação de diretrizes para a canulação do acesso vascular.
Canaud et al, 2019	Fluid and hemodynamic management in hemodialysis patients: challenges and opportunities	A tecnologia moderna que utiliza biosensores e ferramentas de controle de feedback, hoje parte da máquina de diálise, com análises sofisticadas, proporcionam o manejo direto sobre o sódio e a água de uma maneira mais precisa e personalizada. Prevê-se no futuro próximo que essas ferramentas poderão auxiliar na tomada de decisão do médico, com alto potencial para melhorar o resultado cardiovascular.
Obara et al, 2019	Functional iron deficiency in patients on hemodialysis: prevalence, nutritional assessment, and biomarkers of oxidative stress and inflammation	A anemia na DRC pode ser dividida em anemia sem deficiência funcional de ferro e com deficiência funcional de ferro (ADFF). Diante do aumento dos casos de hemossiderose em pacientes em hemodiálise, atribuídos à reposição excessiva de ferro endovenoso, maiores conhecimentos sobre os fatores envolvidos na gênese da ADFF são importantes.
Smith et al, 2019	Nanossensores de potássio baseados em DNA microfluídico para melhor tratamento de diálise	O estudo apresenta resultados preliminares de prova de conceito de um dispositivo microfluídico que utiliza nanossensores de fluorescência baseados em DNA para medir a concentração de potássio em uma solução fluida. Em questão de minutos, a solução fluida de potássio reduziu a intensidade de fluorescência dos nanossensores para um valor no estado estacionário.
Santos; Gonçalves; Jacob 2008	Determinação simultânea de As, Cd e Pb em amostras de água purificada para hemodiálise por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite, após otimização multivariada baseada no uso de planejamento experimental	a influência das temperaturas de pirólise e atomização e a quantidade de modificadores químicos. Projetos fatoriais e compostos centrais foram utilizados para otimizar essas variáveis. A precisão e a exatidão do método foram investigadas usando o material de referência da água natural, Nist SRM 1640. Os resultados estão de acordo com os valores certificados no limite de confiança de 95% quando o teste t de Student é usado. Essa metodologia foi utilizada para controle de qualidade da água purificada para hemodiálise.
Varo et al, 2007	Isolamento de fungos filamentosos em água utilizada em uma unidade de hemodiálise	Monitorar a qualidade micológica do sistema hídrico de uma Unidade de Hemodiálise, do interior do Estado de São Paulo, Brasil, no período entre abril e julho de 2006. Foram coletadas amostras (15), de 1000mL em 7 pontos de distribuição de água empregando-se

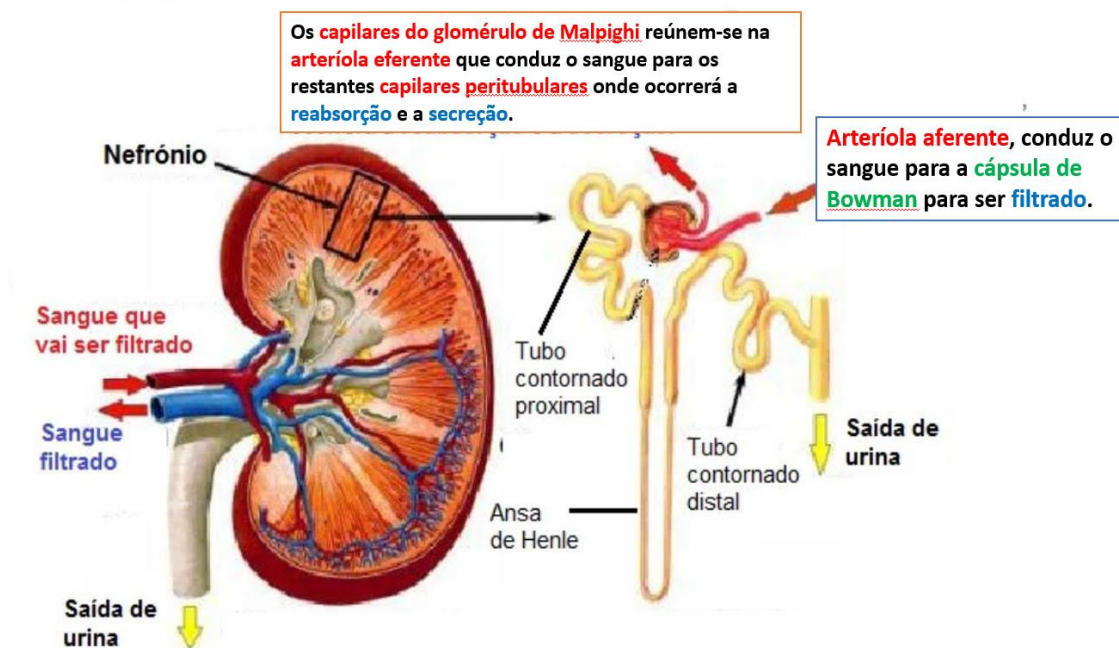
		técnica da membrana filtrante (0,45µm). Foram isolados 116 fungos filamentosos, dos quais 47 (40,5%) <i>Trichoderma</i> sp, 29(25%) <i>Cladosporium</i> sp, 16 (13,8%) <i>Aspergillus</i> sp e 11 (9,5%) <i>Fusarium</i> sp
Sousa et al, 2012	Evolução histórica da hemodiálise e dos acessos vasculares para a assistência ao doente renal crônico	O estudo escrever a evolução histórica da hemodiálise desde 1830 até a atual situação dos pacientes portadores de IRC submetidos á hemodiálise.
Santos et al, 2017	Chronic kidney disease: relation of patients with hemodialysis	Após a descoberta do diagnóstico da doença renal crônica e a necessidade da hemodiálise, os pacientes passam por um processo de rejeição e de aceitação, que pode interferir no seu estado emocional e psicológico, acarretando consequências no enfrentamento da doença e do tratamento.
Teixeira; Silva, 2011	Reuso da água do rejeito de um tratamento de osmose reversa de uma unidade de hemodiálise hospitalar: estudo de caso	A osmose Reversa é o mais eficaz para atingir o grau de pureza necessário para ser utilizado no tratamento de hemodiálise. Além da água tratada, a osmose produz uma água residuária altamente salina, também chamada de rejeito, salmoura ou concentrado. Este trabalho demonstra a metodologia aplicada para a reutilização de água de rejeito da Osmose Reversa do tratamento de água para hemodiálise, o qual proporcionou o reuso de 42,6 m ³ dos 198 m ³ rejeitados mensalmente
Didonet 2007	Determinação de alumínio e ferro em fluidos pós-hemodiálise empregando voltametria e decomposição de amostras com radiação ultravioleta	A determinação simultânea de Al(III) e Fe(III) em fluidos pós-hemodialise foi investigada por voltametria adsortiva (AdSV) usando como agente complexante o violeta de solocromo RS (SVRS). Os analitos formam complexos eletroativos com o SVRS em pH 4.6. A adsorção dos complexos no eletrodo de mercúrio (HMDE) foi investigada através da voltametria de corrente alternada, na presença dos principais interferentes presentes nos fluidos pós-hemodialise: uréia, creatinina, ácido úrico e ácido oxálico.
Mossini et al, 2014	Qualidade da água utilizada para equipamentos de hemodiálise em Unidade de Terapia Intensiva	O artigo revela que as análises bacteriológicas foram realizadas para pesquisa de bactérias heterotróficas. Os dados obtidos mostraram que as concentrações dos metais não excederam os limites estabelecidos pela legislação. A análise bacteriológica da água para hemodiálise resultou em contagem inferior a 200 UFC/mL, em todos os meses avaliados, com exceção do mês de fevereiro.

3.1 Funcionamento dos rins, falha renal e tratamentos

Embora a maior parte das pessoas acredite que os rins funcionam como órgãos responsáveis por remover o “lixo” produzido por nosso corpo e o excesso de fluidos através da urina, eles, na verdade, funcionam como uma poderosa fábrica química envolvendo etapas complexas para a excreção e a reabsorção de composto essenciais a vida (PODESTA et al, 2014).

Os rins (figura 1) constituem dois órgãos situados em ambos os lados da coluna vertebral, medindo aproximadamente o tamanho de 12 cm cada. Das duas unidades saem os ureteres, tubos que levam a urina dos rins para a bexiga. Os rins têm como função principal regular a homeostasia corporal no equilíbrio ácido-base que envolvem também os eletrólitos, que são substâncias química ativas (cátions e ânions), tais como os íons sódio (Na^+), potássio (K^+), cloreto (Cl^-) e bicarbonato (HCO_3^-).

Figura 1 - Os rins e seu funcionamento.



Fonte: Google imagens, 2019.

Os rins regulam o pH através de três mecanismos fundamentais: secreção de H^+ , reabsorção de HCO_3^- filtrado e pela produção do novo HCO_3^- . Para manter o equilíbrio ácido-base é necessário que ocorra a proporção um para um, ou seja, para cada bicarbonato reabsorvido, um H^+ precisa ser secretado. Quando há uma redução na concentração de H^+ do líquido extracelular (alcalose) os rins não conseguem reabsorver todo o bicarbonato filtrado

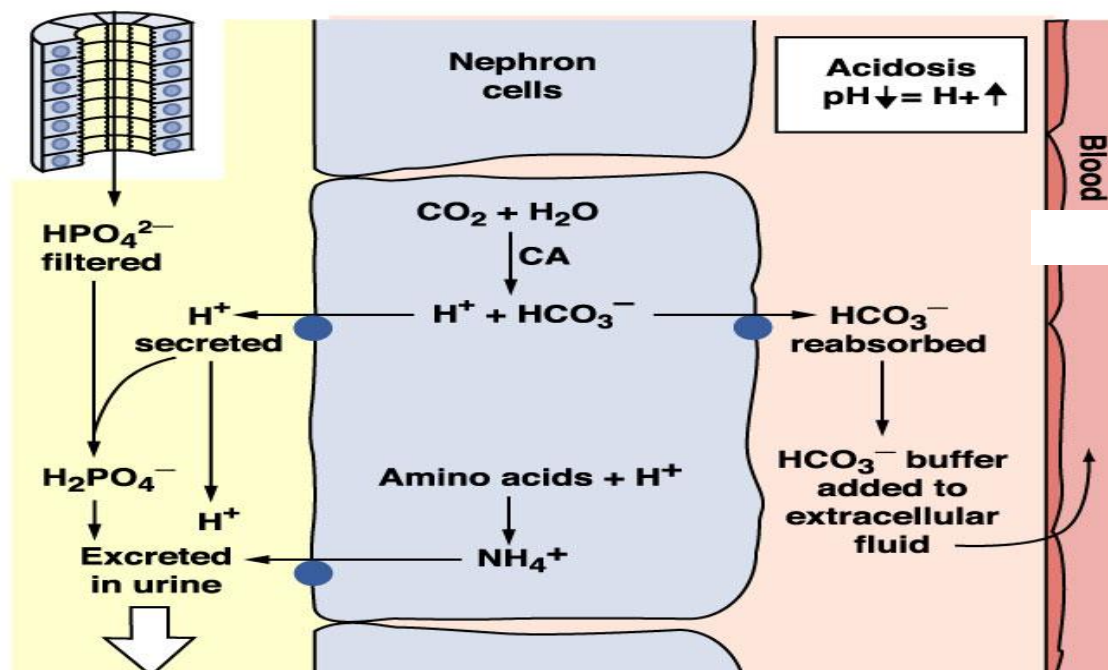
umentando, assim, a excreção desses. Como o bicarbonato normalmente tampona o hidrogênio no líquido extracelular, essa perda de bicarbonato significa o mesmo que acrescentar H^+ ao líquido. Desta forma, na alcalose, a remoção de HCO_3^- eleva a concentração de H^+ do líquido extracelular para os níveis normais (GUYTON; HALL,2011).

Na acidose (Figura 2), os rins não excretam HCO_3^- na urina, mas reabsorvem todo aquele que foi filtrado e produzem novo bicarbonato, que é acrescentado de volta ao líquido extracelular. Isto reduz a quantidade de H^+ do líquido extracelular para níveis normais. (GUYTON; HALL,2011).

Além disso, no sistema renal existe a contribuição dos tampões de fosfato (PO_4^{3-}) e amônia (NH_3) para a geração de novos íons HCO_3^- , por exemplo, quando todo bicarbonato tiver sido reabsorvido e não estiver mais disponível para combinar-se com o íon H^+ ; qualquer excesso de H^+ pode combinar-se com íons fosfato ou outros tampões. Depois que o H^+ se combina com o HPO_4^- para formar $H_2PO_4^-$ podem ser secretados como um sal de sódio (Na_2HPO_4), carregando hidrogênio (H^+) em excesso (GUYTON; HALL,2011).

