



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE OSMOSE INVERSA DE UMA EMPRESA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

Autor: João Gabriel Garcia Chiodo

Orientadora: Isabel Cristina Tessaro

Porto Alegre, fevereiro de 2024

Autor: João Gabriel Garcia Chiodo

ESTUDO DE CASO DO SISTEMA DE OSMOSE INVERSA DE UMA EMPRESA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química*

Orientadora: Isabel Cristina Tessaro

Banca Examinadora:

Professor, Nilson Romeu Marcílio, UFRGS

Professora, Thaís Martins Neves, UFRGS

Porto Alegre

2024

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, que me deram apoio nos momentos difíceis e contribuíram de forma significativa para eu chegar neste momento.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso. Principalmente à professora Isabel, que me orientou durante a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Aos meus colegas de curso, com os quais convivi durante esse período de graduação, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram amadurecer e passar por momentos complicados, como a pandemia.

A todos da empresa TDK Eletronics do Brasil, pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho. Mas, especialmente, aos colegas dos setores “banhos” e “ETA”, que contribuíram diretamente para a realização do trabalho, além do meu crescimento como profissional e pessoal durante o período de estágio. Sobretudo ao Airton, um dos responsáveis pelo tratamento da água e que me ajudou a esclarecer as dúvidas para a realização do trabalho, sempre com prontidão e bom humor.

RESUMO

O foco desse estudo foi aprofundar a compreensão do sistema de tratamento de água por osmose inversa, com ênfase na produção de água deionizada para atender as necessidades de uma empresa de componentes eletrônicos. Os objetivos incluíram a análise detalhada do processo de pós-tratamento com resinas de troca iônica, bem como a investigação dos parâmetros críticos do pré-tratamento, como pH, teor de cloro livre e turbidez. A metodologia empregada abrangeu a descrição minuciosa das etapas anteriores e posteriores ao uso das membranas de osmose inversa, assim como a descrição do sistema de membranas e a limpeza dos equipamentos. Os resultados obtidos revelaram áreas passíveis de aprimoramento, identificou-se a necessidade de automação no controle do cloro livre, visando não apenas a conformidade com padrões, mas também a redução da intervenção manual, além disso a análise da eficiência do filtro cartucho sugeriu a possibilidade de ajustes na frequência de substituição, enquanto a verificação regular do pré-tratamento com o índice de densidade de sedimentos (SDI) surgiu como uma medida proativa para detectar problemas potenciais na qualidade da água. Outras propostas de aprimoramento incluíram a avaliação da viabilidade de direcionar parte do concentrado da osmose inversa para a estação de tratamento de água, minimizando efluentes e aproveitando sais minerais. A reflexão sobre a mudança do parâmetro de avaliação para a limpeza de leitos, de cor para turbidez, sugere uma abordagem mais precisa e eficaz. A atualização das normas e o investimento contínuo na especialização dos técnicos demonstram um compromisso organizacional com práticas atualizadas e operações eficientes e seguras. A proposta de regenerar o leito de carvão ativado, prolongando sua vida útil e reduzindo o passivo ambiental, está diretamente vinculada às ações de sustentabilidade da empresa. Em conclusão, este estudo proporcionou uma imersão profunda no funcionamento do sistema de osmose inversa, identificando oportunidades significativas de aprimoramento. A busca por práticas sustentáveis, a automação de processos e a adaptação constante a inovações tecnológicas emergem como pilares fundamentais para assegurar não apenas a eficiência operacional, mas também a qualidade consistente do processo de tratamento de água. Este aprendizado não apenas contribui para o aperfeiçoamento específico do sistema em questão, mas também para a compreensão mais ampla das interconexões entre decisões operacionais, sustentabilidade e impacto ambiental no contexto do tratamento de água.

Palavras-chave: *osmose inversa, água deionizada, tratamento de água, aprimoramento do processo*

ABSTRACT

The focus of this study was to deepen the understanding of the reverse osmosis water treatment system, with an emphasis on producing deionized water to meet the needs of an electronic components company. Objectives included a detailed analysis of the post-treatment process with ion exchange resins, as well as investigating critical parameters in pre-treatment, such as pH, free chlorine content, and turbidity. The employed methodology encompassed a meticulous description of steps before and after using reverse osmosis membranes, along with membrane system descriptions and equipment cleaning. Results revealed areas for improvement; the need for automation in free chlorine control was identified not only for standards compliance but also to reduce manual intervention. Additionally, the analysis of cartridge filter efficiency suggested possible adjustments to replacement frequency, while regular pre-treatment verification with silt density index (SDI) emerged as a proactive measure to detect potential water quality issues. Other improvement proposals included evaluating the feasibility of directing part of the reverse osmosis concentrate to the water treatment station to minimize effluents and utilize minerals. Reflecting on the shift in the assessment parameter from color to turbidity suggests a more precise and effective approach. Standards updating and continuous investment in technician specialization demonstrate organizational commitment to updated practices and efficient, secure operations. Similarly, the proposal to regenerate the activated carbon bed, extending its lifespan, is directly linked to the company's sustainability initiatives. In conclusion, this study provided a deep immersion into the reverse osmosis system's functionality, identifying significant improvement opportunities. The pursuit of sustainable practices, process automation, and constant adaptation to technological innovations emerge as fundamental pillars to ensure not only operational efficiency but also consistent water treatment process quality. This learning contributes not only to the specific enhancement of the system in question but also to a broader understanding of the interconnections between operational decisions, sustainability, and environmental impact in the context of water treatment.

Keywords: *reverse osmosis, deionized water, water treatment, process enhancement*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento de água da empresa TDK Electronics para a utilização nos processos industriais.	3
Figura 2: Imagem do tanque decantador da estação de tratamento de água da empresa TDK Electronics do Brasil Ltda.....	4
Figura 3: Imagem ilustrativa que representa o módulo de membranas de OI utilizado pela empresa TDK do Brasil e a passagem do fluxo de água por estas. As dimensões estão em polegadas (mm). F – Alimentação, B – Concentrado.	10
Figura 4: Desenho esquemático da associação dos módulos do sistema de osmose inversa 2 da empresa TDK Eletronics do Brasil.....	12
Figura 5: Desenho esquemático da associação dos módulos do sistema de osmose inversa 3 da empresa TDK Eletronics do Brasil.....	13
Figura 6: Painel de controle do sistema de osmose inversa 3 da empresa TDK Eletronics do Brasil.	14
Figura 7: Kit utilizado pela empresa TDK Electronics do Brasil para o controle da concentração de cloro livre no pré-tratamento de água.....	24
Figura 8: Fluxograma esquemático de um equipamento de teste de SDI utilizado para avaliar o pré-tratamento de água.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Limites dos parâmetros controlados da água potável na ETA da TDK Electronics do Brasil.....	5
Tabela 2 Limites dos parâmetros controlados da água a ser enviada para o sistema de osmose inversa da TDK Electronics do Brasil.	6
Tabela 3 Recomendações do fabricante das membranas de osmose inversa (TM720D-400) utilizadas pela empresa TDK Electronics do Brasil.....	11

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OI – Osmose Inversa

PP – Polipropileno

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

SDI – Índice de Densidade de Sedimentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	TDK ELETRONICS	1
3	PROCESSO DE OSMOSE INVERSA	3
3.1	ETA	4
3.2	Pré-Tratamento para o Sistema de OI	6
3.2.1	Leito de Zeólitas	7
3.2.2	Leito de Carvão Ativado	8
3.2.3	Filtro de Cartucho	8
3.2.4	Microfiltração	9
3.3	Osmose Inversa	9
3.3.1	Sistema de Osmose Inversa 2	12
3.3.2	Sistema de Osmose Inversa 3	12
3.4	<i>Pós-Tratamento</i>	15
3.4.1	Leito Misto com Resinas de Troca Iônica	15
4	PARADAS DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR OI	16
4.1	Parada Manual Parcial	16
4.2	Parada Manual Total	16
4.3	Parada Automática	16
5	LIMPEZA DO SISTEMA DE OI	17
5.1	Osmose Inversa	17
5.2	Retrolavagem dos Filtros de Zeólitas e Carvão Ativado	18
5.2.1	Leito de Zeólitas	18
5.2.2	Leito de Carvão	19
5.3	Filtros de Cartucho	19
6	SOLUÇÕES DE LIMPEZA DOS SISTEMAS DE OI	19
6.1	Limpeza Alcalina	20
6.1.1	Etapa 1	20
6.1.2	Etapa 2	20
6.2	Limpeza Ácida	21
6.2.1	Etapa 3	21
6.2.2	Etapa 4	21
7	PREPARO DAS SOLUÇÕES DE LIMPEZA DO LEITO MISTO (1 E 2)	21
7.1	Preparo da Solução Ácida	22
7.1.1	Solução de Ácido Clorídrico	22
7.2	Preparação da Solução Básica	22
8	REGENERAÇÃO DO LEITO MISTO	22

9	NEUTRALIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DA REGENERAÇÃO E LIMPEZA	23
10	ANÁLISE E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE OI	23
10.1	pH	23
10.2	Teor de Cloro Livre	24
10.3	Turbidez	24
11	CALIBRAÇÃO DOS MEDIDORES DO SISTEMA DE OI	25
11.1	Medidores Operacionais	25
11.2	Medidores Químicos	25
12	ASPECTOS PASSÍVEIS DE APRIMORAMENTOS	26
13	POTENCIAIS APRIMORAMENTOS	30
14	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	31
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de água é importante, pois muitos processos industriais dependem de água para resfriamento, limpeza, produção de vapor entre outros fins. A utilização de água com as características adequadas assegura que os processos industriais ocorram de maneira eficiente, reduzindo a corrosão e a formação de incrustações nos equipamentos. Em indústrias como alimentos e bebidas, farmacêutica e eletrônica, a qualidade da água é crucial para garantir a qualidade do produto final.

Na indústria eletrônica o tratamento de água é uma etapa crítica para garantir a qualidade dos processos de fabricação e a integridade dos produtos eletrônicos. A água é usada em várias fases da produção de componentes eletrônicos, e sua pureza é essencial para evitar contaminações que poderiam afetar a funcionalidade e a confiabilidade dos dispositivos eletrônicos.

A TDK é uma empresa de componentes eletrônicos que utiliza um tratamento refinado de água por meio de membranas de osmose inversa e resinas de troca iônica, sendo o controle da qualidade dessa água baseado na sua condutividade elétrica. Mantendo a condutividade elétrica abaixo do limite especificado, reduz-se principalmente a chance de ocorrer contaminação das folhas de alumínio, enquanto elas passam pelo processo de oxidação, mas também contribui para a qualidade e eficiência de outros processos da empresa e nos laboratórios de controle da qualidade.

Apesar da qualidade da água ser importante para o funcionamento da indústria, o tratamento de água recebe pouca atenção, o que poderia afetar a sua qualidade e, portanto, contribuir para defeitos nos produtos da empresa, caso não fosse feito de forma efetiva o controle dos parâmetros de operação e de condutividade elétrica da água tratada. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é avaliar o processo de tratamento da água da empresa de eletrônicos TDK e auxiliar no entendimento das diferentes etapas, assim como inferir possíveis melhorias no sistema de tratamento.

