

TECNOLOGIAS COM OZÔNIO NA HEMODIÁLISE: INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

TECHNOLOGIES WITH OZONE IN HEMODIALYSIS: INNOVATION AND SUSTAINABILITY

Maria Inês de Oliveira Silva Vaccari ¹

Resumo: Este estudo teve como objetivo verificar os impactos da utilização de tecnologias com ozônio no tratamento de água e desinfecção dos sistemas hidráulicos da hemodiálise, em substituição aos processos químicos convencionais. Por meio da investigação de trabalhos científicos desenvolvidos sobre o tema, realizaram-se análises comparativas entre as tecnologias convencionais e as tecnologias que utilizam ozônio, no sentido de avaliar seus aspectos positivos e fragilidades; e demonstrar a sua contribuição para o exercício da sustentabilidade, nos aspectos econômico, social e ambiental. Os resultados destas análises demonstraram que as tecnologias com ozônio constituem um método seguro e eficaz, que se traduz no aperfeiçoamento da hemodiálise; conferindo ao processo qualidade e sustentabilidade.

Palavras-chave: ozônio; hemodiálise; sustentabilidade.

Abstract: This study aimed to verifying the impacts of technologies with ozone in water treatment and disinfection of hemodialysis water systems, replacing the conventional chemical processes. Through

¹ Maria Inês de Oliveira Silva Vaccari - Odontóloga; com especialização em Administração Pública - Monitoramento e Avaliação; com pós-graduação em Controladoria Governamental; Assessora do Gabinete da Secretaria de Esportes, Lazer e Recreação do Município de São Paulo (SEME) - SP - Brasil



scientific research developed on the subject, the study conducted a comparative analysis between the conventional technologies and technologies using ozone, in order to evaluate positive aspects and fragilities; and demonstrate its contribution to the practice of sustainability in economic, social and environmental aspects. The results of these analyzes demonstrated that the technologies with ozone are a safe and effective method, which results in the improvement of hemodialysis; giving quality and sustainability to the process.

Keywords: ozone; hemodialysis; sustainability

INTRODUÇÃO

A crescente expectativa de vida das pessoas é decorrente do domínio do conhecimento e do avanço tecnológico na área da saúde. Mas nem sempre este ganho em tempo vem acompanhado de qualidade de vida.

A incidência e prevalência da insuficiência renal crônica vêm aumentando progressivamente no Brasil e no mundo. As causas mais comuns são hipertensão arterial e diabetes. Em casos mais graves, quando as funções renais chegam a menos de 10%, a manutenção da vida dos pacientes normalmente depende da diálise, processo empregado para remoção de líquidos e dos produtos de degradação urêmicos do corpo, quando os rins são incapazes de fazê-lo. A diálise funciona como substituta da função renal, eliminando ou retirando o excesso de substâncias tóxicas do sangue. Também é indicada para remover determinados medicamentos ou outras toxinas do sangue, como em casos de envenenamento ou intoxicação por medicamentos.

O método de terapia mais utilizado é a hemodiálise, procedimento que filtra o sangue. Através da hemodiálise são retiradas do sangue substâncias que, quando em excesso, trazem prejuízos ao corpo. Ela pode ser empregada por curto prazo em casos agudos, bem como por longo prazo ou permanentemente, nos pacientes com insuficiência renal em estágio terminal.



Atualmente, aproximadamente 65.000 brasileiros dependem do uso desse tipo de tratamento, que normalmente é realizado três vezes por semana, em sessões que duram em média quatro horas.

O procedimento utiliza elevado volume de água. E qualquer alteração na qualidade da água da diálise pode causar complicações ao paciente, uma vez que contaminantes de baixo peso molecular podem atravessar a membrana dialisadora e alcançar a corrente sanguínea. Sabe-se que muitas das reações desagradáveis que acometem os pacientes durante o procedimento, ou mesmo em longo prazo, são decorrentes da contaminação da água utilizada. Neste sentido, a manutenção constante e adequada do sistema de tratamento de água para diálise é fundamental para garantir o atendimento aos padrões recomendados.

A ozonização constitui uma inovação agregada ao tratamento da água da hemodiálise. É indicada na fase final da purificação, para melhorar e manter a qualidade da água nos tanques de estocagem; e também na higienização dos circuitos hidráulicos, em substituição aos produtos químicos.

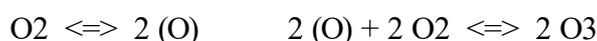
Neste contexto, analisaremos a seguir a utilização das tecnologias com ozônio na hemodiálise, a fim de estudar sua viabilidade, e demonstrar sua possível contribuição para a elevação da qualidade e da sustentabilidade do processo de hemodiálise.

O ozônio é um poderoso oxidante, desinfetante e desodorizante, que age rapidamente e não tem efeito residual. O estudo de suas aplicações é uma tendência a ser seguida, uma vez que a busca por processos eficientes, limpos e sustentáveis é conduta urgente e prioritária em todas as áreas.

OZÔNIO

Definição

O ozônio é uma variação alotrópica do O₂, formado por três átomos de oxigênio a partir da reação:



Essa reação ocorre quando o oxigênio puro ou do ar é exposto a uma luz ultravioleta de alta intensidade, como quando a luz solar penetra na atmosfera terrestre criando a camada de ozônio. O ozônio também pode ser produzido na natureza pela descarga elétrica de um raio.