Já a formação de novos HCO_3^- pela amônia, se dá através das reações da glutamina que resultam na formação de dois íons NH_4^+ que vão ser secretados no lúmen tubular e dois íons HCO_3^- que serão reabsorvidos, contribuindo para o equilíbrio ácido-base do organismo.

Figura 2 - Compensação renal da Acidose.



Fonte: Google imagem, 2019.

Os rins são órgãos endócrinos, assim produzem hormônios, sendo os principais: a renina (conjunto de peptídeos), eritropoietina (hormônio glicoproteico) e a vitamina D ou calcitriol ($C_{27}H_{44}O$). Esses hormônios afetam a função de outros órgãos como, por exemplo: a eritropoietina, produzida pelos rins, que estimula a produção de células vermelhas do sangue. A renina ajuda a regular a pressão arterial e a controlar o metabolismo do cálcio (Ca^{2+}), enquanto a vitamina D ajuda na absorção do cálcio. (PODESTA et al, 2014).

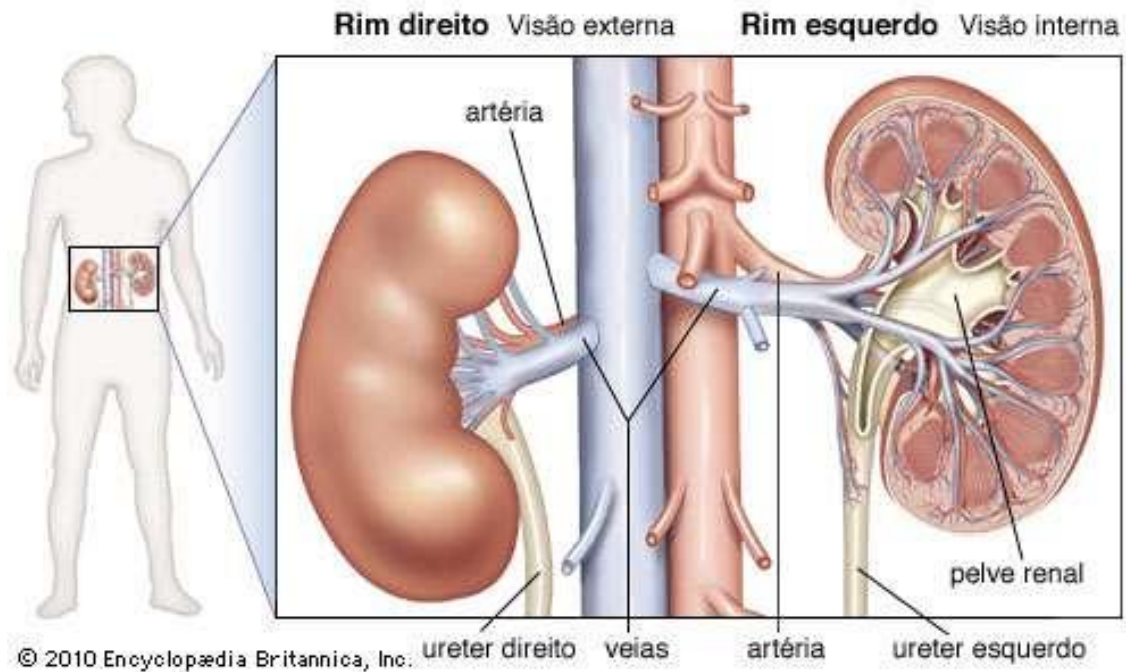
Se a pressão arterial cair abaixo dos níveis normais, os rins secretam renina para ativar o sistema renina-angiotensina-aldosterona que eleva a pressão arterial. Além disso, quando a pressão arterial cai abaixo dos níveis normais, os rins secretam renina para a corrente sanguínea e, deste modo, ativam o sistema renina-angiotensina-aldosterona, que eleva, por sua vez, a pressão arterial. Os rins também produzem urotensina, que faz com que os vasos sanguíneos se contraiam e ajudem a aumentar a pressão arterial. Uma pessoa com problemas renais é menos capaz de regular a pressão arterial e tende a ter pressão arterial alta (JAIPUL, 2019, p.1).

Em suma, as principais funções dos rins são:

- Remover excretas nitrogenadas do corpo;
- Remover metabólitos prejudiciais ao organismo;
- Equilibrar os fluidos no corpo evitando sobrecarga renal;
- Liberar hormônios que regulam a pressão arterial;
- Produzir uma forma ativa de vitamina D para os ossos;
- Atuar na produção de células vermelhas do sangue (BASTOS et al, 2011).

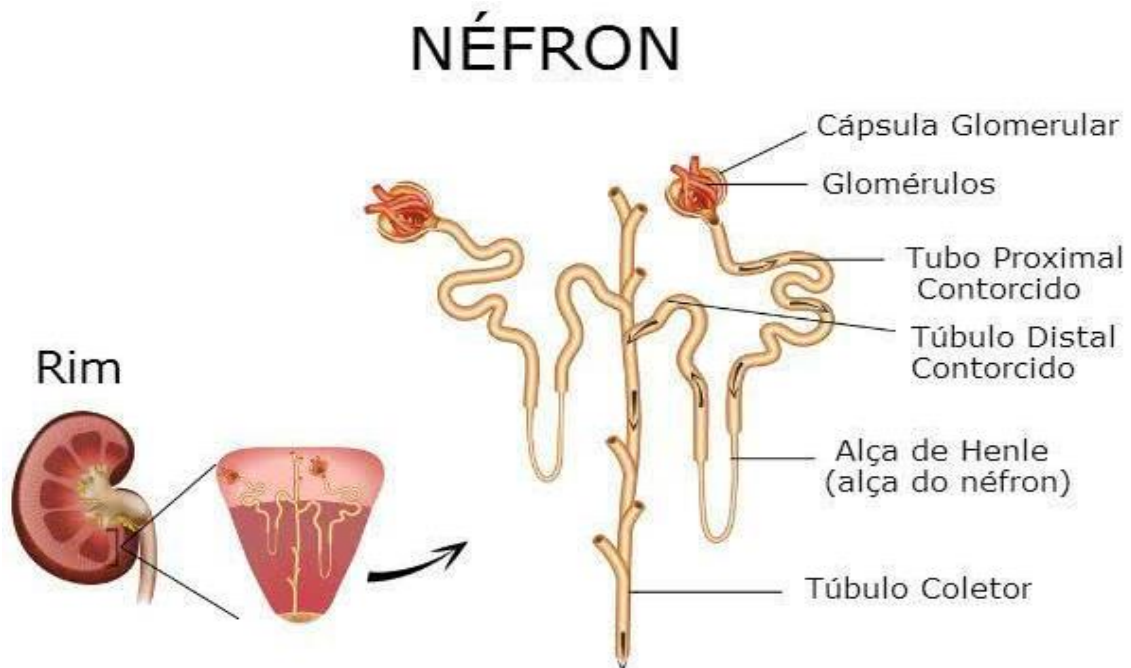
Anatomicamente, os rins são pequenos órgãos em formato de feijão com peso de aproximadamente 120 a 180gr. Geralmente em número de dois, os rins estão localizados na parte posterior do abdome com suas extremidades superiores localizadas na altura dos arcos costais mais inferiores, isto é, nas 10^a a 12^a costelas torácicas, conforme ilustrado na figura 3. O rim direito geralmente é menor do que o esquerdo (SOBOTTA, 2018). Cada rim é composto por células diferenciadas e contém até um milhão de unidades chamadas néfrons (figura 4), sendo que cada unidade ou néfron é constituído de pequenos vasos chamados de glomérulos, afixados a túbulos renais.

Figura 3- Localização e anatomia renal.



Fonte: <https://www.anatomiadocorpo.com/sistema-urinario/rins/>, 2010.

Figura 4 – Representação de um néfron e seus componentes



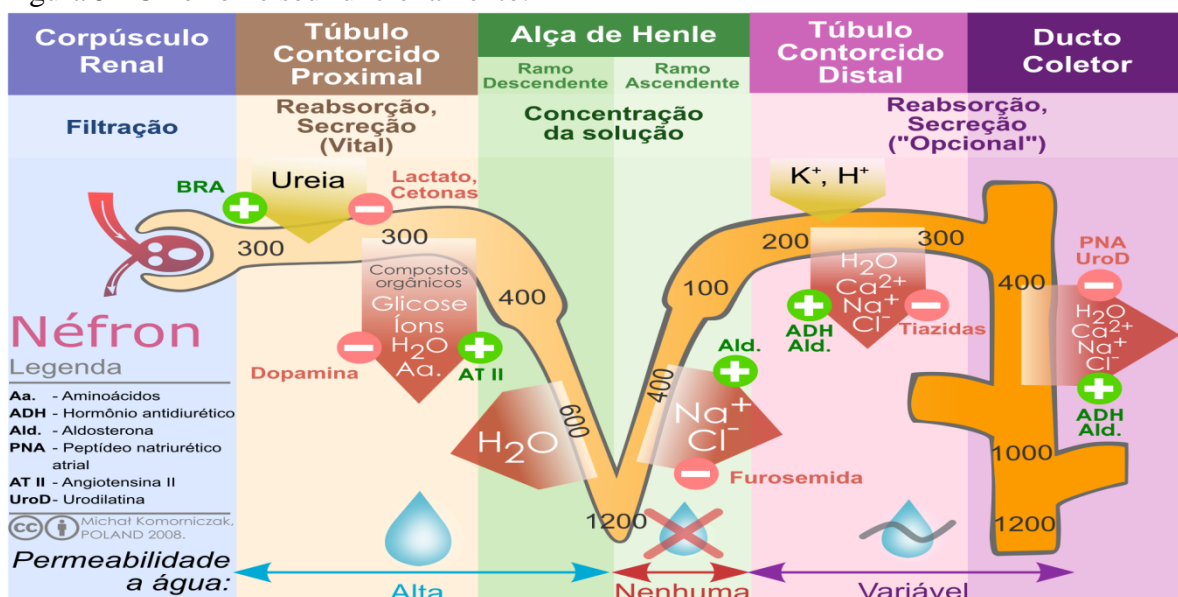
Fonte: <https://www.todamateria.com.br/nefron/>

Segundo Sobotta (2018), os rins realizam o trabalho de filtrar e devolver à corrente sanguínea aproximadamente 200L de fluido a cada 24 horas. Desses, aproximadamente 2 L são removidos do corpo na forma de urina. Quem realiza esse papel de filtração é o néfron (figura 5).

Quando o sangue chega ao rim (via artéria renal) e entra nos capilares do glomérulo, este é filtrado pelas unidades nefróticas formando o filtrado glomerular que contém água, ureia, vitaminas, aminoácidos, ácido úrico, sais, etc., e o fluido restante então passa pelo túbulo proximal. Ao longo desse trajeto mais de 99% da água filtrada no glomérulo é reabsorvida. Após a etapa da filtração, água (H₂O) é adicionada ou removida deste fluido filtrado, de acordo com as necessidades do corpo, resultando na urina como produto final armazenada na bexiga para ser excretada do organismo. Como se pode ver, a urina é produzida por meio dos processos de filtração, reabsorção e secreção. Na alça néfrica (Alça de Henle) ocorre a reabsorção da água do filtrado glomerular para os capilares, e no túbulo contorcido distal ocorre a remoção das excretas indesejadas (ácido úrico e a amônia) dos capilares sanguíneos. As excretas indesejadas são removidas e liberadas como urina no ducto coletor (figura5).

A urina é uma união de compostos químicos sendo constituída por água (95%) ureia (2%) e os 3% restantes, pode conter fosfato (PO₄²⁻), amônia (NH₃), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), ácido úrico (C₅H₄N₄O₃), creatina (C₄H₉N₃O₂), sódio (Na⁺), potássio (K⁺) e outros elementos.

Figura 5– O néfron e seu funcionamento.



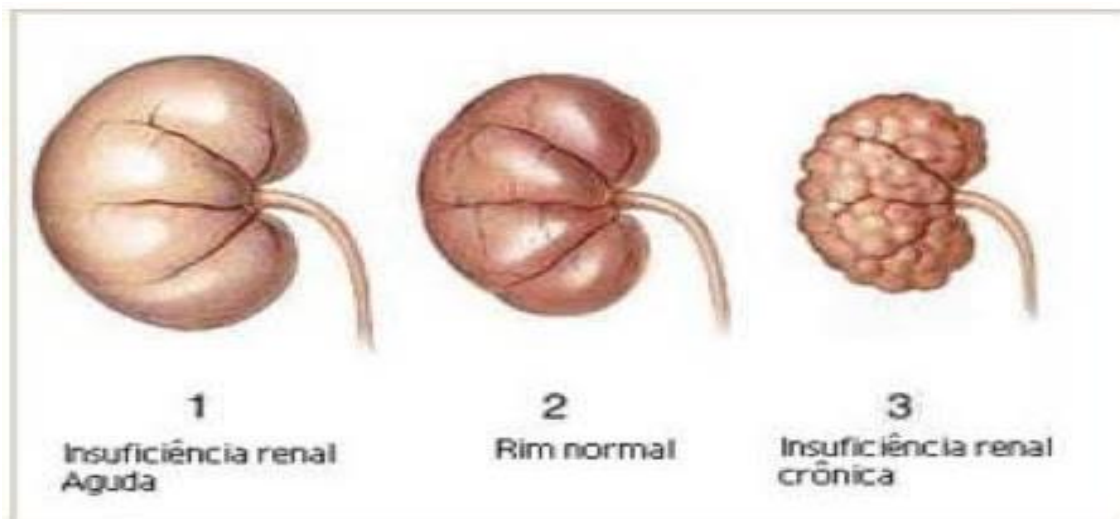
O número de pessoas no Brasil e no mundo com insuficiência renal crônica (IRC) tem aumentado nos últimos anos, tornando a doença um problema de saúde pública e médica. Segundo Sousa et al (2018a), a prevalência no Brasil de doenças nos rins é crescente, com prognóstico ruim: Estima-se que mais de cem mil pacientes se encontram atualmente em tratamento dialítico, sendo que mais da metade, ou 62,6%, está na faixa etária ainda produtiva de 19 a 64 anos.