2 TDK ELETRONICS

A TDK Electronics do Brasil Ltda. é a subsidiária brasileira da TDK Corporation, uma empresa global de componentes eletrônicos com sede no Japão. Como parte do grupo TDK, a empresa se dedica ao projeto, fabricação e distribuição de componentes eletrônicos.

A empresa foi fundada com o nome ICOTRON (Indústria de Componentes Eletrônicos), em 1954, por descendentes de imigrantes alemães em Porto Alegre. Em 1957, a ICOTRON foi integralmente adquirida pela Siemens e suas instalações fabris foram transferidas, em 1962, para a Cidade de Gravataí (região metropolitana de Porto Alegre).

Mais tarde, em 1999, a ICOTRON passou a fazer parte da EPCOS (Electronic Parts and Components), uma multinacional de eletrônicos com sede na Alemanha. Em 2008, a

EPCOS tornou-se parte do Grupo TDK e a combinação de recursos e conhecimentos do Grupo EPCOS com a TDK permitiu que a empresa ampliasse seu alcance e inovação no mercado de componentes eletrônicos e tecnologias relacionadas. Como resultado, a TDK e o Grupo EPCOS se tornaram uma força significativa na indústria de componentes eletrônicos, oferecendo produtos de alta qualidade e tecnologicamente avançados em todo o mundo.

A TDK Electronics do Brasil é a operação do Grupo na América do Sul e Central, onde desenvolve e fabrica capacitores eletrolíticos de alumínio. Atualmente, conta com cerca de 1.600 funcionários, produzindo aproximadamente 1,1 bilhões de componentes por ano, que são fornecidos para quase 250 clientes em todo o mundo.

A empresa, situada em Gravataí, é subdividida em diversos setores, operacionais e de gestão, e tem o seu processo direcionado para a produção de capacitores. O processo inicia-se na importação de folhas de alumínio, as quais são cauterizadas para aumentar a superfície de contato, então essas folhas passam por um processo de formação de óxido de alumínio nas suas camadas mais externas no setor “banhos”, o qual possui 8 equipamentos responsáveis pela oxidação das folhas (cada um com seu diferencial), contendo produtos químicos e temperaturas elevadas. As ligações desses óxidos ainda são quebradas devido à ação de depolarizadores químicos (ácidos concentrados) ou físicos (temperaturas ainda mais elevadas), para que as ligações mais fracas sejam quebradas e seja formado um óxido mais forte. A camada de óxidos atua como dielétrico no capacitor, separando essa folha oxidada (ânodo) de uma folha que não passa pelo processo de oxidação e mantém valores altos de capacitância (cátodo).

Testes elétricos e mecânicos são feitos nessas folhas oxidadas em laboratório. Um teste elétrico é o de tensão, no qual é aplicado um campo elétrico na folha mergulhada em uma solução eletrolítica, para avaliar se ela atende ao potencial mínimo do produto, é avaliado o tempo necessário para alcançar esse valor, chamado de “rising time” (RT). Além disso, são realizados testes de capacitância (em $\mu\text{F}/\text{cm}^2$), que apesar de a capacitância não ser a propriedade principal nessa área do processo, ela é de extrema relevância para o produto, devendo ser controlada também. Os testes mecânicos são de dobramento, espessura e ruptura, pois é necessário que essa folha se mantenha inteira, mesmo quando aplicada certa força sobre ela.

Após ser aprovada pela área técnica/qualidade, essas folhas vão para o próximo setor, o “corte”, no qual são cortadas em formas de tiras para poderem ser enroladas nos capacitores, assim como as folhas importadas de alumínio que não passaram pelo processo de oxidação que serão utilizadas como cátodo e o papel que vai envolver os dois e manter um pouco de solução eletrolítica no meio. Após sair do corte, são montados então os capacitores e alguns são testados para evitar que sejam aprovados lotes com defeito.

A empresa tem o seu próprio tratamento de água que consiste na passagem da água por um filtro de zeólitas, um de carvão, filtros cartucho, microfiltração, novamente por filtros cartucho, um sistema de osmose inversa e resinas de troca iônica. O sistema de tratamento de água da empresa é baseado em um tratamento anterior e um refino no tratamento, posterior ao conjunto de membranas de osmose inversa.

Na Figura 1 está apresentado o fluxograma simplificado do sistema de tratamento de água da empresa TDK. A osmose inversa é importante pois fornece água deionizada para os laboratórios presentes na empresa, assim como torres de resfriamento e o próprio processo em si, nos banhos químicos os quais consomem mais da metade dessa água tratada, e em outros setores de engenharia.

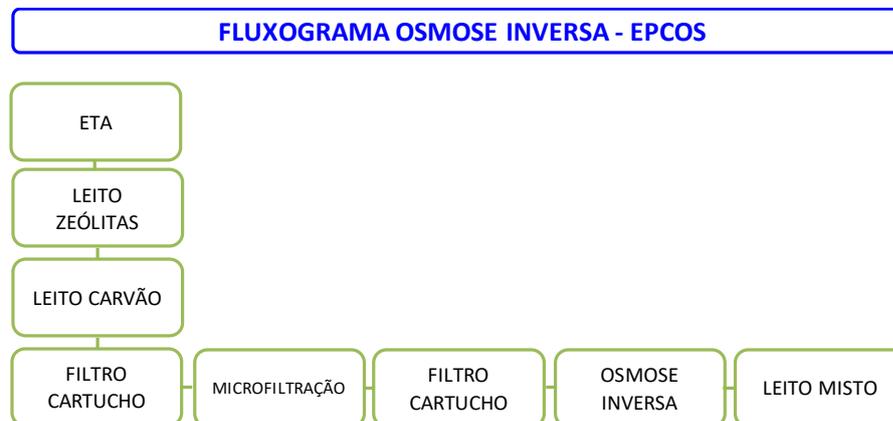


Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento de água da empresa TDK Electronics para a utilização nos processos industriais.

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

Como o objetivo deste trabalho é avaliar o sistema de osmose inversa, esse processo será detalhado a seguir, bem como as etapas de pré e pós-tratamento.

3 PROCESSO DE OSMOSE INVERSA

A osmose inversa é um processo de separação por membranas usado para purificar água e outras soluções aquosas. É um método eficaz para remover impurezas, contaminantes e sais indesejados da água. O princípio da osmose inversa é baseado na diferença de pressão entre os dois lados de uma membrana semipermeável.

A osmose ocorre naturalmente quando um solvente, como a água, flui através de uma membrana para diluir uma solução mais concentrada do outro lado. No entanto, a osmose inversa utiliza pressão externa aplicada ao lado mais concentrado da solução para reverter esse processo natural. A membrana semipermeável utilizada na osmose inversa possui poros extremamente pequenos (menores do que 2 nm), permitindo apenas que moléculas de água passem através dela, enquanto rejeita moléculas maiores e contaminantes dissolvidos. Assim, a água é forçada a passar pela membrana, retraindo os contaminantes, resultando em água limpa e purificada na corrente de permeado.

3.1 ETA

Antes de chegar no setor “banhos”, onde estão presentes as membranas de osmose inversa, a água que é captada do rio Gravataí, tubulação de cor preta na empresa, é tratada em uma estação de tratamento de água convencional.

Inicialmente é realizada a desinfecção da água bruta, com uma dosagem mínima de desinfectante para evitar a presença de matéria orgânica, algas e microrganismos patogênicos. Após ser desinfetada, a água é acondicionada e tratada com uma solução de policloreto de alumínio e polieletrólito, utilizados como coagulante e floculante, respectivamente. Essa etapa de tratamento ocorre em um espaço que contém chicanas para aumentar a eficiência deste tratamento e com agitação rápida e violenta de curta duração para não romper os flocos. Quando a alcalinidade natural da água bruta não é suficiente para reagir com o floculante, é feita uma alcalinização, com uma dosagem acompanhada pelo setor “banhos”, visto que os alcalinizantes aumentam a condutividade elétrica, podendo ultrapassar o limite recomendado.

Após a adição destes químicos, os resíduos vão sendo depositados no fundo de um decantador circular (com volume de 250 m³ e 3,5 m de profundidade) por gravidade, no qual a água limpa sobrenadante é retirada por um funil em uma altura considerável e o lodo (material mais denso e que fica no fundo do decantador) é retirado com periodicidade de aproximadamente 6 meses e enviado para a ETE (estação de tratamento de esgoto) da empresa. A água clarificada passa por filtros de areia e cascalho, nos quais alguns contaminantes e os flocos finos que não decantaram são retidos. Na Figura 2, pode ser observado o tanque de decantação mencionado anteriormente.



Figura 2: Imagem do tanque decantador da estação de tratamento de água da empresa TDK Electronics do Brasil Ltda.

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

A água tratada, então, é dividida em duas correntes, uma que vai para uma caixa de água (tubulação de cor verde escura), com os seus limites apresentados na Tabela 1 e é adicionado cloro residual para que ela seja utilizada como água potável. Já a outra corrente vai direto para o tratamento com a osmose inversa (tubulação verde clara), necessitando de um controle maior dos parâmetros relativos a íons presentes na água, estes com seus limites apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 Limites dos parâmetros controlados da água potável na ETA da TDK Electronics do Brasil.

Parâmetro	Limite
pH	Mínimo de 6,0 e máximo de 9,5
Cloro	Mínimo de 0,2 mg/L e máximo de 2,0 mg/L
Cor aparente	Máximo de 15 uH (mgPtCo/L)
Odor	Não objetável
Sabor	Não objetável
Turbidez	Máximo de 5 NTU
Cloretos	Máximo de 250 mg/L Cl ⁻
Dureza total	Máximo de 500 mg/L CaCO ₃
Bacteriológico	Conforme portaria GM/MS

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

Tabela 2 Limites dos parâmetros controlados da água a ser enviada para o sistema de osmose inversa da TDK Electronics do Brasil.

Parâmetro	Limite
pH	Mínimo de 6,0 e máximo de 7,0
Cloro residual	Máximo de 0,3 mg/L
Cor aparente	Máximo de 15 uH (mgPtCo/L)
Condutividade elétrica	Máximo de 200 μS/cm
Temperatura	Mínima de 10 °C e máxima de 30 °C
Turbidez	Máximo de 2 NTU
Cloretos	Máximo de 250 mg/L Cl⁻
Dureza total	Máximo de 100 mg/L CaCO₃
Alcalinidade	Máximo de 100 mg/L CaCO₃

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

3.2 Pré-Tratamento para o Sistema de OI

O pré-tratamento da água é composto por um conjunto de etapas realizadas antes da aplicação de métodos de purificação mais avançados, como a osmose inversa, para melhorar a qualidade da água e prepará-la para a etapa de tratamento subsequente. Essas etapas são essenciais para remover impurezas, partículas sólidas, materiais suspensos e algumas substâncias dissolvidas que não foram retidas e podem interferir no tratamento posterior, prejudicando a eficiência dos sistemas de purificação, assim como reduzindo a vida útil das membranas.