O ozônio é um gás de cor azulada, de cheiro forte e característico, como o cheiro que se sente no ar após as tempestades com relâmpagos. Apresenta-se no estado líquido em temperaturas inferiores a $-111,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, e no estado sólido em temperaturas inferiores a $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tem alto poder oxidante (2,8 V), e sua vida média, em temperaturas inferiores a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, é de 40 minutos.

Histórico

O ozônio foi descoberto em 1875, pelo filósofo alemão Van Marum, que observou as características eletrostáticas do ar devido ao O_3 .

Em 1840, o químico alemão Christian Frederick Schonbein, da Universidade de Basiléia, na Suíça, foi o primeiro a relatar a existência deste gás, que se formava quando o oxigênio era submetido a uma descarga elétrica. Devido ao seu cheiro característico, este gás recebeu o nome de “Ozônio”, que em grego significa “cheirar”.

Em 1857, Werner Von Siemens desenvolveu o primeiro gerador de ozônio, e a partir da utilização deste equipamento, Kleinman iniciou seus estudos sobre a ação antimicrobiana do ozônio e sua utilização terapêutica.

Em 1891, verificou-se que o ozônio era capaz de destruir micro-organismos presentes na água.

O ozônio é permitido na Europa, como desinfetante de água para o consumo humano desde 1893.

Em 1902 este gás foi utilizado para tratamento de água na Alemanha.

Em 1906, em Nice, na França, realizou-se o primeiro tratamento de vegetais com água ozo-



nizada, em escala industrial.

Em 1909, foi utilizado como conservante de alimentos, na forma gasosa, em câmaras frias de estocagem de carnes.

Durante a 1ª Guerra Mundial os alemães utilizaram ozônio nas feridas dos soldados, por não terem acesso a medicamentos e outros tipos de tratamentos. A partir daí desenvolveu-se a ozonioterapia, ou seja, a aplicação do ozônio em terapias médicas.

Em 1932, Erwin Pair, cirurgião austríaco, professor em Leipzig, introduziu o uso do ozônio na medicina, após ter conhecimento da utilização deste gás por intermédio de seu dentista.

Em 1935, o dentista alemão E.A. Fish apresentou uma publicação sobre o “Tratamento com Ozônio na Cirurgia”, utilizando pela primeira vez a água ozonizada com função desinfetante. Porém a falta de materiais adequados, resistentes ao ozônio, para aplicação da terapia, dificultava a sua utilização.

Na década de cinquenta, com o desenvolvimento de materiais resistentes à oxidação, a utilização desta técnica foi retomada, e em 1954 foi instituído o método da auto-hemoterapia na ozonioterapia médica.

A ozonioterapia difundiu-se pela Alemanha, Suíça, Áustria, Itália e leste europeu, principalmente na Rússia. Cuba, por sua estreita relação tecnológica com a Rússia, também adotou o método, e hoje detém a maior experiência em ozonioterapia aplicada ao sistema público de saúde, com diversos Centros de Ozonioterapia e o maior Centro de Pesquisas de Ozonioterapia a nível mundial. Hoje, países como Canadá, México, Estados Unidos, China, Malásia e Coreia também estão desenvolvendo a ozonioterapia.

Em 1970 os E.U.A. já utilizavam ozônio em mais de trinta por cento de suas Estações de Tratamento de Água.

Em 1977 já existiam mais de mil Estações de Tratamento de Água com ozônio na Europa e na Ásia.

Em 1982 o FDA (Food and Drug Administration) liberou o uso de ozônio no processo de



lavagem de garrafas para comercialização de água.

Em 2001 o FDA reconheceu o ozônio como substância GRAS (Generally Recognized As Safe), e recomendou sua aplicação em alimentos.

Na Europa e Estados Unidos existem milhares de Estações de Tratamento de Água com ozônio.

Ozônio na estratosfera x ozônio na atmosfera

O planeta Terra é cercado por uma frágil camada do gás ozônio (O₃), que protege animais, plantas e seres humanos dos raios ultravioleta (UV) emitidos pelo Sol.

Na estratosfera (entre 25 e 30 km acima da superfície) a camada tem a função de um filtro. Sem ela, os raios UV poderiam aniquilar todas as formas de vida no planeta.

Há evidências científicas de que substâncias fabricadas pelo homem estão destruindo a camada de ozônio. A camada está mais fina em várias partes do mundo, especialmente nas regiões próximas do Polo Sul e, recentemente, do Polo Norte.

Em uma altitude de 15 a 20 Km, a concentração de ozônio é de 10 a 20 PPM.

Na superfície terrestre, o ozônio contribui para criar uma espécie de estufa e agravar a poluição do ar das cidades e a chuva ácida. Nos grandes centros, o aumento da concentração de ozônio troposférico é decorrente de reações químicas entre o oxigênio do ar e os poluentes gerados por veículos automotores que utilizam combustíveis fósseis.

Em condições normais, a concentração de ozônio encontrada na superfície terrestre varia de 0,001 a 0,003 ppm, sendo considerado nocivo ao ser humano em níveis acima de 0,08 ppm.