“A IRC é provocada por uma variedade de nefropatias que, devido a sua evolução progressiva, determinam de modo gradativo e quase sempre inexorável uma redução global das múltiplas funções renais, isto é, glomerulares, tubulares e endócrinas. Essa patologia crônica causa uma grande perda do número de néfrons que são destruídos ou lesados, de maneira que os que restaram não podem desempenhar as funções normais dos rins. Em consequência, os rins tornam-se incapazes de desempenhar suas múltiplas e essenciais atividades homeostáticas, onde o aumento de doenças crônicas e incapacitações na população em geral principalmente na idosa se associa com o aumento da realização de exames, uso de medicações, hospitalizações e institucionalização, com consequente enorme sobrecarga financeira ao sistema de saúde pública em todos os países” (SOUSA et al, 2018a).

Ao acometer os rins, a IRC prejudica as suas funções, inclusive a de excreção que está ligada a aspectos qualitativos e quantitativos do que é ingerido ou administrado. Mas, até que a capacidade dos rins seja reduzida em até 25% da capacidade normal, não há sintomas aparentes ou observados porque o seu início ocorre lenta e progressivamente à medida que os constituintes do sangue como água, sódio, ureia (todos encontram-se na forma livre no organismo), entre outros, vão se acumulando no organismo causando edema e hipertensão (figura 6). Eventualmente, a elevação de ureia no sangue (uremia) e outras manifestações clínicas mostram que a doença renal está avançada (DAUGIRDAS, 2016).

O edema é um processo de acúmulo anormal de líquido no compartimento intersticial ou nas cavidades corporais devido ao aumento da pressão hidrostática, diminuição da pressão coloidosmótica, aumento da permeabilidade vascular (inflamações), diminuição da drenagem linfática e aumento da retenção de sódio. Em geral é constituído por uma solução aquosa de sais e proteínas do plasma.

Figura 6 – O rim normal e insuficiência renal aguda e a crônica



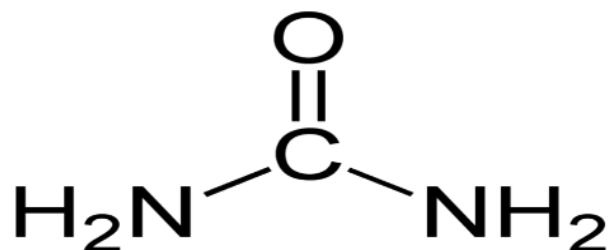
Fonte: Lopes, 1980

O diagnóstico tardio da doença renal está associado à demora no prognóstico o que frequentemente resulta em alta mortalidade. Por isso, é necessário um estudo de marcadores bioquímicos bem precisos da função renal glomerular e tubular (HOKAMA, 2004). O principal marcador fisiológico da IRC é a filtração glomerular, a qual faz uma estimativa da perda da função renal. “À medida que a insuficiência renal progride, a taxa de filtração glomerular (TFG) diminui, e com ela a redução progressiva das funções regulatórias, excretórias e endócrinas, ocorrendo assim o comprometimento de essencialmente todos os outros órgãos do organismo” (SOUSA et al, 2018a, p.1).

A ureia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) e a creatinina ($\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}$), substâncias excretadas pelo rim através da filtração glomerular, são os marcadores séricos mais usados para avaliar a função glomerular. A creatinina ($\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}$), principalmente, por estar relacionada à massa muscular, que diminui com a idade do indivíduo (SOUSA et al, 2018a).

A ureia (figura 7), molécula orgânica de baixo peso molecular, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, é também parâmetro para quantificar a dose de diálise e monitorar a qualidade da terapia (BALBI et al, 2017).

Figura 7 – Estrutura química da ureia



Fonte: Google imagens, 2019.

Outro marcador bioquímico usado para a avaliação da filtração glomerular é a cistatina C, proteína catiônica não glicosilada, cujo ponto isoelétrico é 9,3. Sendo um constituinte da superfamília das cistatinas, que, por sua vez, é composta por 12 proteínas. É um potente inibidor de proteases cisteínicas (como as catepsinas humanas B, H e L) composta de 120 aminoácidos dispostos em uma cadeia polipeptídica simples, cuja sequência foi determinada em 1981. (GABRIEL; NISHIDA; KIRSZTAJN, 2011).

Seus atributos incluem o pequeno tamanho e alto ponto isoelétrico que facilitam a filtração através da membrana glomerular e, ao contrário da ureia e da creatinina, a cistatina não sofre a influência da massa muscular, do sexo ou da alimentação do paciente, e é útil nos casos em que a medida de creatinina não é adequada (SOUSA et al, 2018a, p.2).

Os sintomas no paciente com IRC incluem anemia, retenção de líquidos no corpo, redução do volume de urina, falta de ar, inchaço, hipertensão, fraqueza, falta de apetite, náuseas, vômitos, coma e confusão mental, podendo chegar, em fases avançadas e não tratadas, até à morte (MELO et al, 2000).

O tratamento usualmente objetiva prevenção da progressão da doença e de comorbidades associadas para tanto são utilizados métodos que visam substituir a função renal para preservar a vida, o que inclui suporte nutricional adequado, diálise ou o em último caso o transplante renal (MARIOTTI, 2013).

O termo diálise é utilizado para denominar a difusão de solução cristalóide (soro) através de membranas semipermeáveis, sendo classificado em dois tipos: a hemodiálise e a diálise peritoneal. Neste estudo será dada ênfase a hemodiálise. Conceitualmente, o tratamento em hemodiálise (HD) é realizado com o auxílio de uma máquina chamada “rim artificial” e os meios de tratamentos utilizados no paciente nefropata crônico são: terapia renal substitutiva (TRS) por meio da hemodiálise (HD); diálise peritoneal ambulatorial contínua (CAPD), diálise peritoneal cíclica, diálise peritoneal intermitente, e transplante.

O foco da nefrologia é a terapia renal substitutiva (TRS) – diálise e transplante renal – como forma estabelecida de tratamento para os pacientes que evoluíram para doença renal crônica em estágio terminal (DRET). Ressalta-se também a importância de realizar o tratamento acompanhado de dieta, assim como a restrição do consumo hídrico para evitar a sobrecarga da função renal e o uso de medicamentos (SOUSA, 2018a; MARIOTTI, 2013).

3.2 Evolução histórica da hemodiálise

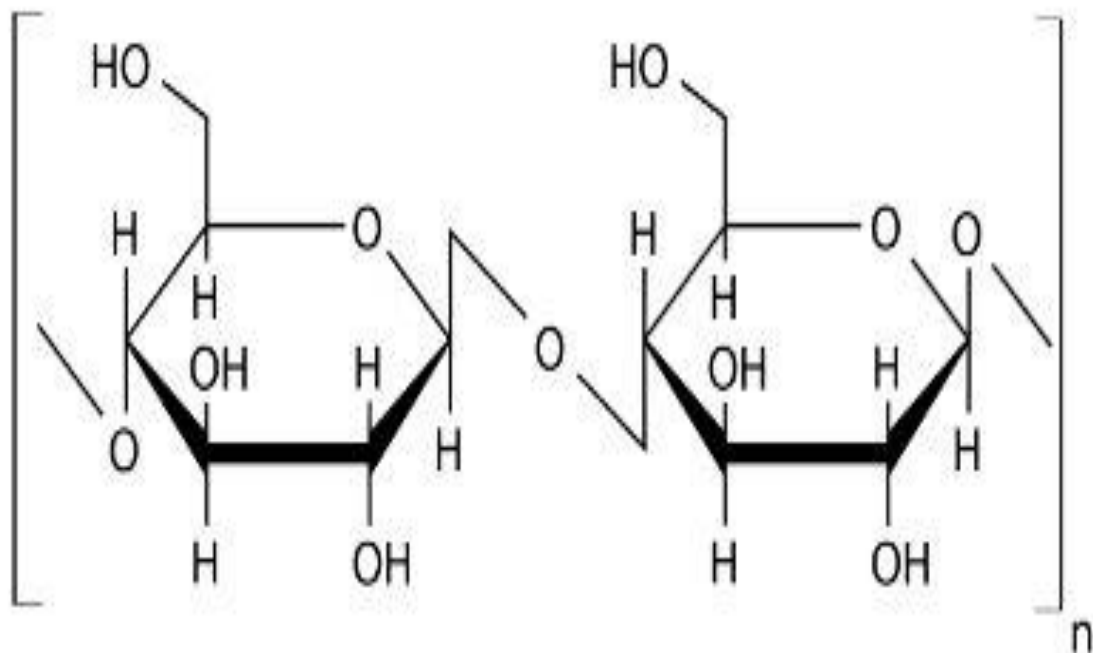
A hemodiálise é uma técnica comumente utilizada no tratamento de IRC, apesar de que esta terapia interfere na vida normal das pessoas, limitando a realização de rotinas diárias que, com frequência causam incapacidade física e problemas emocionais (OLLER et al, 2012). No entanto, sem este tratamento, milhares de pessoas não sobreviveriam já que a falha renal aguda e a crônica podem levar à morte se não forem tratadas em tempo adequado.

A IRC é tão antiga quanto à própria humanidade. Desde a Roma antiga até a Idade Média, os tratamentos para a uremia consistiam em banhos quentes, terapias de suor, sangrias e enemas (lavagem intestinal) (SOUSA et al, 2012b).

O início da história da hemodiálise pode ser considerado como sendo em 1830, quando o físico inglês Thomas Graham verificou que, separando dois líquidos com substâncias dissolvidas numa membrana celulósica, estabelecia troca entre elas. No entanto, a primeira descrição histórica de um procedimento de diálise foi publicada em 1913 por três cientistas, John Jacob Abel, Leonard Rowntree e Benjamin Turner que, trabalhando com cães com insuficiente renal direcionaram o sangue desses animais para fora do corpo através de tubos de membranas semipermeáveis feitas de um material à base de celulose. (SOUSA et al, 2012b; MACHADO, 2016). (Figura 8).

O material celulose que compõe a membrana semipermeável constitui um polímero de glicose formado por ligações β -1,4. O número de moléculas de glicose presentes em uma única molécula de celulose varia de 15 a 15.000, havendo, em média, 3.000 unidades. O emprego da celulose justifica-se por ser um carboidrato insolúvel e resistente a várias reações químicas. Entretanto, as membranas compostas desse material manifestaram certa fragilidade, provocando rupturas frequentes.

Figura 8 – Estrutura química da celulose



Fonte: Google imagens, 2019.

Não se sabe se a intenção era usar este procedimento para tratar a falha renal, mas o fato é que ainda hoje os tratamentos fazem uso de alguns elementos desses primeiros experimentos (SOUSA *et al*, 2012b; MACHADO, 2016).

Nos anos seguintes, foram realizados vários experimentos para ajudar pacientes com insuficiência renal. Em 1917, o alemão Georg Haas mudou o protótipo de John Abel aumentando a área das membranas e conseguiu esterilizar todos os componentes do circuito extra corporal com álcool etanol (C_2H_5OH). Acredita-se que Haas também realizou os primeiros tratamentos de diálise em seres humanos, na Universidade de Giessen, em 1924. Em 1927, ele realizou a primeira hemodiálise heparinizada, (figura 9) e até 1928, ele tinha tratado mais seis outros pacientes, mas nenhum sobreviveu devido às condições críticas dos pacientes e ineficácia do tratamento (SOUSA *et al*, 2012b).