3.2.1 Leito de Zeólitas

O leito de zeólitas é essencial para a remoção de impurezas e substâncias indesejadas antes do tratamento da água por osmose inversa. Nesse processo, a água clarificada é direcionada para um leito contendo zeólitas, que são materiais microporosos com propriedade de adsorção.

As zeólitas atuam como agentes adsorventes, retendo íons indesejados e partículas (a partir de 4 μm) suspensas presentes na água. Isso ocorre nos espaços porosos das zeólitas, onde as moléculas de água e os contaminantes são aprisionados pelos cristais.

Durante o processo, as impurezas adsorvidas pelas zeólitas são removidas da água, resultando em uma água tratada de maior pureza. Este pré-tratamento é crucial para melhorar a eficácia de etapas subsequentes no processo de tratamento de água, contribuindo para a remoção de sólidos suspensos, metais pesados e outros contaminantes. O leito de zeólitas, assim, desempenha um papel fundamental na preparação da água para estágios posteriores de purificação, garantindo uma água tratada de qualidade.

O material do leito filtrante é composto por zeólitas com granulometria de 0,45 a 0,55 mm, com coeficiente de uniformidade 1,6, possui 350 L de volume de leito filtrante e altura de 200 mm de leito. São usadas válvulas gaveta de haste fixa, tubulação de aço carbono, conexões do tipo rosca e como acessório do equipamento, tem-se um manômetro Bourdon com escala de 0 a 6 kgf/cm^2 . O leito de zeólitas tem como principal função a retirada dos sólidos suspensos que não foram removidos na etapa de clarificação, as condições de operação são pressão de 3 kgf/cm^2 , temperatura ambiente e vazão de 15 m^3/h . O diâmetro do tanque externo ao leito é de 1,5 m e altura é 1,2 m, seu revestimento é de neutrol, o material de construção é aço carbono, o revestimento é de primer de zarcão, o distribuidor superior é do tipo defletor em aço carbono, o coletor inferior é do tipo fundo falso com 21 “strainers” de discos de poliestireno.

As condições de operação recomendadas pelo fornecedor para o leito de zeólitas são: uma vazão de 25 m^3/h de água, com um fluxo de 14 a 15 $\text{m}^3/\text{h.m}^2$, com controle baseado na diferença de pressão.

O leito de zeólitas é retrolavado periodicamente de forma automática, sendo realizado de segunda-feira a sexta-feira, uma vez por dia. A retrolavagem consiste na limpeza em contracorrente com enxágue posterior, revertendo o fluxo do leito pelo cabeçote para evitar a saturação e o desgaste do leito.

A retrolavagem ocorre sempre que a perda de carga atingir de 0,2 a 0,3 kgf/cm^2 e é realizada nas seguintes condições: vazão mínima de 45,0 m^3/h , pressão mínima de 1,0 kgf/cm^2 , fluxo de 25 $\text{m}^3/\text{h.cm}^2$, tem duração de 10 min e é utilizada água filtrada em contracorrente.

3.2.2 *Leito de Carvão Ativado*

O funcionamento do leito de carvão ativado consiste em passar a água tratada na etapa anterior (leito de zeólitas) através do meio filtrante. As impurezas orgânicas são adsorvidas pelos poros do carvão ativado, enquanto a água tratada passa para a próxima etapa. Ao longo do tempo, o carvão ativado pode saturar com as substâncias adsorvidas, exigindo a substituição ou regeneração do material para manter a eficiência do filtro.

O leito de carvão ativado também é responsável pela retirada do cloro remanescente proveniente do tratamento anterior. O leito tem diâmetro de 1,3 m e altura de 1,5 m, revestimento interno de coaltar epóxi, construído em aço carbono, revestimento externo de primer de zarcão, distribuidor superior do tipo refletor em aço carbono, coletor inferior do tipo fundo falso com 16 discos de poliestireno/latão, leito filtrante de carvão ativado.

O carvão ativado tem granulometria de 12 x 24 mesh (1,68 mm a 0,841 mm), com coeficiente de uniformidade de 1,6, volume de 1250 L de leito filtrante e altura de 940 mm de leito. Possui válvulas gaveta de haste fixa e tem como acessório um manômetro Bourdon com escala de 0 a 6 kgf/cm².

O leito de carvão tem capacidade unitária de 25 m³/h, pressão de operação de 3 kgf/cm², operando na temperatura ambiente.

As condições de operação recomendadas pelo fornecedor para o uso do leito de carvão ativado são: vazão de 25 m³/h, fluxo de 20 m³/h.m², com controle baseado na diferença de pressão.

O filtro deve ser lavado sempre que a perda de carga atingir de 0,2 a 0,3 kgf/cm². A limpeza é realizada por uma retrolavagem, com vazão mínima de 25,0 m³/h, pressão mínima de 1,0 kgf/cm², fluxo de 20 m³/h.cm², tem duração de 10 min e é utilizada água filtrada nessa limpeza em contracorrente.

O leito de carvão ativado é retrolavado periodicamente de forma automática, sendo realizado uma vez por dia, de segunda-feira a sexta-feira. Uma área livre de 30 a 50% deve ser deixada no vaso permitindo a correta retrolavagem. Este procedimento não regenera o carvão ativado, nem mesmo remove o material adsorvido, apenas rearranja o leito, evitando a criação de caminhos preferenciais, e remove os finos e o material suspenso que foi retido pelo leito. Quando o leito de carvão ativado satura e a retrolavagem perde a sua eficácia, a substituição deste se torna necessária para garantir a eficiência contínua do sistema de pré-tratamento. A frequência da substituição depende da carga de contaminantes no ambiente, sendo realizada entre 1 e 2 anos após a troca.

3.2.3 *Filtro de Cartucho*

Os filtros de cartucho, os quais são feitos de polipropileno (PP) com tamanho nominal de poro de 1 µm, estão presentes no processo em duas etapas, antes e após

a microfiltração. O funcionamento dos filtros cartucho é simples, o líquido a ser filtrado é pressionado através do meio filtrante do cartucho, que retém as partículas e impurezas presentes, permitindo que o purificado atravesse o filtro e que parte dessas impurezas fique retida.

Antes da microfiltração são utilizados dois filtros, com arranjo paralelo, e um filtro após a microfiltração. Esses filtros são utilizados para um polimento fino dos sólidos que passarem pelos leitos de zeólitas e de carvão ativado. Cada um dos filtros contém 5 cartuchos, verticalmente dispostos e pressurizados, onde ocorre a filtração da água. Os filtros cartucho têm uma vida útil em torno de 20 dias, após esse período os 15 cartuchos são trocados, tanto os 10 que estão localizados antes da microfiltração, quanto os 5 cartuchos que estão após a membrana. Todos os filtros cartucho apresentam o mesmo tamanho nominal e distribuição de tamanho de poros.

3.2.4 Microfiltração

A microfiltração é um processo de filtração utilizado para separar partículas sólidas finas que geralmente não são removidas pela filtração convencional. Esse método utiliza membranas porosas que permitem a passagem de solvente e sais enquanto partículas sólidas e coloides são retidos. Essa técnica de separação por membranas é particularmente eficaz na remoção de partículas com tamanhos na faixa de 0,1 a 10 μm .

O funcionamento básico da microfiltração envolve o bombeamento da solução a ser tratada através de uma membrana com poros de tamanho controlado. As partículas maiores, incluindo sólidos em suspensão, bactérias e outros contaminantes, ficam retidas na superfície ou dentro dos poros da membrana, enquanto a solução filtrada segue para as próximas etapas do tratamento.

A microfiltração como pré-tratamento evita a obstrução das membranas de osmose inversa, que são mais sensíveis a partículas sólidas, o que prolonga a vida útil das membranas e reduz a frequência de limpezas ou substituições.

A membrana (AQUALINE ALN05-60B, Pentair PLC, EUA) é feita de polipropileno com tamanho de poros nominal de 5 μm e tem em média 6 meses de vida útil.

3.3 Osmose Inversa

A empresa tem dois sistemas de tratamento da água por osmose inversa, que operam separadamente, enquanto um está em limpeza, o outro se mantém em operação para manter o abastecimento dos diversos setores da empresa. É realizado esse revezamento entre eles para que não haja sobrecarga dos sistemas. Na Figura 3 está apresentado um esquema do módulo de membranas utilizadas no processo, com suas dimensões e a direção do fluxo de permeado, corrente de alimentação (F) e concentrado (B).

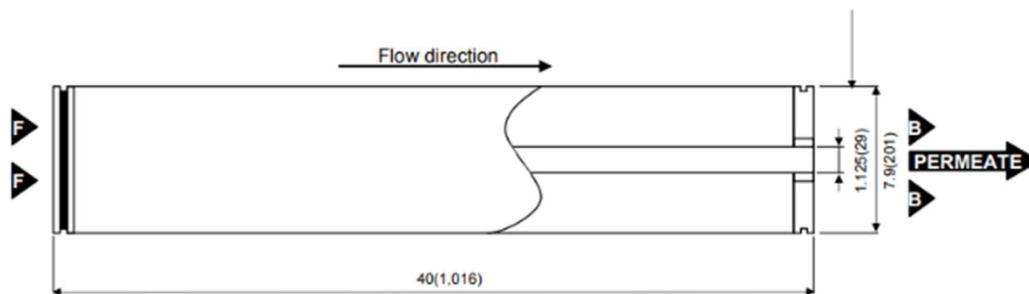


Figura 3: Imagem ilustrativa que representa o módulo de membranas de OI utilizado pela empresa TDK do Brasil e a passagem do fluxo de água por estas. As dimensões estão em polegadas (mm). F – Alimentação, B – Concentrado.

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

O permeado é utilizado nos processos da empresa e o concentrado, antigamente, era direcionado, por meio de uma tubulação, para a estação de tratamento de água, passando pela decantação e tratamento químico para ser utilizada como água potável, devido à sua concentração rica em sais minerais. Entretanto isso contribuía para um aumento exacerbado da condutividade elétrica e, conseqüentemente, para o desgaste da membrana (incrustações), aumento do consumo de energia e uma menor eficiência do processo.

Atualmente, essa tubulação foi desativada, sendo o concentrado direcionado para as lagoas de estabilização. O nível dessa lagoa é mantido, mesmo que a água evapore devido à exposição ao sol e fique concentrada em sais, devido a adição dessa corrente e pela água das chuvas. A água da lagoa é utilizada para a contenção de sinistros, como incêndios ou no caso de vazamentos de produtos químicos, de substâncias perigosas, a água pode ser utilizada para criar barreiras físicas e diluir produtos químicos vazados, ajudando a evitar a propagação dessas substâncias.

O controle da qualidade do permeado é feito por meio de dados da condutividade elétrica, ela deve estar sempre inferior a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A limpeza química é realizada sempre que a condutividade elétrica estiver acima desse limite ou a perda na produção de permeado de 4 m^3/h para o sistema de OI 2 e 7 m^3/h para o sistema de OI 3, ou em caso de a perda de carga estar acima do limite especificado para cada um dos dois sistemas de OI. O destino do permeado é uma caixa de água especial, sem adição de cloro. No caso desta caixa d'água estiver próxima da capacidade de 25,5 m^3 , os dois sistemas de OI são parados para que a caixa não transborde e ocorra perda de água deionizada.