A exposição máxima permitida em ambientes de trabalho com ozônio é de 0,01 ppm, durante oito horas por dia. Em níveis superiores a este há irritação das mucosas oculares e nasais, bem como da garganta.

O cheiro característico do ozônio já é detectável entre 0,01 e 0,05 ppm.



A utilização do ozônio para desinfecção de ambientes cirúrgicos exige uma concentração entre 0,3 e 0,9 ppm, por isso deve ser aplicada de maneira correta e criteriosa.

Geradores de ozônio

Além da forma natural, o ozônio pode ser gerado por vários métodos:

- Barreira dielétrica ou descarga corona;
- Baterias (método eletroquímico)
- Radiação ultravioleta;
- Outros (partículas beta, lasers, etc.)

O ozônio pode ser gerado a partir do oxigênio do ar ambiente seco ou a partir de oxigênio puro sob pressão, o que aumenta a capacidade de geração do gás.

Na hemodiálise o equipamento mais utilizado é o gerador tipo descarga corona, com capacidade de gerar até 4,5 g/hora de ozônio. O gás deve ser produzido a partir de oxigênio puro, e injetado na água do circuito hidráulico (loop) através de uma válvula tipo “venturi”.

Aplicações das tecnologias com ozônio

O ozônio pode ser utilizado para diversas finalidades, entre elas:

- Tratamento de águas de superfície;
- Piscinas;
- Efluentes domésticos e industriais;
- Tratamento de água de abastecimento;
- Tratamento de poços artesianos;
- Tratamento e reciclagem de água na indústria;
- Indústrias alimentícia e de bebidas;



- Indústria farmacêutica;
- Indústria têxtil;
- Indústria de papel e celulose;
- Agroindústria;
- Piscicultura;
- Aterros sanitários (tratamento de chorume);
- Degradação de agrotóxicos;
- Remoção de cores, odores e sabores;
- Esterilização atmosférica ambiental;
- Torres de resfriamento;
- Lavanderias hospitalares;
- Ozonioterapia médica e odontológica;
- Esterilização de ambientes e instrumentais cirúrgicos;
- Esterilização de linhas de hemodiálise (remoção do biofilme);
- Tratamento de efluentes hospitalares.

Análise comparativa entre ozônio e cloro

O que basicamente diferencia o ozônio de outros agentes desinfetantes é seu mecanismo de destruição dos microrganismos. O cloro, especificamente, atua por difusão através da parede celular, agindo sobre os elementos vitais localizados no interior da célula, como enzimas, proteínas, DNA e RNA. O ozônio, por apresentar uma capacidade de oxidação superior, age diretamente na parede da célula, causando sua ruptura e morte em menor tempo de contato, inviabilizando a recuperação dos microrganismos após o ataque. O ozônio pode substituir com vantagens os métodos químicos convencionais de tratamento de água, onde normalmente se utiliza o cloro.



E solução aquosa:

- O ozônio é vinte vezes mais efetivo que o cloro;
- O ozônio é aproximadamente três mil vezes mais rápido que o cloro;
- O ozônio é cem vezes mais solúvel que o cloro;
- O ozônio tem um espectro bactericida mais amplo que o cloro;
- O ozônio é efetivo contra vírus, o mesmo não acontecendo com cloro;
- O ozônio não tem efeito residual, ao passo que o cloro deixa resíduos que formam compostos tóxicos e cancerígenos;
- Enquanto o cloro leva tempo para se difundir através da parede da célula e se combinar com as enzimas do microrganismo para interromper seu ciclo reprodutivo, o ozônio literalmente explode a parede celular, oxidando o plasma, até que só haja dióxido de carbono e água remanescentes.

OZÔNIO NA HEMODIÁLISE

Conceitos de Hemodiálise

A hemodiálise é uma terapia de substituição renal realizada em pacientes portadores de insuficiência renal crônica ou aguda, quando o organismo não consegue eliminar tais substâncias devido à falência dos mecanismos excretores renais. É usada para pacientes que estão agudamente doentes e que necessitam de diálise por curto prazo de tempo, bem como para pacientes que necessitam de diálise por um longo prazo ou permanentemente. Pode prolongar a vida indefinidamente, porém não controla completamente a uremia nem interrompe a evolução natural da doença renal subjacente.

O sangue é obtido por um acesso vascular, que normalmente é uma fístula arteriovenosa,



resultante da união cirúrgica de uma veia a uma artéria. É impulsionado por uma bomba até o filtro de diálise, também conhecido como dialisador. No dialisador, o sangue é exposto à solução de diálise (dialisato) através de uma membrana semipermeável, permitindo assim, as trocas de substâncias entre o sangue e o dialisato. Este apresenta uma composição química ideal para atrair as substâncias tóxicas do sangue. Normalmente é constituído de uma solução contendo sódio, potássio, bicarbonato, cálcio, cloro, acetato, glicose, magnésio, pCO₂ (pressão parcial de gás carbônico) que, em contato com o sangue, mantém a concentração sérica desses elementos dentro de seus valores normais. Deve ser diluído com água tratada seguindo os padrões de condutividade e temperatura programados na máquina, os quais devem ser aferidos pelos técnicos antes de conectar o paciente.