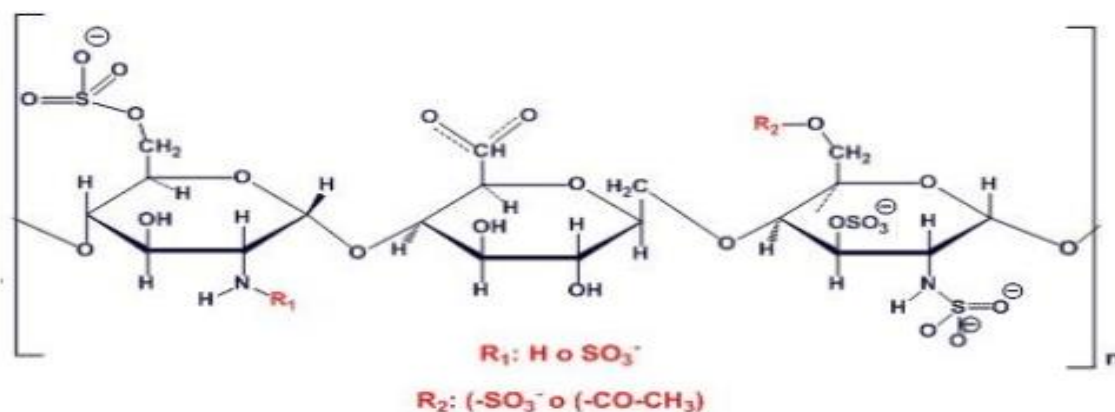
Figura 9 – Georg Hass realizando um tratamento de diálise em um paciente, c.1927



Fonte: Acervo do Precenius Medical Care, s/d

A heparina é um heteropolissacarídeo, do tipo glicosaminoglicano, de estrutura complexa, composta por sequências alternadas de resíduos sulfatados de ácido urônico e α -Dglucosamina ligados por ligação α e β (ANDRÉ FILHO, 2009). Apresenta um elevado grau de acidez, devido aos sulfatos pelos quais é constituída. Naturalmente, a heparina é produzida no fígado; quimicamente é formada por unidades dissacarídicas repetidas compostas por ácido urônico e um açúcar aminado. Possui ação farmacológica atuando como medicamento anticoagulante utilizado em várias patologias (PAVÃO; MAURO, 2002).

Figura 10 – Estrutura química da heparina



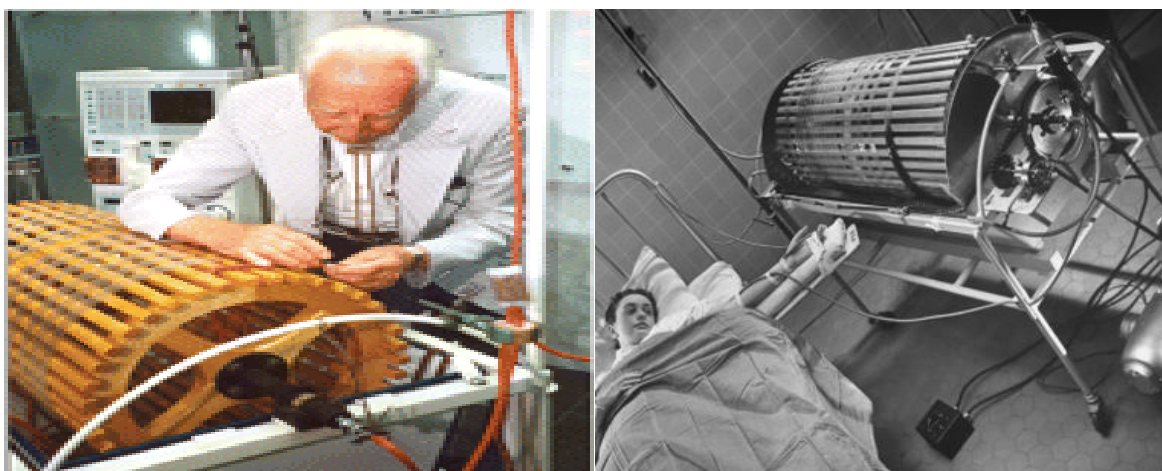
Fonte: <https://13molculasapular.wordpress.com/2014/06/03/a-trombose-e-o-seu-tratamento-quimico/>, 2019.

Com a descoberta da heparina, Haas a usou em seu sétimo e último experimento. A heparina se destacava por ser um anticoagulante universal encontrado em animais mamíferos que causava menos complicações que a hirudina (composto similar a heparina), mesmo quando não tinha sido purificada o suficiente, e poderia ser sintetizada em grandes quantidades. Após o desenvolvimento de melhores métodos de purificação, em 1937, a heparina foi adotada como um anticoagulante necessário e continua a ser usada até os dias de hoje (MACHADO, 2016).

No ano de 1945 foi realizada a primeira hemodiálise por William Johan Kolff, considerado o "pai dos órgãos artificiais", na Holanda. Ele inventou uma máquina de hemodiálise (rim artificial) que consistia em um longo tubo de celofane envolto espiralmente em um grande cilindro de aço, o qual girava horizontalmente em banho de diálise, como um tambor rotatório (Figura 11). A artéria radial do paciente era canulada e o sangue era escoado para um recipiente esterilizado que ficava acima dos tubos de celofane sob ação da gravidade e com auxílio de um motorzinho que girava o cilindro, o sangue passava por meio da solução de diálise.

O sangue era estocado em recipiente no outro oposto da máquina, e retornava, sob ação da gravidade, pela veia antecubital do paciente, conferindo a este aparato uma forma eficaz na remoção de toxinas urêmicas, mas não do excesso de líquido do paciente. Kolff realizou um tratamento de diálise, que durou 11 horas, em um paciente de 67 anos que tinha sido admitido no hospital com falha renal aguda. Mais tarde, este paciente saiu do hospital com o rim funcionando normalmente (NASCIMENTO, 2002).

Figura 11- Rim artificial de Kolff

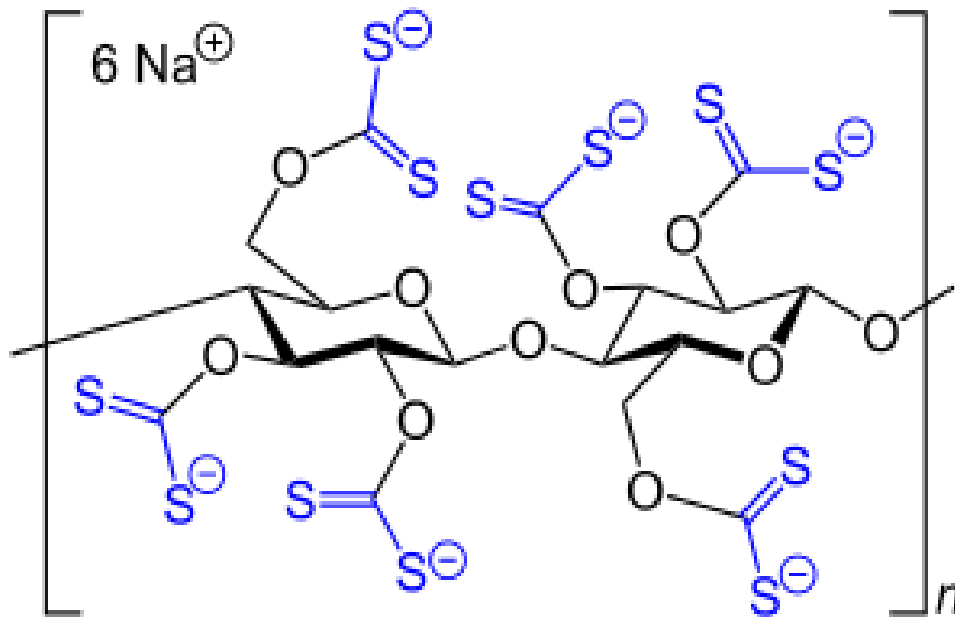


Fonte: Google imagens, 2019.

Vale ressaltar que para a composição dos tubos do equipamento de Kolff, foi empregado o celofane (figura 12), devido aos problemas técnicos apresentados com a

celulose. Em meados de 1936, o celofane já tinha iniciado sua comercialização e, desse modo, serviu para dar um impulso para a melhoria da diálise, tornando possível a diálise em seres humanos com alguma segurança. O celofane possui composição química variável podendo ser formado de celulose, esta é advinda da madeira, do algodão, do cânhamo, ou de outras fontes dissolvidos em álcali dissulfureto de carbono e para fazer uma solução chamada viscose, que após um banho de ácido reconverter a viscose em celulose (CRUZ,2011).

Figura 12 – Representação química do celofane.



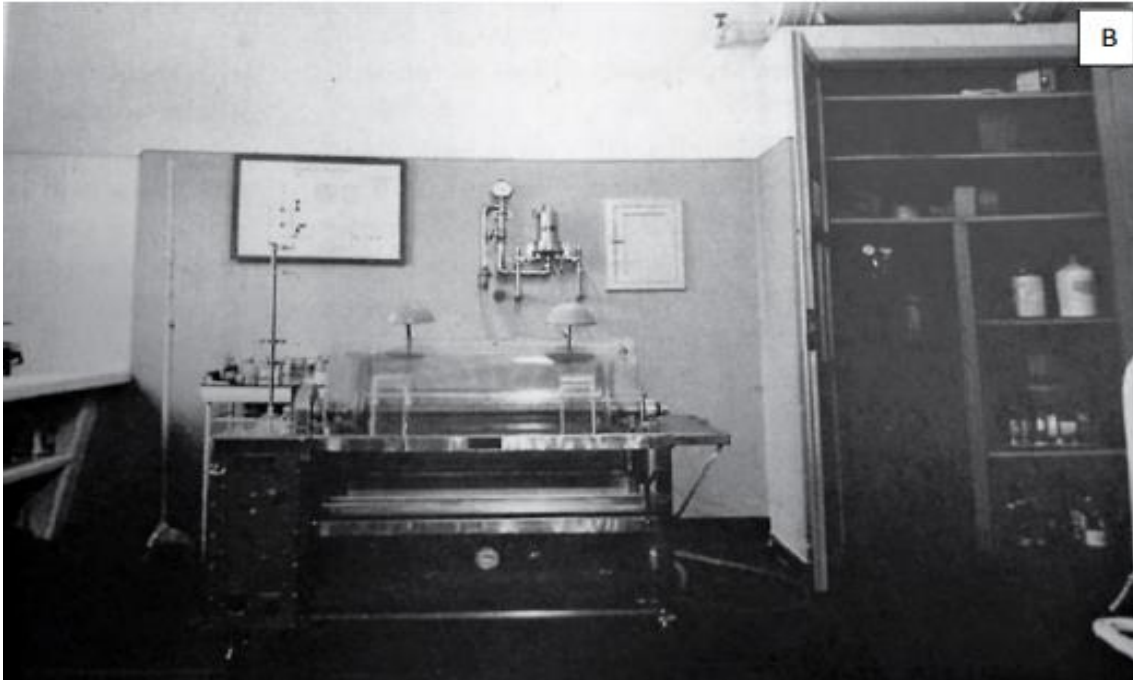
Fonte: Google imagens, 2019.

Já em 1948 surgiu a máquina de diálise de Kolff-Brigham, que consistia de uma modificação do equipamento anteriormente descrito, no qual o sangue do paciente era impulsionado por uma bomba. Durante o tratamento, os tubos cheios de sangue foram enrolados em um tambor de madeira que girava através de solução eletrolítica. À medida que os tubos passavam pelo banho, as leis da física faziam com que as toxinas urêmicas passassem para dentro desta solução (NASCIMENTO, 2002).

Simultaneamente, Murray, no Canadá, desenvolveu um aparelho com cilindro vertical, imóvel, imerso em solução de diálise, e que utilizava a Pressão Arterial como propulsor para o sangue avançar pelo tubo de celofane. Já o Dr. Nils Alwal, médico sueco, da Universidade de Lund, 1946 modificou o Rim de Kolff usando aço inoxidável num canister com pressão negativa, fazendo uma melhor diálise. (MION,1996).

O início da hemodiálise no Brasil se deu em 19 de maio de 1949, sendo realizada pelo Dr. Tito Ribeiro de Almeida, no Hospital das Clínicas de São Paulo com uma técnica própria, semelhante ao de Murray, após ter ficado um tempo com o Dr. Murray, no Canadá. (Figura 13)

Figura 13: Fotografia do “rim artificial” utilizado para primeira hemodiálise no Brasil.



Fonte: Nefro SP, 2006.