Devido ao uso intermitente dessas membranas, variações nas condições de operação, frequência de limpezas, a média de vida útil delas é relativamente baixa, de aproximadamente 6 anos. Após o fim da vida útil, algumas membranas são descartadas como resíduo industrial e destinadas para outros setores da empresa para que estes façam a correta gestão e destinação, e algumas são revendidas, pois apesar de estarem

demasiadamente sujas e incrustadas, ainda têm algum valor comercial, pois podem ser usadas em processos que tenham uma exigência de qualidade de água menor.

O material das membranas (TM720D-400, Toray Industries Inc, EUA) é composto de poliamida totalmente aromático reticulado. Os módulos do tipo espiral possuem diâmetro de 8'' (polegadas) e área de 37 m², uma rejeição de sal de 99,8%, taxa de produção de 41,6 m³/d e espessura do espaçador de alimentação de 34 mil (0,0008636 m). As condições de teste abrangem uma pressão da água de alimentação de 225 psi (1,55 MPa), temperatura da água de alimentação de 77 °F (25 °C), concentração de água de alimentação de 2,000 mg/l (NaCl), percentagem de recuperação de cada membrana de 15% e pH da água de alimentação neutro, 7. A rejeição mínima de sal é 99,65% e a taxa mínima de é 33,6 m³/d.

Os dados e informações das membranas fornecidas pelo fabricante, que estão apresentados na Tabela 3, são de extrema importância para que se tenha o controle da operação do sistema de OI, que é caro (o conjunto de membranas custa aproximadamente R\$ 50.000) e deve ser operado adequadamente para que não seja danificado e atenda às necessidades da empresa.

Tabela 3 Recomendações do fabricante das membranas de osmose inversa (TM720D-400) utilizadas pela empresa TDK Electronics do Brasil.

Parâmetro	Limite
Pressão operacional máxima	600 psi (4,1 MPa)
Temperatura máxima da água de alimentação	113 °F (45 °C)
Água de alimentação máxima SDI15	5
Concentração máxima de cloro da água de alimentação	0,1 ppm
Faixa de pH da água de alimentação, operação contínua	2-11
Faixa de pH da água de alimentação, limpeza química	1-13
Queda máxima de pressão por elemento	20 psi (0,14 Mpa)
Queda máxima de pressão por vaso de pressão	60 psi (0,4 MPa)

Fonte: Toray Industries Inc.

3.3.1 Sistema de Osmose Inversa 2

O sistema de osmose inversa 2 tem 3 vasos de pressão contendo 3 módulos de membranas em cada, totalizando 9 módulos. A água após sair do pré-tratamento, corrente de alimentação “F”, passa inicialmente por 2 vasos em paralelo e, então, os concentrados são unidos para passar pelo terceiro vaso de pressão em série, como pode ser observado no esquema apresentado na Figura 4. Essa configuração de vasos em paralelo, inicialmente, possibilita aumentar a capacidade de produção total do sistema, permitindo que uma quantidade maior de água seja tratada simultaneamente. O terceiro vaso, este em série com os outros dois, é alimentado com o concentrado produzido nos vasos anteriores, permitindo que se tenha uma maior recuperação, aumentando a eficiência do processo.

É utilizada uma vazão nominal de 8 m³/h, sendo obtidos aproximadamente 6 m³/h de permeado na corrente “P” e produzidos 2 m³/h de rejeitos (concentrado) na corrente “C”. A vazão é controlada manualmente com uma válvula do tipo borboleta e uma bomba centrífuga vertical (potência fixa), devido a menor quantidade de módulos de membranas em comparação com o sistema de OI 3, sendo assim é evitada a perda de eficiência do processo e um aumento significativo de produção de resíduos caso a alimentação fosse de 10 m³/h como no sistema de OI 3.

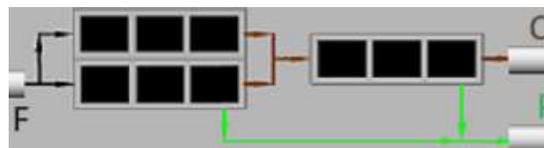


Figura 4: Desenho esquemático da associação dos módulos do sistema de osmose inversa 2 da empresa TDK Eletronics do Brasil.

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

3.3.2 Sistema de Osmose Inversa 3

O sistema de osmose inversa 3 tem 3 vasos de pressão com 3 módulos de membranas em cada e um vaso com 2 módulos de membranas, totalizando 11 módulos. A água passa inicialmente por 2 vasos em paralelo, então os concentrados são unidos para passar pelo terceiro vaso de pressão em série e finalmente passa pelo último vaso com 2 membranas, também em série.

A vazão nominal de 10 m³/h de água vinda da ETA, com uma recuperação média de 75%. O sistema com os módulos está representado pelo esquema da Figura 5, na qual “F” corresponde a corrente de alimentação, após a passagem pelos filtros cartucho, “C” a corrente de concentrado, que é descartada e a corrente “P” de permeado, a qual é utilizada nos processos da empresa.

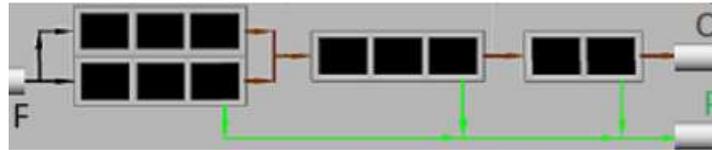


Figura 5: Desenho esquemático da associação dos módulos do sistema de osmose inversa 3 da empresa TDK Electronics do Brasil.

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

Na Figura 6 está apresentada uma imagem dos dados do painel do sistema de OI 3. Este sistema opera com uma vazão constante de 0,5 m³/h de corrente de reciclo, que permite a reutilização de uma parte da água da corrente de concentrado, contribuindo para a redução do desperdício de água e aumento da eficiência energética, reduzindo o impacto ambiental do processo.

Neste painel, que é visível tanto na tela próxima às membranas de OI, quanto na tela dos computadores dos responsáveis pelo controle do tratamento da água, podem ser visualizados os parâmetros medidos para que se mantenha a qualidade da água tratada e não sejam sobrecarregados os equipamentos, como membranas e filtros cartucho. Esses parâmetros incluem os valores de pressão, que caso estejam acima do limite estabelecido, irão acionar a parada automática do sistema de OI em operação. Assim como medidas de pH e condutividade elétrica da água anterior a alimentação da microfiltração e antes da alimentação das membranas de OI, a medida de redox (potencial redox), a capacidade de um sistema de ganhar ou perder elétrons durante reações químicas, que é utilizada para monitorar a condição da água e prevenir a corrosão nos equipamentos. A medida da turbidez não é realizada atualmente, o valor de 7,09 NTU que consta na imagem não reflete no valor real da turbidez da água, pois esta medição está desativada por orientação técnica.

O controle de pH é feito na alimentação da água fornecida pela ETA, caso ele esteja abaixo do limite estabelecido (de 7 a 8,5), tem-se adição automática de soda para que se tenha uma alcalinização da solução e, portanto, um aumento do pH. Entretanto, a medição de pH representada na Figura 6 não está na localização correta, ao invés de medir o pH do permeado na saída do processo, o que é medido em questão é o pH da corrente de entrada do sistema, logo após o tratamento convencional na ETA, como foi citado anteriormente. Além disso, também é feito o controle de pH após essa possível adição de hidróxido de sódio, anterior a microfiltração, como pode ser visto na Figura 6, este sim deve, obrigatoriamente, estar na faixa de 7 a 8,5.

Estes limites de pH são estabelecidos, pois em sistemas de osmose inversa (OI), normalmente o pH da água de alimentação está na faixa básica, entre 7 e 8, porque muitas membranas de osmose inversa são mais estáveis em condições alcalinas. Um pH mais alto pode ajudar a reduzir a degradação e a deterioração da membrana, prolongando sua vida útil. No entanto, é importante verificar as recomendações do fabricante da membrana para determinar as faixas de pH aceitáveis, para o caso das

membranas da TDK, o recomendado pelo fabricante é um pH entre 2 e 11 para operação contínua. Um pH básico pode ajudar a prevenir a corrosão de partes metálicas no sistema, como tubulações e componentes da bomba. Isso é particularmente relevante em sistemas onde a água pode entrar em contato com tais materiais. Águas com pH mais elevado podem ter menor tendência a formar incrustações, especialmente incrustações de carbonato de cálcio. Isso é importante para evitar depósitos na superfície da membrana que podem diminuir a eficiência do sistema. Quando os valores de pH são próximos a 10, esse aumento mais pronunciado da alcalinidade do meio faz com que a taxa de corrosão diminua, pois o ferro se torna passivo em presença de álcalis e oxigênio dissolvido.

São controladas também as vazões, possibilitando o cálculo da recuperação, assim como, os valores de condutividade elétrica do permeado da OI e do leito misto, pois também são parâmetros que podem acionar a parada automática do sistema de tratamento de água. A pressão de entrada da OI 2 está zerada, pois os sistemas de OI funcionam alternadamente, e no momento do registro do painel de controle o sistema de OI 3 estava ativo. O volume de água deionizada presente na caixa de água também é informado no painel, pois quando a caixa de água está cheia, com 25,5 m³, é realizada uma parada automática do sistema de tratamento de água.

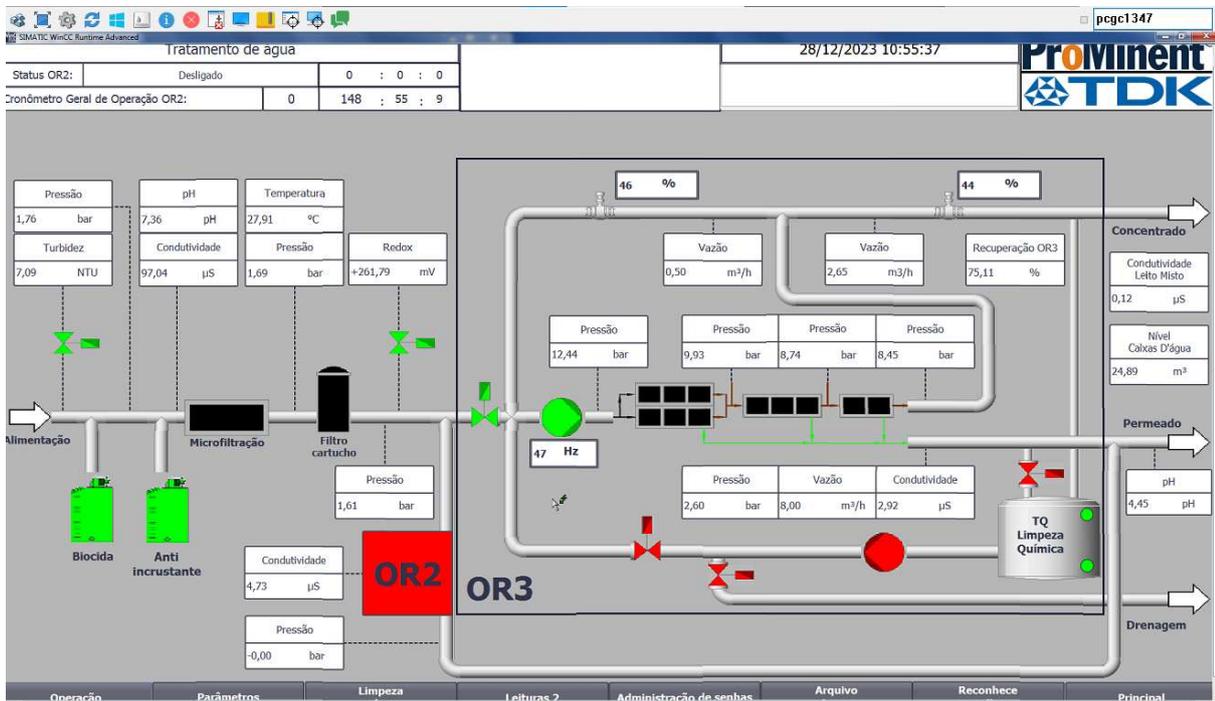


Figura 6: Painel de controle do sistema de osmose inversa 3 da empresa TDK Eletronics do Brasil.