Após ser retirado e filtrado pelo dialisador, o sangue é então devolvido ao paciente pelo acesso vascular.

A frequência das sessões pode variar de acordo com as necessidades do paciente, mas em média são realizadas sessões três vezes por semana, durante 4 horas, e a quantidade de sangue removida é de 3 a 6 litros.

A primeira máquina de hemodiálise para humanos foi criada pelo médico holandês, naturalizado norte-americano, Willem Johan Kolff, em 1943. Em 1945 o primeiro paciente sobreviveu à terapia de hemodiálise.

No Brasil, a primeira sessão de hemodiálise foi realizada em 19 de maio de 1949.

Até a década de setenta, acreditava-se que a água potável era suficientemente adequada para a hemodiálise. Com o aumento do número de pacientes em tratamento dialítico, e de sua sobrevivência, foi possível correlacionar os efeitos adversos do tratamento com a presença de contaminantes na água utilizada.

Qualidade da água utilizada na hemodiálise

A água potável é matéria prima essencial para a o sistema hidráulico da hemodiálise.



A água potável servida no Brasil pela rede pública obedece à Portaria do Ministério da Saúde MS nº. 2.914, de 12 de dezembro de 2011, a qual estabelece a Norma de Qualidade da Água Para Consumo Humano e dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água, bem como seu padrão de potabilidade (Brasil, 2011).

A tragédia de Caruaru, em fevereiro de 1996, no estado de Pernambuco, é um triste exemplo da contaminação da água utilizada na hemodiálise. Devido à sua escassez na região, a água utilizada foi captada de reservatórios contaminados por cianobactérias; e transportada em caminhões pipa, onde sofreu adição de cloro. O cloro provocou a morte das cianobactérias, e conseqüente liberação de grande quantidade de endotoxinas. Ao contrário do ozônio, o cloro não tem a capacidade de desintegrar estas endotoxinas, e a utilização desta água contaminada, no sistema de tratamento e distribuição de água tratada do processo de hemodiálise colocou as endotoxinas em contato com os pacientes, o que causou o incidente.

A exposição intravenosa às microcistinas, hepatotoxinas produzidas pela espécie *Microcystes Anabaena*, causou toxemia na maioria dos cento e trinta e um pacientes em tratamento de hemodiálise no Instituto de Doenças Renais. Posteriormente cerca de cinquenta por cento desses pacientes evoluíram, com coagulopatia, acometimento do sistema nervoso central e insuficiência hepática seguida por óbito.

O aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água é resultado do desequilíbrio do ecossistema causado pelas diversas intervenções do ser humano. A intoxicação ocorre tanto pela ingestão de água e de pescado, ou por qualquer tipo de contato, como a utilização da água no processo de hemodiálise; e afeta a saúde humana, podendo causar a morte num intervalo de poucas horas ou poucos dias (Carmichael, 1994).

Em função do seu potencial risco à saúde humana, os tratamentos aplicados na água para abastecimento público devem ser capazes de remover as cianotoxinas de forma eficiente, sem gerar subprodutos indesejáveis; ou seja, substâncias tão nocivas quanto às próprias toxinas (Brasil,2003).

Deste modo, a qualidade físico-química e microbiológica da água (purificada ou potável)



deve ser constantemente avaliada, e os processos que permitem a eliminação de micro-organismos patogênicos e deteriorantes da água adquirem, cada vez mais, importância sanitária, econômica e social (Padrón et al., 1986; Germano; Germano, 2000).

O ozônio representa o mais potente agente oxidante para remoção de microcistinas da água, onde doses relativamente baixas podem resultar na remoção total dessas toxinas (Hall et al., 2000).

O ozônio também parece não contribuir para que a oxidação da molécula gere subprodutos de reação tão tóxicos quanto as próprias microcistinas (Brooke et al., 2006).

O processo de hemodiálise utiliza grande volume de água, que deve ser tratada e ter sua qualidade monitorada regularmente. A presença de compostos orgânicos (bactérias) e inorgânicos (Al, Flúor Cloramina, etc.) pode causar sintomas e alterações importantes, que vão desde reações febris até a morte.

A legislação brasileira não indica uma configuração ideal para o sistema de tratamento da água para hemodiálise, porém, indica um padrão de qualidade mínima da água baseado em uma tabela que especifica o número máximo de seus componentes. A validação do sistema é obtida através de resultados de análise laboratoriais indicados na Resolução RDC nº 154/2004.

A RDC 33/2008 especifica os requisitos para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação do Sistema de Tratamento e Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise (ST-DATH), no sentido de atender ao item 8 da RDC 154/2004 (versão 2006), que trata da qualidade da água a ser utilizada na hemodiálise. Estas legislações se aplicam a todos os serviços de hemodiálise, públicos ou privados, que fornecem tratamento aos pacientes com insuficiência renal crônica.

Para ser utilizada na hemodiálise, a água tratada pela rede pública precisa passar por um outro processo de purificação no local. Existem basicamente dois tipos de purificação para a água utilizada em hemodiálise: a deionização e a osmose reversa, sendo este método muito mais eficaz que o primeiro.