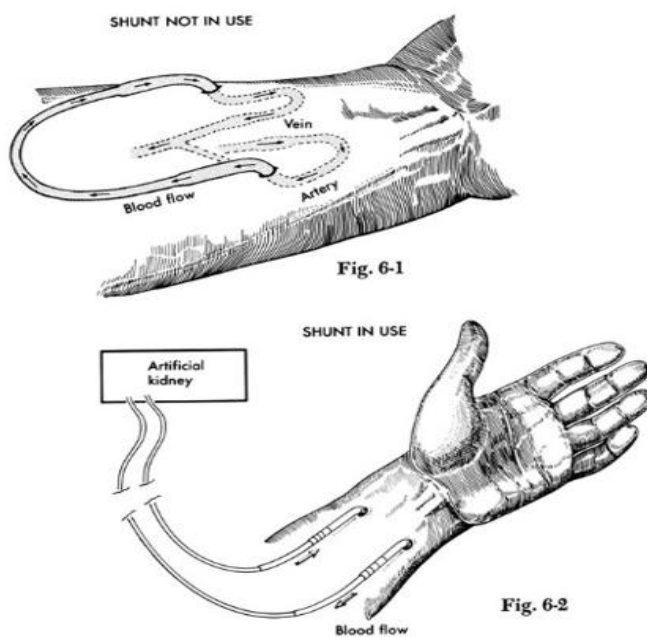
Segundo Cruz (2011) tubo era composto artesanalmente por cerca de 30 metros de tubo fino de celofane (o mesmo que era utilizado na fabricação de salsichas), enrolado feito serpentina em uma tela de aço inoxidável cilíndrica, que ficava imersa no líquido dialisador. Depois de testado e descartados os furos, o tubo de celofane era esterilizado fervendo-se o conjunto.

O líquido dialisador era feito também artesanalmente, com os sais pesados e diluídos no momento da hemodiálise em um tanque com cerca de 40 litros, com necessidade de troca a cada duas horas, e com a temperatura mantida por meio de uma resistência. Por um motorzinho elétrico, o líquido dialisador era agitado. Em 1º de dezembro de 1949, a primeira paciente sobreviveu à sessão de hemodiálise. Ela era uma mulher de 47 anos, com insuficiência renal aguda secundária à intoxicação por bicloreto de mercúrio (HgCl_2), que é um composto muito tóxico e corrosivo, e antigamente era utilizado como desinfetante (CRUZ,2011).

Segundo Sousa et al (2012b), na década de 1950 a hemodiálise ainda era considerada experimental devido ao número de problemas que persistiam no melhoramento da máquina, inclusive o celofane, que apesar de ser mais resistente do que a celulose ainda era frágil; além disso, a heparina não podia ser utilizada ilimitadamente. Houve a introdução do plástico, mas certas estruturas eram de borracha, metal ou vidro e algumas peças eram reutilizadas por falta de mercado fornecedor e, a estrutura dos dialisadores exigia grandes volumes obrigando o uso de sangue de doadores com consequentes riscos. Por outro lado, os médicos tinham consciência de que o tratamento em longo prazo danificaria uma série de veias e artérias do doente renal crônico, tornando impraticável a continuidade clínica, já que o mesmo se conectava ao dialisador por meio de tubos de plástico (cânulas), um inserido numa artéria e outro na veia.

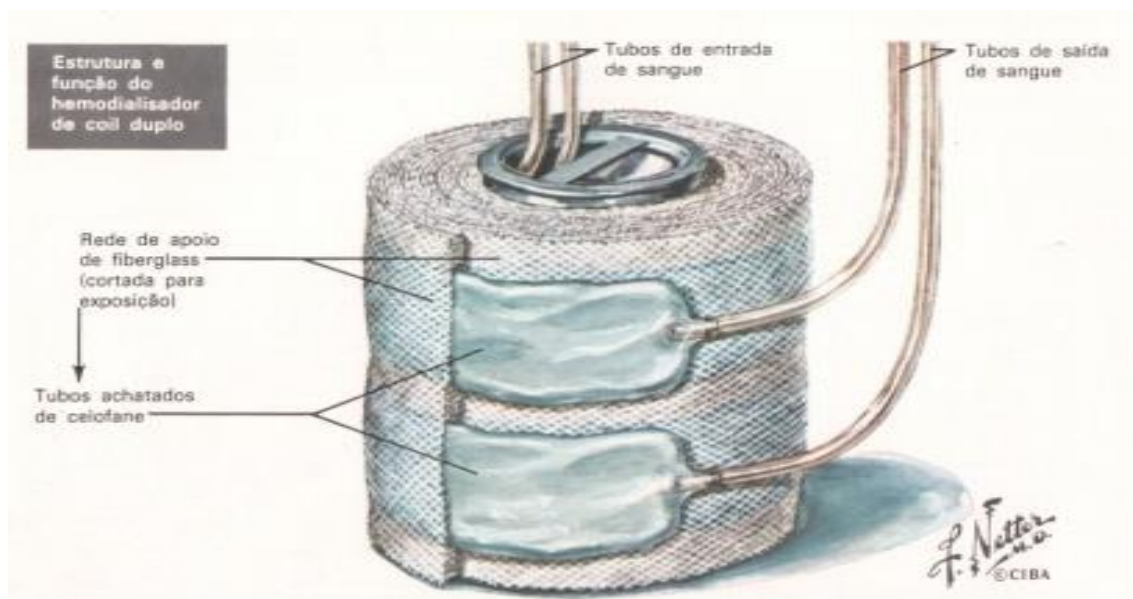
Na tentativa de trazer solução para tratamentos mais prolongados, em 1960, com o trabalho de Scribner e Quinton, foi desenvolvido o “Shunt” arteriovenoso externo permanente (Figura 14). O shunt consistia em ligar dois tubos em forma de U a uma máquina, unindo assim o sangue venoso e arterial. Isto tornou possível a realização do tratamento por múltiplas vezes. E, do mesmo modo, possibilitou também fazer uma avaliação regular aos mecanismos íntimos da hemodiálise, apesar de apresentar também suas deficiências, como infecções e coagulações (SOUSA, 2012B).

Figura 14 – O shunt de Scribner e Quinton



Ainda em 1960 o primeiro doente com insuficiência renal crônica foi tratado em hemodiálise regular, de uma a duas vezes por semana. Entre 1960 e 1964, foram desenvolvidos os dialisadores “Coil” (uma espécie de tubo de celofane enrolado em espiral) (figura 15) e do tipo Kiil (figura 16) (formados por placas de celofane paralelas). Por volta de 1965, conforme a Associação dos Doentes Renais Crônicos do Norte de Portugal (ADRNP, 2002), não se deve “esquecer que aqui não são referidos os milhares que morreram por falta de tratamento e outros pelo desconhecimento médico”.

Figura 15- Exemplo de dialisador do tipo Coil



Fonte: Google imagens, 2019

Figura 16- Exemplo de dialisador em placas Kiil



Fonte: Google imagens, 2019.

Em 1966, outro grande passo foi dado. De acordo com a ADRNP (2002), Cimino e Brescia criaram cirurgicamente a fístula arteriovenosa (FAV) interna, que consiste numa pequena comunicação, inferior a 0,5 cm, direta, entre uma veia e uma artéria. Deste modo, uma quantidade razoável de sangue arterial é desviada para a circulação venosa dessa região. Só existindo uma diferença, ao contrário do Shunt, enquanto este pode ser usado de imediato, a fístula precisa de um período para “amadurecer” e só deverá ser puncionada depois de três a quatro semanas após a sua instalação (ADRNP, 2002).

A FAV ideal, descrita por Ryan e Dennis, é aquela que proporciona um trajeto longo e superficial, possibilita vários pontos de punção, com distância adequada entre eles, economiza vasos para construções futuras de fístulas, permite conforto ao paciente em relação a posição do local de inserção de agulhas de aço cirúrgico (composto por uma liga metálica de carbono, níquel e cromo) e oferece boa taxa de permeabilidade e índice baixo de complicações (ADRNP, 2002),

A equipe de Enfermagem, ao puncionar a FAV do doente renal crônico, necessita realizar a assepsia no local a ser colocado as agulhas com solução antisséptica, álcool etílico hidratado 70° INPM. Além do mais, ao retirar as agulhas é indicado à realização de compressão manual, com material estéril (Gaze) em cima do local da punção. Os curativos, neste local, devem ser levemente compressivos (ADRNP, 2002).

No Brasil, a IRC começou a ser tratada por volta de 1972. As máquinas usadas, tipo tanque, eram importadas dos Estados Unidos. As clínicas as recebiam em comodato e pagavam pelos materiais descartáveis usados. Com o crescimento do mercado, começaram a surgir fabricantes nacionais fabricando máquinas tipo tanque e centrais de hemodiálise (Figura 17), mas na mesma época, o mercado internacional lançou as máquinas de proporção que favoreceu as empresas nacionais, apesar de ter um preço bem mais alto do que as máquinas tipo tanque (Figura 18). (MELO et al, 2000).

Figura 17- Maquinas tipo tanque.



Fonte: <http://helojunqueira.blogspot.com/2015/08/historia-da-hemodialise.html>

Figura 18 – Máquina de hemodiálise em uso em hospital em Recife/PE

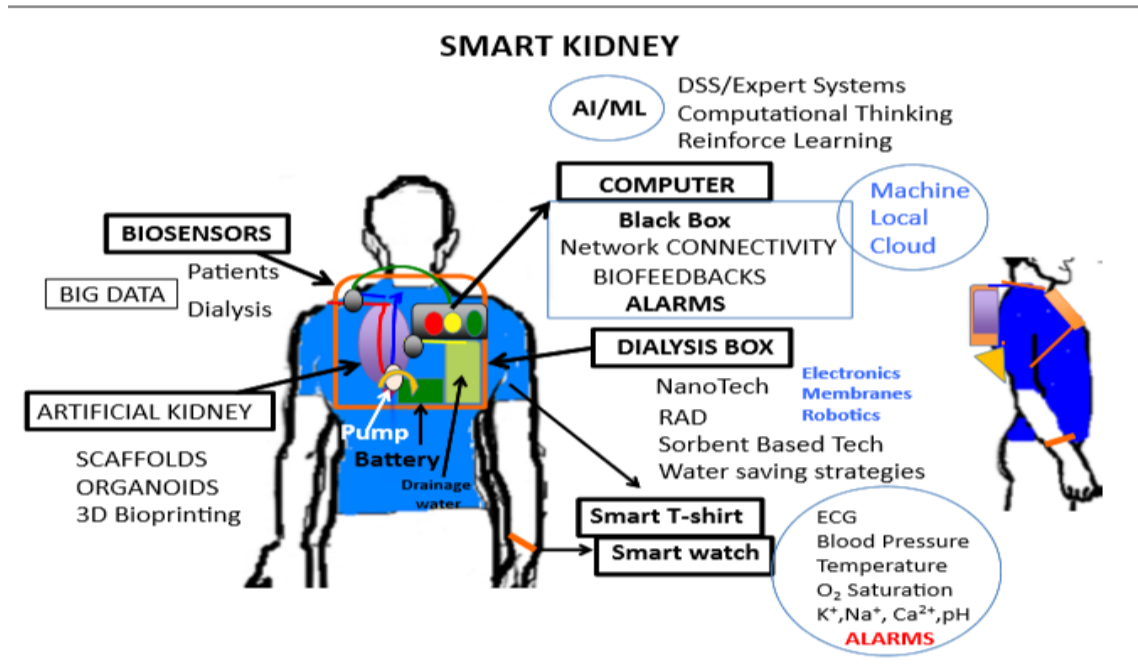


Fonte: Da autora, 2019.

Desde os seus tempos iniciais, a hemodiálise tem percorrido um caminho cheio de descobertas e de melhorias em máquinas e na química, solutos e dialisato de melhor qualidade, número maior de estabilizantes de pH do sangue, entre outros. Hoje em dia, a inteligência artificial (IA) aliada à engenharia (Machine Learning-ML) estão transformando

procedimentos médicos e terapias em tolerância hemodinâmica através de dispositivos bioassistidos, sendo que um dos maiores focos está no desenvolvimento de sistemas portáteis (figura 19), usados pelo paciente, para melhorar a sua qualidade de vida (HUESO et al, 2018).

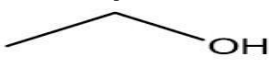
Figura 19– Diagrama de um rim “smart” que pode ser usado pelo paciente



Fonte: Hueso et al, 2018.

No entanto, a inovação baseada na IA e ML ainda precisa avançar antes que uma máquina de diálise “smart” ou inteligente seja capaz de analisar e entender as mudanças na homeostase do paciente e possa responder adequadamente em tempo real. Os avanços necessários na tecnologia incluem o tamanho da máquina, conectividade com a internet (predominantemente na forma de Internet das Coisas – IoT) e eficiência computacional. Além disso, esses recursos precisam ser robustos, sem falhas e de custo eficiente (HUESO et al, 2018).

Atualmente tem havido um grande progresso em relação à segurança e à eficácia das máquinas de diálise, tornando esse tipo de tratamento bastante seguro. Entretanto, é importante estar alerta para problemas que possam ocorrer, decorrentes dos produtos/equipamentos utilizados (BRASIL, 2010).