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

3.4 Pós-Tratamento

Após o tratamento com osmose inversa, a água passa por um pós tratamento que consiste em um leito misto de resinas de troca iônica, sendo controlada a condutividade elétrica da água tratada, devendo estar sempre abaixo do limite de 0,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

O permeado vai para uma caixa de água (sem adição de cloro, mas com limite de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$), para ser usado nos laboratórios, torres de resfriamento, para o próprio processo de oxidação de folhas de alumínio e em outros setores da empresa.

3.4.1 Leito Misto com Resinas de Troca Iônica

O leito misto com resinas de troca iônica é um sistema de tratamento de água que combina dois ou mais tipos de resinas de troca iônica em um único leito, a fim de remover impurezas e íons específicos da água, principalmente para a produção de água deionizada para a indústria eletrônica.

As resinas de troca iônica são materiais poliméricos com grupos funcionais que possuem afinidade por íons específicos presentes na água. Quando a água passa através do leito de resina, os íons indesejados são removidos e substituídos por outros íons presentes nas resinas.

O leito misto normalmente combina dois tipos de resinas de troca iônica, a resina catiônica, que tem afinidade por íons carregados positivamente, como íons de cálcio, magnésio e sódio, e a resina aniônica, que tem afinidade por íons carregados negativamente, como íons de sulfato, cloreto e nitrato.

Após a exaustão das resinas, estas precisam ser regeneradas, ou seja, as impurezas capturadas são removidas e os íons originais são restabelecidos nas resinas, para que possam ser utilizadas novamente no processo de tratamento de água. Esse ciclo de regeneração permite a reutilização das resinas e garante a eficiência contínua do leito misto.

O sistema de tratamento de leito misto apesar de ser muito eficiente para o polimento da água, não é recomendado para tratar a água bruta, pois seria necessário fazer limpezas químicas e a troca das resinas de troca iônica com alta frequência, aumentando os custos do processo e inviabilizando-o. Sendo assim, são recomendados sistemas de tratamento anteriores a esse refino, e neste estudo de caso, um sistema de membranas de osmose inversa é utilizado com esse propósito. Um sistema de OI eficiente reduz consideravelmente a frequência das limpezas químicas e troca das resinas, reduzindo custos com produtos químicos, além de diminuir a quantidade de paradas do sistema de tratamento de água.

Como há dois sistemas de osmose inversa, também se tem dois sistemas de resinas de troca iônica (sistema 1 e sistema 2) eles se alternam em funcionamento e regeneração de forma semelhante às membranas, mas seu uso é intermitente por

aproximadamente 10 dias, então um sistema é parado para regeneração, enquanto o outro é acionado.

Os tipos de resinas utilizadas pela empresa são a resina catiônica da Amberlite (IR-120), que troca os íons sódio por íons de hidrogênio e a resina aniônica Amberlite (IRA-420) que substitui os íons cloro por hidroxila. A combinação dos íons hidroxila e hidrogênio, trocados pelas resinas, contribui para a produção de água deionizada, além de reduzir a condutividade elétrica do purificado.

4 PARADAS DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE ÁGUA POR OI

Na unidade de tratamento de água são realizadas paradas, totais ou parciais na unidade de tratamento da água, para manutenção, devido a falhas elétricas ou mecânicas nos equipamentos, como queima de placas de circuito ou rompimento em alguma das tubulações.

4.1 Parada Manual Parcial

A parada manual parcial ocorre quando se torna necessário testar partes do sistema pelas áreas de manutenção elétrica mecânica, química, eletrônica, de infraestrutura ou quando é necessária uma retrolavagem nos leitos de zeólitas, carvão ativado ou troca dos filtros de cartucho.

Por exemplo, para o caso dos sistemas de OI que são alternados para que aquele que estiver em manutenção permaneça desligado, enquanto o outro funcione normalmente. Caso o sistema OI 3 esteja funcionando e seja necessária uma manutenção, é indicado que seja realizado o procedimento de enxague antes de ser desligado por completo.

4.2 Parada Manual Total

A parada manual total é realizada quando são necessárias manutenções ou modificações de grande porte no sistema. Nesse caso, são desligados os sistemas de pré-tratamento e os sistemas de osmose inversa, é importante esperar que seja realizado o procedimento de enxague da OI 3, caso ela esteja em funcionamento (procedimento único da OI 3). As chaves gerais são desligadas, parando totalmente com a operação de tratamento da água.

4.3 Parada Automática

Na unidade de OI são realizadas, constantemente, paradas automáticas devido ao seu funcionamento estar vinculado à vazão de água deionizada produzida, a qual é controlada por sensores de nível automáticos. A parada automática também está

vinculada à qualidade da água, caso a condutividade elétrica alcance valores acima do especificado, o sistema é parado de forma automática. Adicionalmente, paradas automáticas estão associadas com a pressão entre os vasos que contém as membranas, caso essas pressões atinjam valores acima dos estabelecidos. O aumento da pressão é um indicativo de que a membrana está incrustando e que os fenômenos de polarização por concentração e “fouling” estão se intensificando, o que reduz a eficiência do processo, sendo necessária a parada para a limpeza do equipamento. Quando o desligamento automático ocorre, devido à baixa produção de permeado, os alarmes de nível baixo das caixas de água deionizada são ativados. A unidade também desliga automaticamente quando ocorrem adversidades no processo, como a falta de abastecimento de ar comprimido, rompimento na tubulação, queima de placas de circuito, ou falhas eletroeletrônicas no sistema.

Isso é válido, apenas, para o sistema de membranas da OI 3, o qual é mais automatizado e tecnológico do que o sistema de OI 2, no qual a vazão de alimentação é controlada manualmente por uma bomba na entrada e visualmente através de rotâmetros. No sistema de OI 2 é mandatário que se tenha um operador para que sejam feitas algumas paradas necessárias neste sistema em específico, dificultando, desta forma, a análise de dados desse sistema, uma vez que nem todos os dias é realizado o controle e o registro dos dados

Apesar de não ser tão automatizado e ter uma vazão de permeado menor, o sistema de OI 2 é de extrema importância para a indústria, pois ele possibilita que o processo de produção de água deionizada seja intermitente, mesmo no caso de falha do sistema de OI 3, ou quando é necessária uma manutenção ou limpeza química.

5 LIMPEZA DO SISTEMA DE OI

Devido às características da água proveniente da ETA e às condições de operação, o sistema de pré-tratamento e as membranas de OI ficam incrustados com o passar do tempo, o que reduz consideravelmente a eficiência do processo. Considerando condições pré-estabelecidas, tais como condutividade elétrica do permeado acima de $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ou perda de carga elevada ou vazão abaixo do limite, é realizada a limpeza química a fim de recuperar a qualidade e a vazão de permeado na saída do processo. Quando a limpeza química deixa de ser eficaz, as membranas são trocadas para manter a qualidade da água na saída do processo de osmose inversa.

5.1 Osmose Inversa

Apesar de ser instalado um sistema de pré-tratamento, este apenas evita que partículas de alta massa molar e cloro livre, que degradam as membranas, acabem por chegar até elas em uma alta concentração, mas não evitam que isso ocorra em baixas concentrações. Para manter o sistema em operação por mais tempo, aumentando a vida útil das membranas, são dosados biocida e anti-incrustante, para evitar o “fouling”

ou incrustação, que podem contribuir para a corrosão das membranas ou para a polarização por concentração, devido à alta carga de contaminantes na água, assim como o “biofouling”, formação de depósitos biológicos sobre a superfície da membrana.

A limpeza é realizada sempre que a diferença de pressão em pontos específicos do processo seja maior do que o especificado, assim como se a vazão de permeado for abaixo do especificado ou a condutividade elétrica da água na saída da osmose inversa esteja acima de 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Como a empresa possui dois sistemas de osmose inversa, enquanto um deles está em limpeza, o outro permanece operando, para suprir as necessidades de água deionizada. Quando este atinge os parâmetros pré-estabelecidos de pressão, vazão ou condutividade elétrica, ele é parado para a limpeza química e o outro sistema é religado.

É realizada uma limpeza ácida, para a remoção de ferro, manganês e carbonatos de cálcio e de alumínio. Além disso, é realizada uma limpeza alcalina para a remoção de matéria orgânica e coloidal, além de sais insolúveis em ácidos.

Há uma certa variação quanto à limpeza dos dois sistemas, enquanto no sistema de OI 2 é feita uma retrolavagem, com a água proveniente da caixa de água deionizada de 25,5 m^3 , na OI 3 é feita a limpeza (enxágue) com uma reserva específica de água deionizada que é própria desse sistema, de forma automática.

Ao ligar o sistema de OI 3, leva cerca de 30 segundos para realizar um enxague inicial, que consiste em manter a bomba da ETA ligada, porém a bomba da osmose inversa permanece desligada, ou seja, o sistema é lavado com a pressão da rede de entrada.

A limpeza é realizada utilizando uma bomba centrífuga, com rotação de 3600 rpm. A vazão máxima de operação da bomba de 3,6 m^3/h e a pressão de 42 mca (4,12 bar). As condições de operação durante a limpeza não são medidas.

5.2 Retrolavagem dos Filtros de Zeólitas e Carvão Ativado

Para iniciar a retrolavagem, primeiramente, é programada uma parada manual parcial dos filtros de zeólitas e de carvão ativado. A retrolavagem é realizada na seguinte ordem: primeiro no leito de zeólitas e depois no leito de carvão ativado. O controle da limpeza dos filtros é feito para o bom funcionamento do sistema de osmose inversa, após religar o sistema, caso os parâmetros como condutividade elétrica e pressão não sejam atingidos, pode ser feita uma nova retrolavagem nos filtros.

5.2.1 Leito de Zeólitas

Para a limpeza do leito de zeólitas, inicialmente é ligada a bomba da ETA, mantendo uma pressão do leito entre 1 e 2 kgf/cm^2 , controlada por meio de válvulas, e essa água

passa em fluxo normal, isto é, no sentido da filtração, sendo descartada a água que sai da lavagem com uma coloração escura, após um certo tempo, essa água acaba por se manter clara, indicando que a limpeza teve certo sucesso, neste momento a bomba da ETA é desligada.