A deionização consiste em retirar todos os minerais da água, visando deixá-la com a qualidade necessária. Atualmente a deionização com presença de regeneração química está em desuso,



pois além de utilizar fortes produtos químicos, apresenta frequentes problemas no controle bacteriológico (proliferação bacteriana no filtro de carvão ativado), o que compromete a qualidade do sistema.

Antes de definir osmose reversa, vale lembrar que a osmose ocorre quando duas soluções de diferentes concentrações são separadas apenas por uma membrana semipermeável. Por difusão elas se separam até igualar o gradiente de concentração. A essa diferença de volume dá-se o nome de Pressão Osmótica. A osmose reversa consiste em inserir no sistema de osmose uma pressão superior à pressão osmótica, e com isso inverter a condição da osmose. Em uma linguagem simples, é um sistema de filtros de altíssima qualidade. Pode ser realizada em uma ou duas etapas, quando é denominada osmose reversa de duplo passo. Esta é bem mais eficaz que a primeira, porém é facultativa e ainda pouco utilizada nas clínicas brasileiras devido ao alto custo.

Um sistema típico de osmose reversa conta obrigatoriamente com um pré-tratamento, composto de bombas de pressão, filtro de areia, abrandador, filtro de carvão ativado e filtro microporoso; e com o tratamento propriamente dito, composto de membranas, controles e reservatório de água tratada.

Ramirez, em seu artigo “Água para hemodiálise no estado do Rio de Janeiro: uma avaliação dos dados gerados pelo programa de monitoramento da qualidade nos anos de 2006-2007”, avaliou as oitenta e duas unidades de diálise em funcionamento na época no estado do Rio de Janeiro. As duas únicas unidades de diálise com deionização, em 2006, tiveram resultados insatisfatórios; e em 2007, quando todas as unidades do estado do Rio de Janeiro já possuíam sistema de tratamento da água por osmose reversa, a metade delas apresentou resultados insatisfatórios nas análises realizadas pelo INCQS, sendo que as unidades que terceirizavam a manutenção do sistema de tratamento de água apresentaram resultados insatisfatórios pronunciadamente maiores do que as unidades que mantinham manutenção própria.

Em estudo realizado no Estado do Rio Grande do Sul, por Santos et al, observou-se que em cem por cento das cinco unidades de hemodiálise que usavam deionizadora para tratamento de água, a presença de endotoxinas superava o limite máximo tolerável de 5,0 EU/ml, ao passo que, em cem



por cento das unidades de hemodiálise que dispunham de osmose reversa, os níveis de endotoxinas foram inferiores a 5,0 EU/ml, sendo considerados negativos. Com isso concluiu que a detecção de endotoxina é ferramenta indispensável para uma Unidade de Hemodiálise avaliar, de fato, a qualidade de seu trabalho; e que com o conhecimento que se dispõe hoje das múltiplas complicações determinadas por endotoxinas (iatrogenias perfeitamente evitáveis), a sua manutenção em níveis adequados, abaixo de 5,0 EU/ml, é indispensável para o bem-estar e saúde do paciente em diálise, tanto em curto como longo prazo.

As endotoxinas presentes no dialisato contaminado são capazes de determinar resposta inflamatória aguda e crônica do sistema imune, causando reações inflamatórias. As reações inflamatórias agudas podem determinar febre, náuseas, mialgia, pirogenia e bacteremia. As reações inflamatórias crônicas podem determinar amiloidose e doenças cardiovasculares, entre outras enfermidades.

Considerando-se cerca de 120 litros de água por sessão, aproximadamente 1440 litros de água por mês entram em contato indireto com o sangue do paciente por filtração extracorpórea, portanto a qualidade da água empregada é um dos fatores determinantes na segurança e eficácia do processo dialítico. Diante desta realidade, cumprir o padrão mínimo exigido por lei não é mais suficiente.

Tecnologias com ozônio na hemodiálise

O tratamento por osmose reversa, por si só, não é capaz de garantir a qualidade da água, sendo necessária a aplicação de novas estratégias para o adequado controle e manutenção do sistema de água tratada da hemodiálise.

O pós-tratamento tem a finalidade de garantir a excelência do tratamento da água purificada por osmose reversa. Nesta fase se aplicam as tecnologias com ozônio, juntamente com a utilização de ultravioleta. A ozonização pode ser utilizada para tratar a água do reservatório, bem como para fazer a higienização do circuito hidráulico (loop).

A legislação brasileira ainda não contempla a utilização de tecnologias com ozônio para o



tratamento de água da hemodiálise; mas grande parte das clínicas já inclui a ozonização em sua prática diária, com base nas legislações internacionais, entre elas a RD 62/2006, da AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation). Esta antecipação à legislação se baseia principalmente nas evidências clínicas, que apontam uma expressiva redução das reações adversas ligadas ao tratamento, em especial as reações pirogênicas, quando da utilização do ozônio.

Devido às suas vantagens qualitativas, operacionais e econômicas, as tecnologias com ozônio começam a ocupar um lugar importante no lay-out dos esquemas tradicionais de tratamento e distribuição de água tratada para hemodiálise.