Autor	Ano	Química
Roma Antiga	Idade Média	Enemas (Lavagem Intestinal)
Thomas Graham	1830	(Dois Líquidos com substâncias dissolvidas). Membrana Celulósica.
Mc Lean	1916	Descoberta da Heparina.
Georg Haas	1927	Primeira hemodiálise Heparinizada. Esterilização com Etanol (C ₂ H ₅ OH)
		
	1936	Comercialização do celofane.
	1937	Aperfeiçoamento da Heparina.
Kolff-Brigham;	1945	Tubo de celofane com aço inoxidável
Tito Ribeiro (Brasil).	1949	Maquina Composta por tubo de Celulose. Inovação do Celofane.
	1950	Experimental: Introdução do Plásticos, mas certas estruturas eram de vidros, metal ou borrachas. Transfusão sanguínea. Peças reutilizáveis. Danificação das veias dos pacientes.
Scribner e Quinton	1960	“Shunt” arteriovenoso externo permanente. Tubo em forma de U revestido de Teflon (politetrafluoroetileno (PTFE)).
Cimino e Brescia	1966	FAV (Aglulas de Aço Cirúrgico). (composto por uma liga metálica de carbono, níquel e cromo))
Tragédia de Caruaru	1966	Osmose Reversa. Melhores condições no tratamento da água.
Atualidade	2019	Melhor sistema de Filtração. (Filtros de Carvão ativados e de Micra). Dialisador (com fibras capilares: alto e baixo fluxo). Sistema de esterilização: Acido puristeril (Ácido Peracetico CH ₃ CO ₃ H) mistura equilibrada de agua, acido acético e peróxido de hidrogênio. + Hipoclorito de sódio (NaClO) a 1% + Peroxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) + Iodo I ₂).
Atualidade		Solução de Dialise: (sódio (Na ⁺), potássio K ⁺), bicarbonato (HCO ₃ ⁻), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), cloro (Cl ⁻), acetato (C ₂ H ₃ O ₂ ⁻), glicose(C ₆ H ₁₂ O ₆), pCO ₂ -(Pressão

3.3 Contaminação de hemodialisadores

A contaminação das máquinas de hemodiálise ocorrida na cidade de Caruaru município do Pernambuco é fundamental para a compreensão das mudanças posteriores alcançadas em relação à segurança das máquinas de diálise. Tal evento ocorreu em 1996 e gerou a morte de mais de 70 pacientes em hemodiálise. Sob suspeita, foram colocadas as marcas de hemodialisadores usadas pela clínica de modo que houve um grande pico de importação. (CÂMARA NETO, 2011).

Após o ocorrido, a fabricação de centrais de hemodiálise foi suspensa no Brasil e, a Portaria 2.042/1996 passou a estabelecer como requisitos mínimos para as hemodialisadores várias funções normalmente atendidas pelas máquinas proporcionadoras, porém sem determinar o tipo de máquina. A indústria nacional fez algumas adaptações, mas como eram empresas pequenas, não havia dinheiro para grandes investimentos e melhoramento nos maquinários (SOUSA et al, 2012b).

No entanto, foi constatado depois que o problema estava na água usada no tratamento dialítico que era retirada do rio Taboca e levada por carros-pipa e distribuída sem tratamento nos tanques da clínica. Essa água estava contaminada pela microcistina-LR, uma toxina liberada por cianobactéria e que foi encontrada no filtro de carvão usado na clínica, no dialisador, no plasma e no fígado dos pacientes (MENDES, 2016).

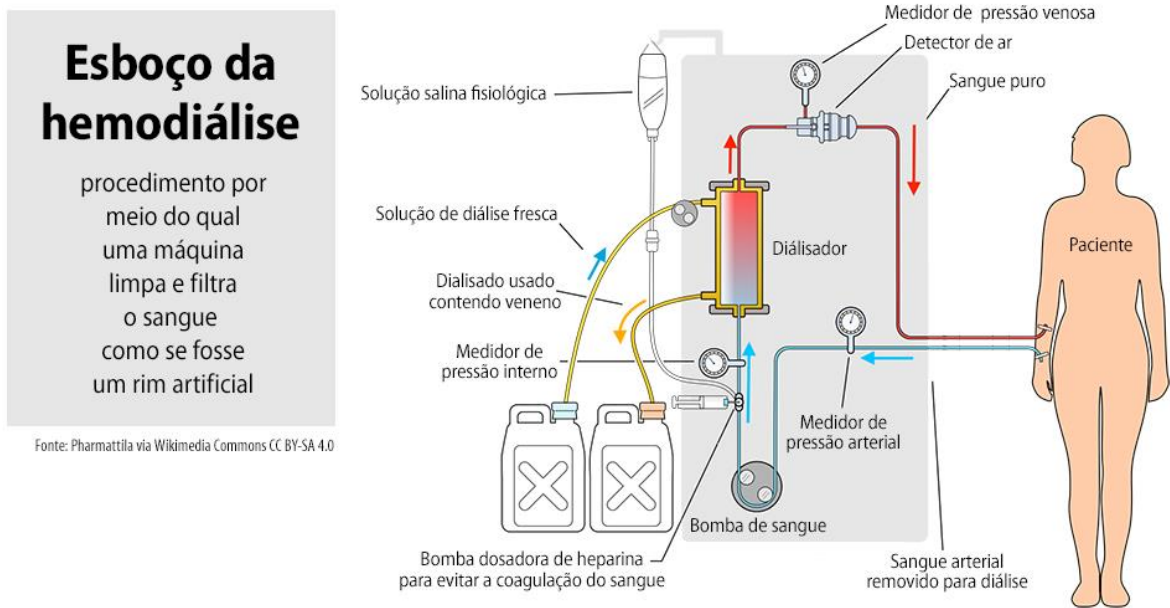
Ainda em 1996, outro paciente de hemodiálise morreu na cidade de Campinas, São Paulo, onde houve um episódio de bacteremia causada por *Pseudomonas aeruginosa*, a mesma cepa de *P. aeruginosa* foi confirmada em amostras de água, do dialisato e de hemocultura do paciente (MENDES, 2016).

Desde então, vários estudos têm mostrado a contaminação da água, que têm grande importância já que compõe 95% de toda solução que faz a limpeza do sangue. Segundo Jesus e Almeida (2016, p. 1),

O volume de água tratada utilizada em cada sessão de hemodiálise (HD) é de, aproximadamente, 120 litros por paciente, variando entre 18.000 a 36.000 litros por ano. Em razão do uso de grandes volumes de água, expondo o paciente já debilitado a um contato prolongado, ocorre a relevância de uma maior atenção à qualidade da água utilizada na terapia de HD. Logo, uma maior preocupação quanto à qualidade do processo se refere aos parâmetros físicos e químicos e microbiológicos desse material. Nesse processo, a água deve ser tratada, de modo que apresente um padrão de qualidade de acordo com a Resolução RDC nº 154, de 15 de junho de 2004, da Agência Nacional de Saúde (ANVISA,2004).

Não é somente a água que pode causar problemas de contaminação. O sistema de hemodiálise é complexo e seus inúmeros componentes para o transporte de água, fluidos dialisadores e sangue podem ser contaminados de várias maneiras. Neste procedimento realizado por circulação extracorpórea, uma máquina retira o sangue do paciente por acesso vascular que depois é bombeado até o filtro de diálise, o dialisador. Este é exposto a uma solução de diálise, o dialisato, através de uma membrana semipermeável que faz a purificação do sangue para eliminar os resíduos prejudiciais à saúde (TONIOLO, 2014). Este processo, em síntese, está ilustrado na figura 20.

Figura 20 – Procedimento de hemodiálise



Fonte: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-da-saude/como-fazer-hemodialise-pode-afetar-a-felicidade-de-um-paciente-idoso/>.

A contaminação pode ocorrer também no cateter venoso central, como estudado por Santos (2017). Segundo este autor, a eficiência da hemodiálise exige um acesso sanguíneo em um vaso adequado e os acessos mais comuns utilizados pelos portadores da doença dialítica são a FAV, a prótese do politetrafluoroetileno (PTFE) e o CVC específico para hemodiálise. A FAV é considerada o acesso ideal para pacientes com IRC, pois apresenta os melhores resultados em médio e longo prazo, quando comparada aos outros tipos de acesso vascular. Entretanto, devido às suas desvantagens, como a demora na sua maturação, a instalação de um cateter muitas vezes é necessária.

Desde a década de 1960, com o início do reuso de dialisadores, estudos têm comparado o uso único e o reuso de dialisadores e o impacto do reuso nos parâmetros clínicos, laboratoriais e microbiológicos de pacientes em hemodiálise.

Segundo Upadhyay (2019), o reuso do dialisados é um processo complicado envolvendo várias etapas inclusive enxágue, limpeza, teste de desempenho e desinfecção das máquinas antes da reutilização e o uso de agentes de limpeza e germicidas potencialmente tóxicos.

“O contato acidental com esses agentes pode expor os pacientes e a equipe de diálise a riscos de saúde. Há também relatos de surtos de bacteremia por bactérias Gram-negativas devido a falhas em sistemas de controle de infecção e até mesmo um baixo nível de exposição a toxinas e contaminação microbiológica podem contribuir para inflamação crônica (UPADHYAY, 2019, p. 2).”

Upadhyay (2019) concluiu ainda que, apesar dos riscos em potenciais, a literatura não tem mostrado ensaios clínicos controlados randomizado comparando as duas práticas, e os estudos baseados na observação são inconsistentes.

No Brasil, a RDC No. 11/2014 proíbe o reuso de dialisadores nos seguintes casos: a) Que tenham a indicação na rotulagem “proibido reprocessar”, que não possuam capilares com membrana biocompatível, e em paciente com sorologia positiva para hepatite B, hepatite C (tratados ou não) e HIV (BRASIL, 2014).

Em seu art. 28, a mesma RDC postula que o dialisador pode ser usado para o mesmo paciente no máximo 20 (vinte) vezes, após ser submetido ao processamento automático, observando-se a medida mínima permitida do volume interno das fibras (BRASIL, 2014).

Ribeiro (2018, p. 23), analisou primeiro a literatura concluindo que “faltam evidências conclusivas sobre desfechos clínicos, microbiológico e ambiental quanto ao reuso de hemodialisadores.” Em seu próprio estudo clínico, baseado na observação e realizado com 10 pacientes com e sem reuso do dialisador, a autora concluiu que (RIBEIRO, 2018, p. 62),

“O presente estudo demonstrou três resultados principais: primeiro, a prática do reuso foi segura do ponto de vista microbiológico; segundo, não se observaram diferenças em parâmetros clínicos ou em marcadores séricos relacionados à inflamação comparando-se uso único com reuso; terceiro, o desempenho do dialisador manteve-se adequado até o 12º reuso, considerando-se os parâmetros clássicos de adequação em hemodiálise. Evidências científicas apontam para efeitos negativos da prática do reuso de dialisadores em termos de risco de segurança biológica e mortalidade, embora existam evidências opostas.”

O reuso do dialisador, no entanto, apresenta a vantagem da redução de custos que, segundo os proponentes desse método, é especialmente importante em países como o Brasil onde grande parte dos custos com a hemodiálise é coberto pelo sistema nacional de saúde. Citam-se ainda como vantagens do reuso do dialisador a redução dos sintomas intradialíticos, redução da síndrome do primeiro uso, e melhor biocompatibilidade (TONIOLO, 2014).

3.4 A química no tratamento de hemodiálise

O dialisato é um dos componentes básicos da hemodiálise. Consiste num líquido que entra em contato com o sangue através da membrana semipermeável no dialisador durante a hemodiálise. O dialisato permite o intercâmbio das substâncias, essencialmente os solutos, com o sangue, em ambas direções (PERÉZ-GARCIA et al, 2016).

As diferenças em concentração do dialisato depende dos gradientes necessários para alcançar o equilíbrio apropriado de cada substância, de acordo com as necessidades do paciente. A qualidade e a pureza do dialisato são dois dos requisitos mais críticos para a hemodiálise (PERÉZ-GARCIA et al, 2016). De acordo com Himmelfarb e Ikizler (2010) *apud* Silva (2016, p.35), o dialisato geralmente é composto de:

Quadro 1 – Composição do dialisato

Elemento químico	Concentrações
Sódio (Na ⁺)	Entre 130 e 145 mmol/litro. Concentrações superiores de sódio diminuem o risco de hipotensão intradialítica, mas aumentam a sede e o ganho de peso
Potássio (K ⁺)	Em geral, 2 a 3 mmol/litro. Níveis mais baixos de potássio no dialisato estão associados a morte súbita cardíaca.
Cálcio (Ca ²⁺)	Geralmente, 1,25 a 1,75 mmol/litro. Apenas cálcio não ligado à proteína é removido. Níveis mais altos de cálcio dialisado aumentam a pressão arterial intradialítica.
Magnésio (Mg ²⁺)	Geralmente 0,5 mmol/litro. O nível ideal de magnésio não está resolvido e o seu fluxo é difícil de prever.
Tampões alcalinos	Normalmente 30 a 40 mmol/litro. Predominantemente bicarbonato (HCO ₃ ⁻) com uma pequena concentração de acetato de etila (CH ₃ CO ₂ H). A concentração do bicarbonato pode ser ajustada para correção da acidose metabólica.
Cloreto (Cl ⁻)	É definido pelos cátions prescritos e tampões alcalinos no dialisato.
Glicose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	Geralmente 100 a 200 mg/dl.
Medicações intradialíticas	Eritropoetina (glicoproteína), ferro (Fe ²⁺), análogos de vitamina D (C ₂₇ H ₄₄ O) e antibióticos a depender do caso do paciente.
Anticoagulante	Heparina ou outros agentes como a Hirudina.