Após a lavagem em fluxo normal, são trocadas as posições das válvulas para que a água proveniente da ETA passe no sentido contrário, ou seja, uma retrolavagem, otimizando a retirada das incrustações e a limpeza como um todo.

5.2.2 *Leito de Carvão*

Para a limpeza do leito de carvão, inicialmente é ligada a bomba da ETA, mantendo uma pressão do leito entre 0,5 e 1 kgf/cm², controlada por meio de válvulas, e essa água passa na direção normal do escoamento, sendo descartada a água que sai da lavagem com uma coloração escura, após um certo tempo, essa água acaba por se manter clara, indicando que a limpeza teve certo sucesso, neste momento a bomba da ETA é desligada.

Este procedimento é necessário para passar água pelo leito no sentido normal de operação. Assim, evitando que a água com cloro e turva resultante das retrolavagens, que ainda pode conter nos leitos, passe pelos filtros de cartucho. Dessa forma os filtros de cartucho e as membranas não são prejudicadas, uma vez que são sensíveis ao cloro.

Após a lavagem na direção normal, são trocadas as posições das válvulas para que a água proveniente da ETA passe na direção contrária (retrolavagem), otimizando a retirada das incrustações e a limpeza como um todo.

5.3 **Filtros de Cartucho**

Não é realizada a limpeza nos filtros cartucho, apenas a troca de 20 em 20 dias. Para efetuar a troca, inicialmente, são desligados os sistemas de OI, seguindo a norma, então é aberta a válvula de suspiro e drenada a água contida no compartimento dos filtros cartucho. Retiradas as molas de pressão que ficam encaixadas nos filtros de cartucho e efetuada a troca dos meios filtrantes. É necessário então, aguardar o enchimento do sistema de filtros de cartucho, para poder dar reinício ao processo.

6 **SOLUÇÕES DE LIMPEZA DOS SISTEMAS DE OI**

A limpeza dos sistemas de OI é realizada em 4 etapas, utilizando produtos que se complementam, da linha PermaClean, específicos para membranas de osmose inversa. Diferentes soluções de limpeza do sistema de OI devem ser preparadas, pois cada água

tem condições e contaminantes diferentes, sendo necessário tratamentos e limpezas específicas.

A limpeza alcalina sempre deve ser feita primeiro e após o término dela, devem ser contabilizadas pelo menos 24 horas antes de uma limpeza ácida, que é realizada sempre na sequência.

Antes do reinício da operação, ainda são adicionados biocida, hidróxido de sódio e anti-incrustante na entrada da osmose inversa. Também são adicionadas pequenas quantidades desses compostos pelo menos uma vez ao dia no período da manhã, conforme orientação do fabricante, sendo descartada a água nesse período, principalmente pela alta condutividade elétrica (acima do limite de 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

6.1 Limpeza Alcalina

As duas primeiras etapas são realizadas utilizando soluções alcalinas, conforme orientação do fornecedor.

6.1.1 Etapa 1

A primeira etapa consiste na utilização de uma solução alcalina de PermaClean PC-67, com a formulação baseada em um surfactante aniônico e é altamente eficiente na remoção de matéria orgânica e coloidal.

A solução tem na sua composição o dodecilbenzenossulfonato de sódio, um tensoativo aniônico biodegradável que é usado como componente ativo do detergente doméstico de lavar louças. Possui uma longa porção apolar, e um pequeno grupo polar.

A preparação da solução consiste em: encher um tanque com 200 a 300 L de água deionizada, em temperatura ambiente e adicionar lentamente de 4 a 6 L de PC-67, suficientes para uma limpeza química. Após a mistura das duas soluções, a solução contida no tanque é agitada para garantir a sua homogeneidade.

Para o caso de a água continuar apresentando uma coloração escura após a aplicação desta solução, o técnico de produto deve avaliar a necessidade de uma segunda limpeza.

6.1.2 Etapa 2

A segunda etapa consiste na utilização de uma solução alcalina de PermaClean PC-33, que é um agente de limpeza de membranas desenvolvido para a remoção de sais insolúveis em ácido, como sulfatos de cálcio, bário e estrôncio, assim como fluoreto de cálcio. Além de atuar como anti-incrustante, essa mistura de EDTA com NaOH também tem a função de remover óxidos e hidróxidos presentes nas membranas.

A preparação da solução consiste em: encher um tanque com 200 a 300 L de água deionizada, em temperatura ambiente e adicionar lentamente de 4 a 6 L de PC-33,

suficientes para uma limpeza química. Após a mistura das duas soluções, a solução contida no tanque é agitada para garantir a sua homogeneidade.

6.2 Limpeza Ácida

As duas últimas etapas são realizadas utilizando soluções ácidas, conforme orientação do fornecedor.

6.2.1 Etapa 3

A terceira etapa consiste na utilização de uma solução ácida de PermaClean PC-11, que é um biocida de ação rápida, não oxidante e de amplo espectro, desenvolvido para controle de microrganismos sesséis e planctônicos, formadores de biofilmes nas membranas. A solução tem em sua composição o 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida (DBNPA), que é um reconhecido bactericida, o qual é responsável pelas características biocidas necessárias para limpeza.

A preparação da solução consiste em: encher um tanque com 200 a 300 L de água deionizada, em temperatura ambiente e adicionar lentamente de 0,3 a 0,5 L de PC-11, suficientes para uma limpeza química. Após a mistura das duas soluções, a solução contida no tanque é agitada para garantir a sua homogeneidade.

A solução de PC-11 ainda é adicionada diariamente nos sistemas de OI, por um sistema de dosador automatizado durante a operação da unidade. São dosados pelo menos 300 mL por dia, pelo controle do sistema IHM (painel automático).

6.2.2 Etapa 4

A quarta etapa consiste na utilização de uma solução ácida de PermaClean PC-77, que tem como função a remoção de incrustações de Fe e CaCO_3 os quais podem causar danos irreversíveis nas membranas.

A preparação da solução consiste em: encher um tanque com 200 a 300 L de água deionizada, em temperatura ambiente e adicionar lentamente de 8 a 10 L de PC-77, suficientes para uma limpeza química. Após a mistura das duas soluções, a solução contida no tanque é agitada para garantir a sua homogeneidade.

7 PREPARO DAS SOLUÇÕES DE LIMPEZA DO LEITO MISTO (1 E 2)

As resinas de troca iônica, que são responsáveis pelo tratamento mais refinado da água, ao final do processo, precisam ser regeneradas para manter certa eficiência no tratamento da água e mantê-la dentro dos padrões estabelecidos pela empresa.

7.1 Preparo da Solução Ácida

Uma solução à base de ácido clorídrico comercial (37%) é utilizada, normalmente. O objetivo da utilização dessa solução ácida é regenerar as resinas catiônicas do leito.

7.1.1 Solução de Ácido Clorídrico

Para preparar esta solução, utiliza-se o tanque D-201 de capacidade para 1000 L, primeiramente são adicionados entre 680 e 720 L de água deionizada e então é ligada a bomba com ácido clorídrico concentrado (37%) até serem adicionados entre 90 e 110 L de ácido. Esta solução fica circulando entre 10 e 20 min, só então são desligadas as bombas para que se possa utilizar novamente o leito regenerado. A quantidade de solução preparada (aproximadamente 800 L) serve para realizar duas regenerações.

7.2 Preparação da Solução Básica

O objetivo da utilização dessa solução básica é regenerar as resinas aniônicas do leito. É utilizado o tanque D-202 também com capacidade de 1000 L, são adicionados de 720 a 750 L de água deionizada, e então é adicionada soda cáustica (50%), entre 55 e 65 L, lentamente. Esta solução fica circulando entre 10 e 20 min, só então são desligadas as bombas para que se possa utilizar novamente o leito regenerado.

8 REGENERAÇÃO DO LEITO MISTO

A separação das resinas catiônicas e aniônicas é realizada por passagem de ar, para iniciar a regeneração, o leito misto saturado é retirado da linha de operação de produção de água deionizada e coloca-se o leito misto reserva em funcionamento. É drenada a água, primeiramente, depois é regulado o manômetro de introdução de ar entre 2,0 e 3,0 kgf/cm², mantendo sob agitação por 15 a 20 min. A pressão, então, é reduzida e as resinas separadas por um fluxo de ar, espera-se o esgotamento do leito para poder realizar a passagem da solução de ácido clorídrico preparada anteriormente. Após a passagem do ácido, é realizada a passagem da solução de soda cáustica. O tempo de exposição das soluções nas resinas deve ser controlado para aproximadamente 60 min (entre 50 e 70 min).

O esgotamento do leito é realizado, novamente, após a introdução da solução alcalina e uma passagem final de ar para a separação das resinas com introdução a uma pressão de 2,0 e 3,0 kgf/cm². Para remover a soda e o ácido do leito, após a introdução de ar, é realizada uma lavagem final, que dura entre 15 e 20 min de

operação, mas caso após o reinício do processo a condutividade elétrica da água esteja acima de $0,6 \mu\text{S}/\text{cm}$, continua-se a lavagem por mais um período. Essa lavagem consiste em uma limpeza com água previamente tratada, por isso é necessário que um dos sistemas de OI esteja em operação, pois a água desmineralizada produzida após a passagem pelas membranas de osmose inversa passa através do leito de resinas, removendo o excesso de ácido e base que ficaram retidos nas resinas e que iriam elevar a condutividade no pós-tratamento. Após essa lavagem com água, toda solução utilizada na regeneração, assim como a água de lavagem são descartadas como resíduo industrial.

9 NEUTRALIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DA REGENERAÇÃO E LIMPEZA

A neutralização das soluções de regeneração e limpeza serve para neutralizar as soluções das regenerações dos leitos mistos 1 e 2 e das limpezas químicas dos sistemas de OI 2 e 3. A faixa de descarte do pH para soluções neutralizadas é de 6,0 a 8,0.

Uma amostra da solução é coletada após a passagem pela OI ou pelo leito misto, e medido o pH com o auxílio de um pHmetro, caso esteja abaixo de 6,0 é então adicionada uma pequena quantidade de soda cáustica por meio de uma bomba, caso o pH esteja acima de 8,0 então é adicionada uma pequena quantidade de ácido clorídrico.

Uma vez que as soluções foram ajustadas para o pH adequado, estão prontas para serem encaminhadas para o tratamento de resíduo industrial, assim como todo concentrado produzido até dois dias após a limpeza, para evitar a contaminação da lagoa de estabilização.

10 ANÁLISE E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE OI

Realizar uma análise e controle sistemáticos dos parâmetros do processo é de extrema importância para estender a vida útil dos equipamentos empregados na osmose inversa. Parâmetros cruciais, como pH e teor de cloro livre, desempenham um papel fundamental não apenas na eficiência do processo, mas também na preservação da integridade das membranas e na prevenção de danos nos equipamentos. Essa abordagem proativa contribui significativamente para a maximização da durabilidade e eficácia operacional do sistema de osmose inversa.