Alguns projetos, principalmente em clínicas norte-americanas, vêm ampliando a utilização do ozônio na fase de tratamento da água e reduzindo o tamanho das osmose reversas, a fim de obter economia no consumo de água e energia. Esta tendência de maior utilização ficou evidente principalmente após o reconhecimento do ozônio como substância GRAS (Generally Recognized As Safe) pelo FDA, em 2001.

A utilização de ozônio para desinfecção das membranas da diálise não é recomendada, pela fragilidade do material, mas estudos demonstram a eficiência da utilização de ozônio na desinfecção das máquinas de hemodiálise.

Santos et al (2006), comprovaram que o ozônio é capaz de reduzir de modo significativo o número de bactérias heterotróficas em máquinas de hemodiálise em comparação com ácido peracético. A mediana de contaminação observada caiu de 17 UFC/ml, após desinfecção com ácido peracético, para 10UFC/ml após desinfecção com ozônio. Além de ser eficiente, o ozônio não gera resíduos tóxicos para serem descartados no meio ambiente; e representa um custo inferior comparado ao ácido peracético e outros produtos recomendados pelo Ministério da Saúde. Neste caso específico, uma grande vantagem foi a redução do tempo de desinfecção, que no processo convencional levou de 30 a 60 minutos para ser concluída, e com a utilização de ozônio foi realizada neste estudo, de modo eficiente, em apenas 30 minutos.

A eleição da ozonização para desinfecção do ambiente hospitalar, assim como para o trata-



mento do efluente da hemodiálise, antes do descarte na rede de esgotos, ainda não são práticas comuns nas clínicas de hemodiálise brasileiras; mas constituem opções inteligentes e seguras, de grande importância para a preservação da saúde e do meio ambiente.

Ozonização da água tratada do tanque de estocagem

Em uma concentração de 0,5 ppm, a ozonização pode ser utilizada para melhorar e manter a pureza da água do reservatório, após tratamento por osmose reversa; no sentido de controlar a proliferação bacteriana, e garantir um padrão de qualidade excelente. Esta água deverá sofrer a ação de uma luz ultravioleta antes de retornar para o loop, a fim de destruir o residual de ozônio, para que este não entre em contato com o paciente. O processo é automatizado, e pode ser aplicado periodicamente, ou continuamente, quando é denominado “ozônio on line”.

Ação do ozônio sobre o biofilme dos circuitos hidráulicos

Biofilmes são comunidades estruturadas de bactérias, que se encontram embebidas em matrizes poliméricas produzidas por elas próprias. Os biofilmes podem se desenvolver em qualquer superfície úmida, seja ela biótica ou abiótica. A associação dos organismos em biofilmes constitui uma forma de proteção ao seu desenvolvimento, favorecendo relações simbióticas e permitindo a sobrevivência em ambientes hostis.

De acordo com Macedo (2007), algumas contaminações microbiológicas da água estão associadas à presença de biofilmes aderidos nas superfícies das tubulações, filtros, conexões e tanques de estocagem. No biofilme, os micro-organismos estão mais resistentes à ação de agentes químicos e físicos, como aqueles usados em procedimentos de higienização (Parizzi, 1998).

Os biofilmes dificilmente são removidos pelos produtos químicos desinfetantes convencionais, que só conseguem penetrar em suas camadas superficiais.



O ozônio, por suas propriedades de oxirredução, em concentração adequada, destrói por completo o biofilme e também suas bactérias, como demonstram os estudos realizados em segmentos removíveis de circuitos hidráulicos de Unidades de Hemodiálise, inclusive com documentação da efetiva destruição do biofilme por meio de microscopia eletrônica.

O ozônio tem importante atuação na desinfecção dos circuitos hidráulicos. A uma concentração mínima de 0,5 ppm, é injetado na linha de circulação de água tratada por um período de 20 minutos, seguido de recirculação por 40 minutos sem enxágue. Esta desinfecção pode ser realizada diariamente, evitando a formação de biofilme, o que reduz expressivamente a contaminação da água por endotoxinas. Em linhas já contaminadas por biofilme, com presença de endotoxinas e bactérias fora dos padrões, é possível se fazer um tratamento de choque, aumentando-se a concentração e o tempo de exposição, antes de proceder à manutenção diária habitual.

Aspectos sustentáveis da ozonização

Aspecto econômico

Os circuitos hidráulicos podem ser higienizados pelo método convencional, com produtos químicos, como ácido peracético 0,1% a 0,2%, ou hipoclorito de sódio 1%, por 8 a 12 horas, seguido de enxágue por 3 a 4 horas; e posterior descarte da água utilizada no enxágue. Devido ao tempo prolongado, a higienização convencional é realizada mensalmente.

A higienização com ozônio demora em média de 20 a 30 minutos, seguida de 40 minutos de recirculação sem enxague, o que permite a sua realização diária.