Fonte: Adaptação de Himmelfarb, Ikizler (2010) *apud* Silva (2016)

A presença de contaminantes no dialisato expõe o paciente ao risco de acúmulo de substâncias tóxicas e conseqüentes complicações agudas ou crônicas. Alguns contaminantes podem interagir com células e proteínas, desencadeando a bioincompatibilidade, além daqueles outros problemas causados por outros componentes no circuito de sangue extracorpóreo (PERÉZ-GARCIA et al, 2016).

Quando se trata de fluidos na hemodiálise, a água se sobressai como o principal assunto na literatura por sua importância no tratamento dialítico e a qualidade da água é

fundamental, tanto química quanto microbiologicamente. Uma pessoa adulta pode ingerir aproximadamente 14 litros de água por semana, oralmente, absorvido pelo trato intestinal e cujo excesso é removido pelo nefrón no rim, saindo do corpo com outros produtos residuais do metabolismo na urina (MENDES, 2016). Por outro lado, um paciente de hemodiálise em tratamento três vezes por semana possivelmente estará exposto a 576 litros de água via o dialisador semipermeável.

Até 1996, a água utilizada nos tratamentos de hemodiálise era classificada e analisada como água potável, mas posteriormente foi verificada uma correlação entre a qualidade da água e os efeitos causados no paciente, o que fez surgir análises mais complexas para demonstrar se a água poderia estar contaminada ou não (MENDES, 2016).

Com o passar dos anos, as regras brasileiras para a qualidade da água foram se tornando mais exigentes, em alinhamento com os parâmetros determinados em outros países, notadamente nos Estados Unidos, através dos padrões para dialisato da Associação para o Avanço da Instrumentação Médica (AMMI) e normas da Organização Internacional de Padronização (ISO) de qualidade.

Segundo Pérez-Garcia et al (2016) aproximadamente 96% dos 90 a 240 litros de dialisato usado em uma sessão de hemodiálise é composto de água. Os contaminantes na água podem ser transferidos para o paciente, levando a um acúmulo desses contaminantes. No entanto, apesar de ser o principal componente do dialisado, a água é a mais difícil de padronizar e, portanto, deve ser constantemente monitorada.

A ANVISA, na sua RDC No. 11/2014, estabeleceu os seguintes padrões para a água potável a ser tratada para o uso na hemodiálise (Quadro 2).

Quadro 2 – Características físicas e organolépticas da água potável.

Características	Parâmetro acessível	Frequência da verificação
COR APARENTE	Incolor	Diária
TURVAÇÃO	Ausente	Diária
SABOR	Inspido	Diária
ODOR	Inodoro	Diária
COLORO RESIDUAL LIVRE	Água da rede pública maior que 0,2 mg/L água;	Diária

	Água de fonte alternativa: maior que 0,5mg/L	
pH	6,0 a 9,5	Diária

Fonte: Adaptação do manual da ANVISA (2014).

No Quadro 3 está o padrão de qualidade para a água usada na hemodiálise, ainda segundo a RDC No. 11/2014.

Quadro 3 – Padrão de qualidade para a água de hemodiálise, segundo a RDC No. 11/2014

Componentes	Valor máximo permitido	Frequência de análise
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: BRASIL, 2014.

De modo que os padrões universalmente aceitos com a finalidade de monitorar a qualidade da água para a hemodiálise exigem que todos os elementos envolvidos na produção da água devem ser monitorados; devendo manter um registro de todos os testes e procedimentos realizados no sistema de tratamento da água; além de seguir protocolos de manutenção e que descrevam os procedimentos a serem adotados em caso de falha. Esses procedimentos dependem do sistema de tratamento utilizado, das pessoas envolvidas e das características da unidade de hemodiálise (SILVA, 2016; PERÉZ-GARCÍA et al, 2016).

Em cada sessão de hemodiálise o paciente tem contato com cerca de 120 a 200 litros de solução de diálise, por isso que há um rigoroso controle na qualidade da água utilizada na hemodiálise.

De acordo com Falcão (2015) os principais sistemas para o tratamento da água em hemodiálise são:

- Deionizador: composto por várias colunas em série, uma de areia de variados tamanhos de grãos, uma de carvão, uma de resina catiônica, uma de resina aniônica e filtros microporosos. É muito eficaz contra os contaminantes iônicos, porém apresentam risco para contaminação microbiológica e possuem custo elevado.
- Osmose reversa: é o método mais comum e oferece água de melhor qualidade. É composto por várias colunas em série, uma de areia de vários tamanhos de grãos, uma de carvão e uma de abrandador. A água é transferida de um compartimento para outro através da diferença de pressão hidrostática e osmótica por uma membrana semipermeável e possui a capacidade de reter de 90 a 99% de elementos minerais e de 95 a 99% dos elementos orgânicos.

É importante salientar que os reservatórios de água dos centros de diálise devem ser constituídos por material atóxico, não deve possuir cantos e o fundo deve ser cônico a fim de permitir seu total esvaziamento. A tubulação por onde percorre a água deve ser do mesmo material do reservatório e, deve possuir ainda um sistema de recirculação da água tratada, pois a água do sistema precisa estar em constante movimentação. Para desinfecção do reservatório recomenda-se periodicidade mensal e o uso de hipoclorito a 0,1%, seguido de enxágue até que o teste residual para o produto apresente resultado negativo (FALÇÃO, 2015).

A avaliação de se a dose de diálise está de acordo com a prescrição é feita através da depuração de pequenos solutos. Para que um soluto possa ser considerado ideal, a fim de avaliar a sua remoção, ele precisa ser mensurado com facilidade, isto é, suficientemente abundante, e se mover livremente por difusão através das membranas de diálise e compartimentos corporais sem se ligar a macromoléculas no soro (MOLINA et al, 2010).

Entre os pequenos solutos, a ureia é um importante marcador para medir a adequação da hemodiálise. De modo que, segundo Molina et al (2010, p.37),

“Para avaliar a depuração residual, faz-se necessário a monitoração constante da eficácia da diálise, cujo objetivo é estabelecer a dose de diálise adequada e contribuir para a correção do estado urêmico, manutenção dos níveis de eletrólitos séricos, estado nutricional e volume de líquidos.”

A síndrome urêmica é a principal consequência da deterioração da função renal, uma vez que provoca acúmulo de resíduos orgânicos denominados toxinas urêmicas, as quais contribuem para alterações sistêmicas. Clinicamente, esse fenômeno é conhecido como uremia ou simplesmente urina no sangue (SILVA, 2016).

A classificação das toxinas urêmicas é realizada de acordo com as suas propriedades físico-químicas e tem uma subdivisão com três tipos de moléculas, onde entre elas se destaca a ureia, o primeiro soluto a ser identificado e de maior concentração no sangue dos pacientes (SILVA, 2016).

A redução de todos os marcadores sinaliza a redução das complicações urêmicas, mas se o tratamento da hemodiálise não conseguir remover essas toxinas satisfatoriamente, o acúmulo no organismo interage negativamente e causas inúmeras complicações sistêmicas (SILVA, 2016).

3.5 Riscos e benefícios da química nos equipamentos de hemodiálise

A qualidade e a segurança são uma constante preocupação das unidades de saúde, e é comum a realização de avaliações de risco não somente para os pacientes, mas também para os funcionários e profissionais de saúde uma vez que ajuda a minimizar/reduzir efeitos adversos.

Um dos processos mais complexos realizados em um paciente, entre os vários que são realizados em unidades de saúde é a hemodiálise pois envolve não somente a hemodiálise em si, mas também processos assistenciais e inúmeros compostos químicos e tecnologias que podem causar um efeito adverso no paciente (MALTA, 2014).

Exemplo disso é a membrana dialisadora que funciona como corpo estranho e desencadeia reações adversas no organismo do paciente, tais como hipersensibilidade, alteração da função leucocitária, entre outras, devido apresentar baixa biocompatibilidade.

Em relação aos riscos, os contaminantes químicos que podem estar presentes no processo de hemodiálise são:

- Flúor (F^-) e cloro (Cl^-): Em 1980 o flúor provocou complicações graves em 8 pacientes e óbito de um deles. Oito anos depois, na Filadélfia, foram descritos 44 problemas de hemólise devido à remoção inadequada de cloro da água utilizada (PEGORARO, 2005).
- Cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}): o acúmulo destas espécies foi chamado de “síndrome de água dura” caracterizada pelo aparecimento de náuseas, vômitos, letargia, fraqueza muscular intensa e hipertensão arterial no processo de diálise. Esses elementos em excesso na água do dialisato confere a dureza, e também causa a diminuição da sensibilidade da placa motora à acetilcolina e provoca bloqueio da transmissão neuromuscular (SILVA et al.) 25

- pH – os baixos valores podem contribuir para sua corrosividade e agressividade, enquanto valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações.
- Alumínio (Al^{3+}) – Está associado ao uso de sal de alumínio como agente coagulante utilizado no tratamento de água potável, ou seja, é um procedimento utilizado para melhorar a qualidade da água para consumo. Entretanto, esse elemento é tóxico para saúde dos pacientes renais crônicos. Até a década de 70, acreditava-se que o alumínio não fosse tóxico, entretanto, em “encefalopatia da diálise”, caracterizada por distúrbios da fala e convulsões evoluindo geralmente para óbito. (PEGORARO, 2005).
- Chumbo (Pb^{2+}) - é um metal tóxico ao organismo que se exposto em doses elevadas recebe o nome de saturnismo e pode causar o escurecimento da gengiva, náusea, dor de cabeça, danos ao fígado e, até mesmo hemólise fatal das células (PEGORARO, 2005).
- Cobre (Cu^{2+}) – a contaminação por cobre causa uma disfunção genética fatal conhecida como Doença de Wilson ou bioacumulação. O excesso de cobre pode prejudicar o fígado e o cérebro, provocando hepatite e sintomas neurológicos e psiquiátricos.
- Sódio (Na^+): a concentração de sódio na água pode ser elevada. Pode ser originado dos abrandadores que são utilizados para remover cálcio e magnésio da água. Essa concentração elevada pode causar hipertensão, convulsão, vômito, taquicardia e dificuldades para respirar (PEGORARO, 2005).
- Prata (Ag^+): A intoxicação crônica por prata pode levar à argirose cutânea, que se caracteriza por pele acinzentada e formação de uma linha acinzentada gengival (PEGORARO, 2005).
- Cádmio (Cd^{2+}): é um elemento tóxico com efeito carcinogênico, lesa túbulos renais, provoca doença óssea (osteomalácia) e hipertensão arterial (PEGORARO, 2005)
- Zinco (Zn^{2+}): o zinco em excesso na água para hemodiálise pode levar ao aparecimento de anemia hemolítica, além de náuseas e vômitos. O acúmulo crônico está relacionado a casos de encefalopatia (PEGORARO, 2005).
- Mercúrio (Hg): A grande lipossolubilidade do metal leva ao acúmulo no sistema nervoso central, causando tremores, paralisias e manifestações psiquiátricas (PEGORARO, 2005)
- Heparina- pode ocasionar risco de propagação de trombos ao paciente e pode causar inibição da função da detecção de Ar, caso haja agregação na câmara de gotejamento. (PEGORARO, 2005)

Entre os riscos de exposição profissionais, tem aquelas provenientes dos erros de manipulação adequada dos componentes, a exemplo do puristeril (utilizado para limpeza da máquina de hemodiálise); e durante a limpeza do dialisato pela exposição aos agentes químicos durante a desinfecção da máquina.

O principal benefício da hemodiálise é que o tratamento estende a vida do paciente. A hemodiálise é hoje em dia substancialmente mais segura do que nos primeiros e subsequentes tratamentos com melhores sistemas de entrega do dialisato, apresentando dispositivos de monitoramento mais confiáveis, bem como mecanismos de segurança automatizados que reduzem o risco de complicações (HIMMELFARB, IKZLER, 2014).

Além disso, ao longo das décadas foram desenvolvidos melhores padrões de qualidade da água, controles de ultrafiltração volumétricos e modelagem controlada por computador do sódio e do potássio. Dispositivos online permitem o monitoramento dinâmico da taxa de fluxo de sangue através do acesso vascular, além de mudanças na condutividade elétrica do dialisato para fazer uma estimativa da quantidade de soluto que está sendo removido (HIMMELFARB, IKZLER, 2014).