10.1 pH

O controle de pH é automático e é realizado na alimentação das OI 2 e OI 3, um controlador monitora e corrige a água do sistema para uma faixa especificada de 7,0 a 8,5. A correção é feita através da adição de soda cáustica com o auxílio de uma bomba

de dosagem. O eletrodo de pH é trocado a cada 6 meses e os dados são preenchidos em um formulário.

10.2 Teor de Cloro Livre

A análise do teor de cloro livre tem como objetivo medir a quantidade de cloro livre residual antes e após a passagem pelo leito de carvão ativado, podendo ser verificada a eficiência deste meio filtrante. A medição é feita por intermédio de um kit (mcolortest, Merck, Alemanha) com cerca de 600 testes e limites de medição de 0,1 a 2 mg/L, o teste é composto por dois reagentes e um leitor de coloração resultante da reação com a amostra, apresentado na Figura 7.

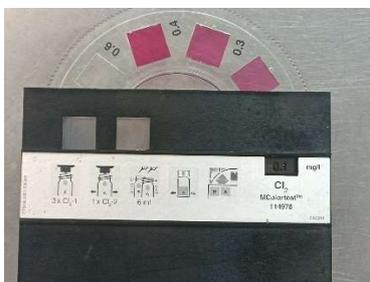


Figura 7: Kit utilizado pela empresa TDK Electronics do Brasil para o controle da concentração de cloro livre no pré-tratamento de água.

Fonte: TDK Electronics do Brasil LTDA.

Um frasco contendo 10 ml da prova em branco é colocado no compartimento do medidor com a marca do diamante voltada para o operador, cobre-se o frasco com a capa do dispositivo de teste e se faz a medida do “zero”. Na sequência coloca-se 10 ml da amostra no frasco e adiciona-se três gotas da solução 1 e uma gota da solução 2 (contém ácido sulfúrico). O limite de concentração de cloro na solução é de 0,4 mg/L, pois acima desse valor tem-se uma elevada degradação da membrana. Caso a água tenha uma concentração de cloro livre acima do limite especificado, é comunicado ao setor de tratamento de água prévio, e descartada a água para evitar o desgaste das membranas.

10.3 Turbidez

A turbidez é medida utilizando um espectrofotômetro (Pharo 300, Merck, Alemanha), a amostra é coletada em um frasco de 50 ml, e colocada em uma cubeta para realizar a leitura em NTU. É coletada uma amostra posterior aos primeiros filtros cartuchos e anterior a membrana de microfiltração.

O limite de turbidez é de 2,5 NTU, porém ela não é medida constantemente, fica em “stand by” enquanto não se tem nenhum indício de alguma mudança drástica na

qualidade da água, tanto visualmente, quanto controlando os parâmetros medidos na saída da ETA. Se a medição de turbidez for feita, e ela estiver acima do limite especificado, a ação de controle é avisar ao setor de tratamento de água e é rejeitada esta água com alta turbidez.

Vale ressaltar que a última vez em que foi medida a turbidez assiduamente foi quando o abastecimento deixou de ser feito pela ETA e passou a ser diretamente de um poço artesiano.

11 CALIBRAÇÃO DOS MEDIDORES DO SISTEMA DE OI

A calibração dos equipamentos de medição, como manômetros e pHmetros, em um sistema de osmose inversa, é fundamental para garantir a precisão e confiabilidade das medições. Isso é importante porque a eficácia do processo de osmose inversa está diretamente relacionada às condições operacionais e à qualidade das medições. Esses equipamentos de medição são divididos em dois tipos, os controlados pela parte laboratorial e química da empresa e os controlados pela parte de processo da empresa, com atribuições mecânicas.

11.1 Medidores Operacionais

Os medidores que estão sob a responsabilidade da área de processos, como termômetros, rotômetros e manômetros são calibrados uma vez por ano, sendo que a empresa tem pelo menos um medidor reserva para cada tipo, mas não para todas as posições. Os períodos de manutenção são revezados e é feito o agendamento com antecedência. Esses equipamentos são enviados para outro setor da empresa, chamado de “metrologia”, onde eles são calibrados.

A precisão nas leituras de pressão com os manômetros, os quais são usados para medir a pressão em diferentes estágios do sistema de osmose inversa, é fundamental para o controle do processo. Pressões precisas são essenciais para determinar a eficiência do processo, ao calibrar os manômetros assegura-se que as leituras sejam precisas, permitindo uma operação eficiente. Além disso, também é importante, pois a pressão é um dos fatores controlados para a realização de paradas automáticas e limpezas químicas, caso essas limpezas sejam feitas mais frequentemente que o necessário, haveria um desgaste maior das membranas e caso as limpezas fossem feitas em uma frequência abaixo da ideal, teria um aumento nas incrustações nas membranas, reduzindo, em ambos os casos, a vida útil das membranas.

11.2 Medidores Químicos

Os medidores que estão sob a responsabilidade do laboratório químico e da área da qualidade da empresa têm a sua manutenção realizada semestralmente, mas

diferente dos operacionais, eles não são substituídos por equipamentos reservas. O processo de manutenção só é iniciado após o preenchimento de pelo menos 20 m³ de água deionizada do valor máximo de 25,5 m³, para garantir que não irá faltar água deionizada para o processo de oxidação, torres de resfriamento e outros setores da empresa. A parada manual total é utilizada e um dos medidores, seja o pHmetro ou o condutivímetro é calibrado, sendo um deles por parada, e após a calibração este é recolocado no lugar e reiniciada a operação do sistema de osmose inversa.

O pH da água é um parâmetro importante em muitos processos de tratamento de água, incluindo a osmose inversa. A precisão nas leituras de pH é crucial para garantir que as condições de tratamento estejam dentro dos limites desejados para proteger a membrana e otimizar a remoção de contaminantes.

Entretanto, assim como os manômetros têm uma função essencial para o processo, os condutivímetros também estão associados às paradas automáticas dos sistemas de OI. Sendo assim, caso não estejam calibrados eles também vão interferir na frequência de limpeza das membranas. Além disso, a garantia da qualidade da água produzida pelo sistema de osmose inversa depende da precisão das medições, principalmente dos condutivímetros. A calibração dos instrumentos de medição ajuda a garantir que os parâmetros críticos estejam controlados para atender aos padrões de qualidade da água desejados.

12 ASPECTOS PASSÍVEIS DE APRIMORAMENTOS

Com base no estudo do sistema de tratamento de água por osmose inversa, foram identificados alguns aspectos que podem ser aprimorados com o objetivo de reduzir os custos. Isso inclui aumentar a vida útil das membranas, produzir água deionizada com a mesma qualidade ou superior, utilizar uma menor quantidade de produtos químicos e gerar menos efluentes. Essas melhorias visam não apenas otimizar o desempenho do sistema, mas também promover práticas mais sustentáveis e eficientes em termos de recursos.

Um ponto de aprimoramento no tratamento de água da empresa envolve a utilização mais frequente de equipamentos de verificação da eficiência do pré-tratamento da água de processo, como o SDI (Índice de Densidade de Sedimentos). Atualmente, esse equipamento é empregado apenas em situações em que a qualidade da água do Rio Gravataí está visivelmente comprometida.

O instrumento utilizado é simples, como pode ser observado na Figura 8, composto por uma válvula, um regulador de pressão e um filtro de 0,45 µm de tamanho de poro nominal (membrana de microfiltração). O procedimento de medição inicia-se ao conectar o aparato à rede e ajustar a reguladora de pressão para 30 psig. Em seguida, abre-se a válvula para coletar 500 ml de água, registrando o tempo (t_1) necessário para preencher o recipiente graduado.

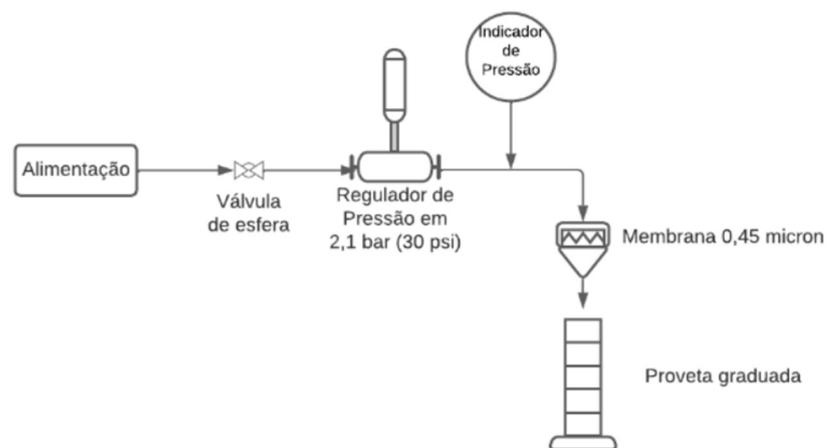


Figura 8: Fluxograma esquemático de um equipamento de teste de SDI utilizado para avaliar o pré-tratamento de água.

Fonte: Grupo EP.

Posteriormente, o equipamento é deixado em operação com água fluindo por um intervalo de tempo (t). Durante esse período, o filtro acumula sedimentos presentes na água, resultando em uma redução progressiva no fluxo. Ao completar o tempo especificado, realiza-se uma segunda medição do tempo (t_2) necessário para coletar novamente 500 ml.

$$SDI = \frac{100}{t} * \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right)$$

Se o valor de “ t_2 ” é for superior ao de “ t_1 ”, ocorreu a diminuição na vazão de água ao longo do tempo de uso, devido ao acúmulo de sedimentos no filtro.

Recomenda-se incorporar verificações mais regulares usando o SDI para avaliar continuamente a eficiência do pré-tratamento. Essa prática permite uma detecção mais precoce de potenciais problemas na qualidade da água, possibilitando a implementação de medidas corretivas proativas. Essa abordagem contribui significativamente para a manutenção consistente da qualidade da água ao longo do tempo, garantindo um processo de tratamento mais eficiente e confiável.

O uso de um filtro cartucho após a microfiltração é justificado como parte do controle de qualidade da água, especialmente durante a substituição da membrana saturada por uma nova. Embora esse filtro seja mantido ativo ao longo da vida útil da membrana, sua substituição ocorre no mesmo intervalo dos filtros posicionados antes da microfiltração.

É possível realizar um teste de SDI para avaliar a eficiência desse equipamento no processo, especialmente se houver dúvidas sobre sua contribuição contínua para a

qualidade da água. Se o teste revelar que o filtro cartucho tem uma eficácia limitada ou é redundante após um certo período de adaptação da nova membrana, considerar a implementação de um "by-pass", um desvio na tubulação, pode ser uma abordagem viável.

A introdução de um "by-pass", entre a microfiltração e a osmose inversa, permitiria desativar o filtro cartucho após um período estabelecido, otimizando a eficiência operacional e reduzindo custos associados à substituição regular do filtro

A limpeza química das membranas de osmose inversa também é passível de melhoria. Está sendo estudada a troca dos fornecedores e dos produtos químicos utilizados nas membranas, devido a um processo novo na empresa de cobrança de FISPQ (ficha de segurança de produtos químicos) das empresas que fornecem tais substâncias. O fornecedor atual tem diversos produtos com termos de confidencialidade e sigilo, o que dificulta para, em caso de acidente com tais produtos, o tratamento das possíveis lesões dos funcionários.