Apesar do investimento inicial referente à aquisição do equipamento gerador de ozônio, a incorporação desta tecnologia ao tratamento de água do sistema de hemodiálise, em substituição aos tratamentos químicos convencionais, promove uma acentuada redução de custos pelos seguintes motivos:

- reduz os custos com o consumo de água, pois elimina o prolongado enxágue após a higie-



nização do circuito hidráulico;

- elimina os gastos com produtos químicos;

- reduz custos com mão de obra, pois a higienização do sistema pelo método químico normalmente necessita ser realizada aos domingos, ou durante a madrugada, e com a utilização de ozônio pode ser realizada todos os dias, de forma rápida e automatizada, após o encerramento dos serviços;

- promove a utilização do sistema com eficiência e eficácia, ampliando a disponibilidade de uso do sistema, e elevando os lucros com o serviço;

- evita a interdição prolongada da clínica em caso de manutenção emergencial, reduzindo o tempo necessário para reabertura do serviço de 16 horas para pouco mais de uma hora;

- em caso de manutenção emergencial, também evita a remarcação de sessões, e consequentemente os prejuízos causados com transporte e acomodação dos pacientes;

- por manter a boa qualidade da água, evita os gastos com tratamentos relacionados aos sintomas causados nos pacientes pela contaminação da água da hemodiálise por endotoxinas.

O custo diário de manutenção do sistema é de aproximadamente R\$ 1,00 (um real), o que é permite compensar o investimento inicial em menos de dois anos.

Aspecto social

Conforme a colocação de Lima, Mendonça Filho e Diniz (1994, p.86), “a especificidade da IRC é que seu diagnóstico não marca uma expectativa de cura, a devolução do estado de saúde, mas uma passagem irreversível para o mundo dos doentes”.

A hemodiálise é uma batalha de vida e morte contra a insuficiência renal crônica, e tudo que puder proporcionar um pouco mais de qualidade de vida para os pacientes é de grande valia.

Quando da utilização das tecnologias com ozônio na hemodiálise, a facilidade de manutenção e higienização do sistema evita a interdição prolongada das clínicas e o transtorno que este fato



pode causar aos seus usuários.

O tratamento da água do reservatório com ozônio reduz o crescimento bacteriológico, e a higienização diária da linha com ozônio promove um excelente controle sobre a formação de biofilme nas tubulações, evitando a contaminação da água por endotoxinas.

Com a melhoria da qualidade da água, as reações pirogênicas durante as sessões tornam-se raras, e mesmo assim restritas aos pacientes que fazem uso de cateter, ou seja, as reações normalmente ocorrem pela contaminação do cateter e não da água.

A elevação do nível de qualidade de vida do paciente é visível e indiscutível, e esta é, sem dúvida, a mais importante e inestimável contribuição que as tecnologias com ozônio podem conferir ao processo de hemodiálise.

Aspecto ambiental

A maior contribuição ambiental da tecnologia com ozônio na hemodiálise é a preservação dos recursos hídricos. Cada higienização de um sistema de hemodiálise com reservatório de 2.000 litros, pelo sistema químico convencional, desperdiça em média de 8.000 a 12.000 litros de água em um único enxágue, a fim de remover os resíduos químicos. A higienização com ozônio, por não deixar residual, não requer enxágue, promovendo grande economia de água.

A utilização de ozônio, em substituição aos produtos químicos convencionais, reduz a possibilidade de acidentes e a contaminação do meio ambiente.

O consumo de energia dos equipamentos geradores de ozônio é muito baixo.

O tratamento do efluente do sistema de hemodiálise com ozônio também é uma importante contribuição desta tecnologia para a proteção ambiental, e deve constituir uma tendência a ser seguida.



Fragilidades

O ozônio é um gás instável, que não pode ser armazenado, devendo ser gerado no local (Bocci, 2005, 2011). Porém o fato de não armazenar este gás, que em grandes concentrações pode oferecer riscos à saúde, pode ser considerado um fator de segurança.

O correto dimensionamento do sistema de ozonização e a utilização de materiais resistentes ao ozônio são fundamentais para o sucesso do projeto.

É necessário um investimento inicial relativamente alto para aquisição do sistema (gerador de ozônio, ultravioleta e automação), mas a redução do custo e do tempo gasto na manutenção, somados à economia no consumo de água e de produtos químicos, compensa o investimento em pouco mais de um ano.

CONCLUSÃO

Um grande número de estudos científicos comprovam a eficiência do gás ozônio na destruição de bactérias, vírus, fungos, e endotoxinas, bem como na remoção de biofilmes.

A observação clínica de milhares de pacientes durante décadas permitiu associar os efeitos adversos da hemodiálise à contaminação da água utilizada no processo, portanto a manutenção e controle da qualidade desta água são de fundamental importância.

O processo de desinfecção da água e das linhas da hemodiálise com ozônio é economicamente interessante, uma vez que reduz o tempo e os gastos com manutenção, ampliando o tempo para atendimento. A redução das reações adversas dos pacientes, decorrentes da contaminação da água, também se traduz em economia no sistema de saúde.

A eliminação do uso de produtos químicos, dispensando o enxágue, e evitando o desperdício de grande volume de água no processo de desinfecção dos circuitos; além da possibilidade de tratamento dos efluentes hospitalares, faz da utilização das tecnologias com ozônio uma prática de gestão



ambiental.

Os estudos comparativos demonstram a superioridade do ozônio em relação aos métodos químicos tradicionais de tratamento da água e desinfecção do loop da hemodiálise, garantindo a excelência da qualidade da água. A água de excelente qualidade confere alto padrão e segurança ao serviço de hemodiálise, e promove a redução dos efeitos adversos do procedimento, que poderiam causar danos ao paciente em curto e longo prazo.