Até mesmo mudanças no tempo e local de tratamento que tem procurado trazer mais qualidade e mobilidade na vida do paciente, com regimes noturnos que permitem que o tratamento seja feito enquanto o paciente dorme ou tratamento em casa para evitar o seu deslocamento para uma clínica três a quatro vezes por semana (MENDES, 2016).

Naturalmente, a hemodiálise continua a ser um tratamento de saúde cuja qualidade e segurança dependem não somente da manutenção e desinfecção das máquinas, mas também de eliminação de problemas no dialisato, na pronta aderência aos protocolos e regras, e atenta participação dos profissionais no atendimento a esses itens de qualidade e segurança para evitar problemas de infecção (REISFORFER, 2011).

3.6 Conteúdo químico presente na hemodiálise para utilização no ensino da química

Mediante a revisão bibliográfica realizada, pode-se perceber a importância da química para a evolução da técnica de hemodiálise. Por outro lado, este estudo desperta muita curiosidade com relação aos mecanismos químicos representados pelas substâncias que se encontram dissolvidos no plasma, líquido intersticial e líquido intracelular do organismo, inclusive os mecanismos compensatórios da homeostase por meio de sistemas tampão com fins de impedir que o pH se afaste da faixa de normalidade (7,35 a 7,45). Fato é que os mecanismos de defesa contra a alteração do pH ou são químicos ou então fisiológicos, sendo

que ambos se mostram interligados; sendo, portanto, relevante conhecer também os mecanismos fisiológicos representados pelos rins, pois os mesmos têm um papel importante na regulação da remoção líquida de H^+ .

Sendo assim, a partir da investigação preliminar da química presente na hemodiálise, foram apontados alguns temas que podem ser utilizados no âmbito da docência em sala de aula, a exemplo de: (i) equilíbrio ácido-base, (ii) solução tampão; (iii) substâncias ácidos e bases e pH, (iv) eletrólitos e não-eletrólitos (v) reações químicas em solução aquosa, (iv) conteúdo da química orgânica relacionado à composição química dos componentes da máquina (celulose, celofane, plásticos, polímeros); (v) métodos de separação de componentes de uma mistura (filtração, e osmose e osmose reversa), (vi) a síntese de Wöhler da ureia sintética; (vii) conteúdo relacionado ao peso molecular por meio das substâncias presentes no processo de hemodiálise; (vi) volatilidade das substâncias excretadas pelos rins, entre outras.

Dessa forma, este estudo corrobora com a hipótese formulada inicialmente: a de que existe bastante conteúdo químico a ser explorado nos aspectos que envolvem os rins e o tratamento necessário deste em pacientes de IRC.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde a década de 1950 houve uma grande evolução no tratamento do doente renal crônico ao mesmo tempo em que cresce o número de pessoas acometidas com a doença em todo o mundo.

O desenvolvimento do processo de hemodiálise tem ajudado não somente a prolongar a vida do paciente, mas também reduzir o impacto da doença renal na sua vida diária e, do mesmo modo, sua qualidade de vida. Inovações como hemodiálise noturna em que o paciente faz o tratamento enquanto dorme, o rim artificial portátil que permitirá que o paciente não fique horas preso à cadeira em regime de tratamento mais ou menos prolongado, são algumas inovações implementadas nos últimos anos, devido aos avanços dos componentes e dos materiais e/ou substâncias químicas utilizadas durante sua evolução, tais como a heparina, o cloreto de sódio, gluconato de cálcio, sulfonatos, entre outros

Futuras inovações poderão incluir o monitoramento durante o tratamento e transferência de dados entre os registros médicos eletrônicos do paciente e o dialisador permitindo assim, prescrições personalizadas do dialisato. O dialisador é o local onde ocorrem as trocas por difusão e por ultrafiltração do plasma. Seu filtro é constituído por dois compartimentos, um por onde circula o sangue e outro por onde circula o dialisato. Estes compartimentos são separados por uma membrana semipermeável e o fluxo de sangue e o dialisato são contrários, permitindo melhorar a diferença de concentração dos solutos em toda a extensão do filtro.

No entanto, alguns problemas permanecem, entre eles o custo do tratamento que, em muitos países, inclusive o Brasil, é assumido em grande parte pelo Ministério da Saúde. A perda de autonomia do paciente que fica confinado em uma cadeira durante muitas horas por semana.

Mesmo assim, o desenvolvimento das máquinas de diálise, juntamente com melhores métodos de tratamento da água usada no dialisato e padrões de qualidade têm permitido que um recurso como a hemodiálise que foi escasso durante muitos anos seja hoje em dia comum nas diferentes partes do mundo. Aliados ao reuso dos dialisadores, se bem que uma prática de certo modo limitado, tem tido resultados como redução da mortalidade, morbidade e qualidade de vida têm melhorado com a introdução dessas tecnologias nos sistemas de saúde.

Este trabalho de pesquisa bibliográfica qualitativa e descritiva teve como objetivo principal uma revisão da evolução dos componentes químicos nos equipamentos de

hemodiálise para pacientes com insuficiência renal crônica. Concluiu-se, com essa pesquisa, que a nefrologia tem dado grandes passos como mostrado acima na redução da mortalidade e morbidade de pacientes.

Por outro lado, percebe-se que ainda há um caminho longo a se percorrer. Como recomendação para futuros passos, além redução dos problemas clínicos atuais como anemia, hipertensão e eventos cardiovasculares, incentiva-se mais estudos sobre o reuso de dialisadores, para acomodar um maior número de pacientes, bem como o aprimoramento das máquinas, inclusive para portabilidade, o que permitirá maior liberdade e qualidade de vida para os pacientes.

5 REFERÊNCIAS

ADRNP – Associação dos Doentes Renais Crônicos do Norte de Portugal. **Pioneiros da diálise**. 4 ed. Lisboa: Smarbook, 2002.

AUGIRDAS J.T.; BLAKE P.G.; TODD, S. **Manual de diálise**, 5a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016, 688 p.

BALBI A. L. et al. **Protocolos clínicos e padronização de condutas em diálise. Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu, 2017**. Disponível em <http://www.hcfmb.unesp.br/wp-content/uploads/2017/11/Protocolos-clínicos-e-padronização-em-condutas-em-diálise.pdf> Acesso em 28 set 2019.

BASTOS M. G. et al. Doença renal crônica no paciente idoso. **Rev. HCPA**, v.31, n.1, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada RDC No. 11, 2014. Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Diálise e dá outras providências.

CÂMARA NETO H. F. A “**tragédia da Hemodiálise**” 12 anos depois: **Poderia ela ser evitada?** (Tese de doutorado). Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, 2011.

CRUZ, A. C. Utilização do acetato de celulose produzido a partir da celulose extraída do caroço de manga como matriz para produção de sistemas microparticulados. **Quím. Nova**, v. 34, n. 3, p. 385-389, 2011 .

FALCÃO, C. R. A. **Avaliação microbiológica das amostras de água de diálise do estado de Pernambuco: resultados das análises realizadas no período de janeiro de 2011 a novembro de 2012**. [Especialização] Recife: INCQS/FIOCRUZ, 2015.

GABRIEL, I. C.; NISHIDA, S. K.; KIRSZTAJN, G. M. C. C sérica: uma alternativa prática para avaliação de função renal? **J. Bras. Nefrol.** v. 33, n. 2, p. 261-267, jun. 2011.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol Serv Saude**, v.23, n.1, p. 183-4, 2014.

HALL, J. E.; GUYTON, A. C. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

HIMMELFARB, J; IKIZLER, A. Hemodialysis. **New England J. of Medicine**, nov 2010.

HOKAMA, C. S. M. **Função renal de pacientes de unidade de terapia intensiva: Creatinina plasmática e proteína carreadora do retinol urinária (RBPu)**. 2004. (Dissertação de mestrado). Escola de Enfermagem, Universidade de São Paulo, 2004.

HUESO, M.; NAVARRO, E.; SANDOVAL, D. Progresso no desenvolvimento e desafios do uso de rins artificiais e dispositivos de diálise usável. **Revista Karger**, Instituto de Pesquisa Belvittge, Barcelona, 2018.

IUPAC, **Compêndio de Terminologia Química**, 2ª ed. 2006

JAIPUL, N. **Os rins**. Manual MSD.

Disponível em < <https://www.msmanuals.com/pt/casa/disturbios-renais-e-urinarios/biologia-dos-rins-e-do-trato-urinario/rins> > Acesso em 27 set 2019.

JESUS, G. P.; ALMEIDA, A. A. Principais problemas gerados durante a terapia de hemodiálise associados à qualidade da água. **Rev. Eletrôn. Atualiza Saúde**, v. 3, n. 3, p. 41-52, 2016.

MACHADO, M. C. Breve história da nefrologia. Liga Acadêmica de Nefrologia, Universidade do Vale do Itajaí, 2016.

MALTA, M. S. **Implantação da ferramenta análise dos modos de falha em uma unidade de hemodiálise**. 2014. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

MARIOTTI, M. C. **A insuficiência renal crônica**. 2013. (Tese de mestrado). Curso de Fisioterapia Ocupacional, Universidade Federal do Paraná, 2013.

MELO, N. C. V. **Impacto do reprocessamento de dialisadores de alto fluxo e alta eficiência sobre o transporte de solutos em sessões de hemofiltração online curta diária**. 2013. (Tese de doutorado). Faculdade de Ciências Médicas, Universidade de São Paulo, 2013.

MELO, P. R. S.; RIOS, E. C. S. D.; GUTIERREZ, R. M. V. **Equipamentos para hemodiálise**. **BNDES Setorial**, n.12, p. 105-134, 2000.

MENDES, A. S. **Vigilância da qualidade da água de hemodiálise: Histórico dos programas e legislações**. 2016. (Trabalho de Conclusão de Curso). Programa de Microbiologia em Saúde Pública, Instituto Adolfo Lutz, 2016.

MION, J. R. D.; ROMÃO, J. R.; JE, E. D.S. História da nefrologia brasileira. Ed. 1996, p.196.

MOLINA, M. Cálculo del Kt como indicador de calidad en el área de adecuación en hemodiálisis. **Nefrología**, v. 30, n. 3, p. 331-336, 2010.

NASCIMENTO M. Avaliação de acesso vascular em hemodiálise: um estudo multicêntrico. **J. Bras. Nefr.** v.21, n.1, p. 22-29 2002.

OLLER, G. et al. Independência funcional em pacientes com doença renal crônica em tratamento hemodialítico. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, v.20, n.6, 2012.

PAVAO, M. S. G. Structure and anticoagulant properties of sulfated glycosaminoglycans from primitive Chordates. **An. Acad. Bras. Ciênc.** v.74, n.1, p.105-112, 2002.

PEGORARO, L.A. **Validação de metodologia analítica aplicada ao controle da qualidade de água para HD para fins de credenciamento junto ao Inmetro: projeto hemo- tec II**. Curitiba: Tecpar; Finep, 2005.

PERÉZ-GARCIA, R. et al. Guía de gestión de calidad del líquido de diálisis (LD) (segunda edición, 2015). **Nefrología**, v. 36, n.3, 2016.

PODESTA, J. M et al. Understanding hemodialysis: The invention, development and success of the artificial kidney. Pittsburgh: **Fresenius Medical Care**, 2014.

REISFORFER, A. S. **Infecção em acesso temporário para hemodiálise: Estudo em pacientes com insuficiência renal crônica**. 2011. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

RIBEIRO, I. C. **Efeitos do reprocessamento de dialisadores sobre parâmetros clínicos, laboratoriais e microbiológicos de pacientes com doença renal crônica em hemodiálise**. 2018. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Federal de Campinas, 2018.

SILVA, O. M. **Dialisador capilar reutilizado e de uso único em hemodiálise: Implicações na saúde dos profissionais, em desfechos clínicos e custos**. 2016. (Tese de doutorado). Escola de Enfermagem da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

SOBOTTA, J. et al. **Sobotta atlas de anatomia humana**. 24. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

SOUSA, F. B. N. et al. Pacientes com insuficiência renal crônica em hemodiálise: tratamento e diagnóstico. **Rev. Investig, Bioméd.** v.10, n. 2, p. 203-213, 2018.

SOUSA, X. A.; RASSI, O. A. K.; ESPÍNDULA, B. M. Evolução histórica da hemodiálise e dos acessos vasculares para a assistência ao doente renal crônico. **Revista Eletrônica de Enfermagem do Centro de Estudos de Enfermagem e Nutrição**. n.4, v.42012b, p. 1-15.

TONIOLO, A. R. **Contaminação microbiana de hemolisadores processados pelo método automatizado e manual após uso máximo de reusos**. 2014. (Dissertação de mestrado). Escola de Enfermagem, Universidade de São Paulo, 2014.

UPADHYAY, A. Reutilização do dialisador. É seguro e vale a pena? **J. Bras. Nefrol.** v.41, n.3, 2019.