Um outro aprimoramento, atualmente em discussão interna, para os sistemas de osmose inversa (OI) da empresa, envolve a aquisição de um equipamento para automação do controle de cloro livre. Recentemente, uma fornecedora de equipamentos de laboratório fez uma visita à TDK, despertando interesse em novos equipamentos e tecnologias avançadas.

Essa iniciativa incluiu a substituição de alguns equipamentos desgastados. Estuda-se a implementação de um novo espectrofotômetro, que já foi testado e comprado por outro setor da empresa, no qual são preparadas as soluções eletrolíticas que integram o capacitor, e que poderia substituir o atual, utilizado para as medições dos testes das soluções eletrolíticas do setor "banhos", além de testes de qualidade da água do pré-tratamento da osmose inversa.

O reciclo de concentrado da OI 3 (0,5 m³/h) poderia ser destinado para a estação de tratamento de água, passando pela decantação e tratamento químico ou diretamente para o tanque de água clarificada, para ser utilizado como água potável, devido à sua concentração rica em sais minerais, como era feito antigamente com a totalidade do rejeito. Essa fração do concentrado ainda seria diluída antes de passar novamente pelo processo, minimizando a quantidade de rejeito produzido, reduzindo a possibilidade de se ter um passivo ambiental, assim como aumentando a eficiência do processo.

Uma outra mudança interessante seria a alteração do parâmetro avaliado para o término da limpeza do leito de zeólitas e de carvão. Atualmente, avalia-se a cor da água que está sendo descartada para finalizar ou dar continuidade ao processo de lavagem dos leitos. Poderia ser utilizada uma medida de turbidez para avaliar a limpeza, como forma de controle dessa água, evitando que resíduos não visíveis a olho nu passem despercebidos. A turbidez, que mensura a quantidade de partículas em suspensão na água, forneceria uma avaliação mais precisa da eficácia da limpeza, garantindo a

remoção adequada de impurezas e preservando a qualidade do leito filtrante. Essa abordagem baseada na turbidez pode aprimorar a eficiência do processo e contribuir para resultados mais consistentes e confiáveis.

Atualmente uma ação já está sendo colocada em prática, a atualização das normas relativas aos sistemas de osmose inversa. Após um longo período sem serem atualizadas, apesar de já terem sido alterados algumas partes essenciais do processo, como a troca de um leito de areia por um leito de zeólitas, ou a troca do fornecedor das soluções de limpeza, durante a realização deste trabalho, a equipe técnica do setor “banhos” se reuniu em diversas ocasiões para documentar tais alterações e mantê-las de acordo com a realidade do processo. A importância de documentar corretamente essas informações reside na garantia da conformidade com as práticas atualizadas, proporcionando um guia claro para a operação e manutenção do sistema de osmose inversa. Isso não apenas assegura a eficácia das práticas implementadas, mas também facilita a comunicação interna, treinamento de equipe e conformidade com padrões regulatórios que estão em constante evolução. Este esforço de atualização normativa reflete o compromisso contínuo da equipe em otimizar a eficiência operacional e garantir a qualidade do processo.

Outra ação tomada durante a realização deste trabalho de conclusão de curso foi a atualização e melhora na numeração das muitas válvulas utilizadas para o controle do sistema de OI. A numeração era confusa, fora de ordem e pouco intuitiva, sendo assim foram trocadas as placas próximas a essas válvulas e colocado um subtítulo informando o uso para facilitar a operação.

A aplicação de cursos para a especialização dos técnicos responsáveis pelo processo de tratamento da água é crucial para aprimorar suas habilidades e conhecimentos, bem como para otimizar o desempenho do sistema. Esses cursos oferecem uma oportunidade valiosa para a atualização e aprofundamento de competências técnicas específicas relacionadas à purificação da água. Como benefícios dessa iniciativa podem se destacar a melhoria da eficiência operacional, pois os cursos de especialização capacitam os técnicos a compreenderem melhor os princípios operacionais do processo de tratamento da água, resultando em uma operação mais eficiente. Assim como uma manutenção atualizada, técnicos bem treinados estarão mais aptos a realizar a manutenção preventiva e corretiva de maneira adequada, minimizando falhas no sistema e prolongando a vida útil dos componentes. A identificação e resolução de problemas também seria facilitada pela especialização, porque ela permite que os técnicos identifiquem e resolvam problemas de forma mais rápida e eficiente, reduzindo o tempo de inatividade do sistema. Com os avanços constantes na tecnologia de tratamento de água, cursos de especialização permitem que os técnicos se familiarizem com as inovações mais recentes e apliquem esses conhecimentos no contexto do processo de tratamento de água.

A formação especializada também abrange aspectos de segurança operacional, garantindo que os técnicos estejam cientes dos procedimentos adequados e das

melhores práticas para manter um ambiente de trabalho seguro. Em resumo, a aplicação de cursos para a especialização dos técnicos responsáveis pelos sistemas de OI é uma estratégia valiosa para garantir a eficácia operacional, a conformidade regulatória e a adaptabilidade às mudanças tecnológicas, contribuindo assim para a melhoria contínua do sistema de tratamento de água.

Atualmente, é realizada, apenas, a retrolavagem do leito de carvão ativado antes da substituição do leito, entretanto, é recomendável um estudo sobre a possibilidade de regenerar o sistema antes da troca integral deste leito. Com o tempo, o carvão ativado pode se saturar com as substâncias que adsorve e a regeneração visa restaurar a capacidade de adsorção do carvão ativado, removendo as impurezas acumuladas durante o processo de uso.

A regeneração contribui para prolongar a vida útil do leito de carvão ativado, o que é econômico, pois permite que o material seja utilizado por um período mais longo antes de precisar ser substituído, além de reduzir os custos operacionais associados à manutenção do sistema de tratamento. A regeneração do carvão ativado alinha-se com práticas sustentáveis, uma vez que reduz a quantidade de material descartado e contribui para a gestão ambiental responsável. Além disso, a regeneração ajuda a manter um desempenho consistente ao longo do tempo, o que é particularmente crucial em aplicações onde a remoção eficiente de substâncias é essencial.

13 POTENCIAIS APRIMORAMENTOS

Com base no estudo realizado foram identificadas áreas para aprimoramento no sistema de tratamento de água por osmose inversa. Recomendações específicas foram delineadas para otimizar o desempenho e a eficiência do processo e estão listadas a seguir.

- a) A análise mais profunda dos resultados do teste de eficiência do filtro cartucho é sugerida, visando compreender melhor seu impacto na qualidade da água. Isso permite avaliar a possibilidade de ajustes na frequência de substituição ou considerar alternativas mais eficientes.
- b) A verificação regular da eficiência dos pré-tratamentos com SDI. Recomendada a implementação de procedimentos mais frequentes para garantir detecção precisa de possíveis problemas na qualidade da água, permitindo respostas proativas.
- c) Recomenda-se a aquisição de equipamento para automação do controle de cloro livre. Isso proporcionará operação mais eficiente, garantindo conformidade com padrões de qualidade e segurança, reduzindo dependência de procedimentos manuais.
- d) Explorar a viabilidade de direcionar parte do concentrado da OI para a estação de tratamento de água. Isso reduzirá a quantidade de rejeito produzido e aproveitará sais minerais presentes, contribuindo para a eficiência global.

- e) A alteração do parâmetro avaliado para a limpeza de leitos, passando da cor para a turbidez. Isso garantirá avaliação mais precisa da eficácia da limpeza, evitando resíduos não visíveis a olho nu e preservando a qualidade do leito filtrante.
- f) Corroborar e manter a iniciativa de atualização das normas, destacando a importância de mantê-las alinhadas com práticas atualizadas e regulamentações vigentes. Assegurar comunicação clara, treinamento eficaz e conformidade com padrões é crucial para a operação consistente.
- g) Reforçar a necessidade contínua de investir na especialização dos técnicos. Isso não apenas melhora eficiência operacional, mas contribui para segurança, conformidade e adaptação às inovações tecnológicas.
- h) Estudo da possibilidade de realizar uma regeneração no leito de carvão ativado antes da troca e descarte do leito saturado. Isso acarretaria na economia com o prolongamento da vida útil do leito de carvão ativado, além da redução do passivo ambiental da empresa.

A implementação desses potenciais aprimoramentos busca não apenas reduzir custos, mas também promover práticas mais sustentáveis, eficientes e seguras no tratamento de água por osmose inversa. A contínua busca por excelência operacional é fundamental para assegurar a qualidade consistente do processo ao longo do tempo.

14 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Ao longo desta jornada de estudo e análise do sistema de tratamento de água por osmose inversa, foi possível aprofundar o entendimento sobre os processos envolvidos na produção de água deionizada. A observação minuciosa das práticas operacionais e a identificação de áreas passíveis de aprimoramento revelaram não apenas a complexidade do sistema, mas também oportunidades empolgantes para otimização e eficiência.

A importância crítica do controle de parâmetros como pH, teor de cloro livre e turbidez para a preservação das membranas e a qualidade da água tornou-se evidente. A automação desses processos, especialmente no controle de cloro livre, surge como uma medida que não apenas garantiria a conformidade com padrões rigorosos, mas também reduziria a dependência de intervenções manuais.

A proposta de avaliar mais profundamente a eficiência do filtro cartucho e incorporar verificações mais regulares do pré-tratamento com o Índice de Densidade de Sedimentos (SDI) sugere um compromisso contínuo com a qualidade da água e a prevenção proativa de problemas potenciais.

A consideração de direcionar o concentrado da osmose para a estação de tratamento de água, após análise e tratamento químico, não apenas reduziria os efluentes produzidos, mas também aproveitaria os sais minerais presentes, alinhando-se a práticas mais sustentáveis.

A atualização das normas e a ênfase na especialização dos técnicos demonstram um compromisso organizacional em manter-se alinhado com as práticas atualizadas e garantir operações eficientes e seguras.

A aplicação de uma proposta de regeneração do leito de carvão ativado poderia auxiliar no projeto de sustentabilidade da empresa, tanto econômica, quanto ambiental.

Finalmente, este estudo não apenas ampliou o conhecimento sobre os processos de osmose inversa, mas também instigou reflexões sobre a importância da inovação contínua, sustentabilidade e aprimoramento constante no cenário complexo do tratamento de água. Este aprendizado proporcionou não apenas “insights” valiosos para a operação específica em questão, mas também uma compreensão mais profunda das práticas gerais de tratamento de água.

REFERÊNCIAS

BAKER, R.W. **Membrane technology and applications**, Second Edition. ED. John Wiley & Sons Ltd, England, 2004. ISBN 0-470-85445-6.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processo de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E- papers, 2006.

MULDER, Marcel. **Basic principles of membrane technology**. 2th ed. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

ProMinent Brasil LTDA. **Data Book: Sistema de Osmose Reversa**. 3 volumes. São Paulo: 2015. Acervo técnico da empresa. DB-8416800014-0010-001.

TDK Electronics do Brasil. **Instrução de Qualidade Sistema de Osmose Reversa**. IQ-00335. Revisão 8. 2020.