O investimento inicial em equipamentos e treinamentos, necessários à implantação do sistema, são facilmente compensados pelas vantagens apresentadas, principalmente em relação à melhoria da qualidade de vida do paciente com insuficiência renal crônica.

E diante da viabilidade econômica, ambiental e social, podemos concluir que a utilização de tecnologias com ozônio na hemodiálise, em substituição aos processos químicos convencionais, é uma alternativa segura e eficaz; que confere qualidade e sustentabilidade ao processo de hemodiálise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC 154, de 15 de junho de 2004 (Republicada em 31/05/2006). Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos Serviços de Diálise. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showact.php?id=22875&word>. Acesso em 12/02/2013.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC 33, de 3 de junho de 2008.

Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação dos Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise no Sistema Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/14b72f-00474597449fbcdf3fbc4c6735/rdc+n%c2%ba+33-2008.pdf?mod=ajperes>. Acesso em 12/02/2013.

Association for the Advancement of Medical Instrumentation – AAMI. ANSI/AAMI RD62-2006 (Revision of ANSI/AAMI RD62-2001). Water treatment equipment for hemodialysis application. . Ar-



ligton, Va, 2006.

BIERNAT, J.C. et al. Amiloidose por hemodiálise: o que pode mudar com ozônio e água ultra-pura? Medicina Avançada, 23 de fevereiro de 2006. Disponível em: <<http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias.php?noticiaid=18684&assunto=Rim/Rins/Nefrologia>>. Acesso em: 15.03.2013.

BIERNAT, J.C.; SANTOS, F.; SANTOS, A.G.; RAUBACH, A.A.; SOUZA, M.L.; DEMIN, M.S.; AGUIRRE, A.. Detecção de Endotoxina pelo Teste do Limulus Amoebocyte Lysate (LAL) em Unidades de Hemodiálise. Medonline. Ed. 8, vol 1, (2) abril 1998. Disponível em <www.medonline.com.br/med_ed/med8/endotox.htm>. Acesso: em: 5 de março de 2013.

BOCCI, V. Ozone. A New Medical Drug. New York: Springer, 2005, 2011, 17p

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS nº. 2194 de 12 de dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Fundação Nacional de Saúde. Cianobactérias na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano. Brasília, 2003. 90 p

BROOKE, S.; NEWCOMBE, G.; NICHOLSON, B. et al. Decrease in toxicity of microcystins LA and LR in drinking water by ozonation. Toxicon, v.48, p.1054-1059, 2006.

CARMICHAEL, W. W.. Toxins of cyanobacteria. Scientific American, v. 270, p. 78-86, 1994.

CARVALHO, P. L.N. et al. Água purificada para laboratório: qualidade microbiológica, formação de biofilme e uso do ozônio como sanificante alternativo. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 10, n. 2, p. 260-269, ago./dez. 2012.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. A vigilância sanitária de alimentos como fator de promoção da saúde. O Mundo da Saúde, São Paulo, v.24, p.59- 66, jan./fev. 2000.

HALL, T.; HART, J.; CROLL, B. et al. Laboratory-Scale Investigations of Algal Toxin Removal by Water Treatment. Water and Environment Journal. v. 14, p. 143-149. 2007.



JENSEN, E. Ozone: The Alternative for Clean Dialysis Water. *Dialysis&Transplantation* 27 (11):706-710, Nov1998.

LIMA, A. M. C.; MENDONÇA FILHO, J. B. e DINIZ, J. S. S. (1994) Insuficiência Renal Crônica – A trajetória de uma prática. In. Romano, B.W. (org.) *A prática da Psicologia nos Hospitais*. (p. 77 – 91) São Paulo, Pioneira.

MACEDO, J. A. B.. *Águas e águas*. 3 ed. revisada e atualizada. Belo Horizonte: CRQ/MG, 2007. 1043p.

MACHADO, A. F.. *Ozonização no tratamento da água para remoção de microcistina-LR e validação do método de análise por LC-MS/MS*. Porto Alegre. 2008. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

PADRÓN, G. et al. Utilización del ozono como agente desinfectante de aguas contaminadas con *Salmonellas*. *Revistan Cubana de Higiene y Epidemiology*, v. 24,n. 4, p. 435-438, oct./dic. 1986.

PARIZZI, S.Q.F. Adesão bacteriana em superfície de serviço de alimentação hospitalar avaliada pela microscopia de epifluorescência. 1998. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

SANTOS, F.; BIERNAT,J.C.; GIANCRISTOFORO,A.M. et al. Desinfecção de Máquinas de Hemodiálise com Ozônio. *Jornal Brasileiro de Nefrologia*. Volume XXIX - nº 1 - Março de 2007.

RAMIREZ, S.. *Água para hemodiálise no Estado do Rio de Janeiro: uma avaliação dos dados gerados pelo programa de monitoramento da qualidade nos anos de 2006-2007*. Disponível em: <phl.incqs.fiocruz.br/control/tc/sr.pdf>. Acesso em:<23/03/2013>

