

248 - OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTRAÇÃO: PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DA RETROLAVAGEM UTILIZANDO SINAL DE TURBIDEZ, PERDA DE CARGA E TEMPO

Allan Clemente de Souza ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental (UFC), e Doutor em engenharia civil com ênfase em saneamento ambiental (UFC). Engenheiro projetista da Coordenação de Projetos de Melhoria da Gerência de projetos (GPROJ-PME) da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

Herivanda Gomes de Almeida ⁽²⁾

Gestora ambiental (IFCE), e Doutora em engenharia civil com ênfase em saneamento ambiental (UFC). Coordenadora de Planejamento da Gerência de Controle de Perdas (GCOPE-PLA) da CAGECE

Eduardo da costa dos Santos ⁽³⁾

Engenheira Ambiental (UFC). Engenheiro projetista da Coordenação GPROJ-PME da CAGECE

Helísia Pessoa Linhares ⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental (UFC), Mestra em Meio Ambiente (IFCE). Analista de engenharia da Aegea Saneamento

Jackson Carlos Sousa Batista ⁽⁵⁾

Engenheiro Eletricista (UFERSA), Mestre em Engenharia Elétrica (UFERSA). Engenheiro projetista da Coordenação de Projetos da CAGECE GPROJ-PRJ.

Endereço ⁽¹⁾: Av. Lauro Viêira Chaves, 1030 - Vila União, Fortaleza - CE, 60422-700 - Brasil - Tel: +55 (85) 998490072 - e-mail: allan.clemente@cagece.com.br

RESUMO

Nas últimas décadas, o impacto das atividades humanas nos ecossistemas tem se intensificado, promovendo declínios rápidos, especialmente nos aquáticos, devido a fatores como mudanças climáticas e poluição. No Brasil, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) enfrentam desafios para manter a qualidade e eficiência no abastecimento público. A filtração, especialmente por meio de filtros rápidos de areia, representa um processo crucial para a remoção de turbidez e sólidos suspensos. Em sistemas de filtração direta, esses filtros frequentemente atuam como única barreira para garantir a qualidade da água tratada. Apesar de sua relevância, a operação eficiente de filtros rápidos de areia enfrenta limitações que incluem ciclos curtos de funcionamento e perdas na qualidade da água tratada em cenários adversos. Problemas como retrolavagens ineficazes levam à maior produção de água residual, redução no tempo de operação dos filtros e comprometimento da oferta de água potável. Além disso, o período inicial de operação dos filtros, conhecido como “amadurecimento”, pode permitir a passagem de partículas e microrganismos, comprometendo a eficiência do sistema. A ausência de padronização nos processos de lavagem e a dependência de ações manuais tornam os desafios operacionais ainda mais evidentes. Fatores como a particularidade da água bruta frequentemente são insuficientemente considerados em sistemas automáticos, e tecnologias baseadas em perda de carga ou tempo apresentam limitações que impactam o desempenho dos filtros. Este estudo propõe um sistema de lavagem automática para filtros rápidos de areia, com foco na padronização do processo e no controle de qualidade baseado em parâmetros como turbidez, perda de carga e tempo. A solução objetiva otimizar o desempenho dos filtros, aumentar a eficiência do tratamento de água e reduzir os custos operacionais, oferecendo uma abordagem viável e eficaz, especialmente para ETAs de filtração direta.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, tratamento de água, Filtração direta, retrolavagem de filtros rápidos, Estação de tratamento de Água.

INTRODUÇÃO

A filtração é essencial no tratamento de água, removendo sólidos suspensos e impurezas coloidais. No Brasil, o filtro rápido de areia é amplamente utilizado em estações de tratamento, seja após processos de clarificação ou como única barreira para remoção de turbidez. No entanto, esses sistemas ~~apresentam ciclos de operação cada vez mais curtos. Isso ocorre devido ao uso inadequado de taxas~~

de filtração e à piora na qualidade da água bruta, impactando diretamente a qualidade da água tratada.

Em condições ideais, a eficiência na redução de turbidez de um filtro excede 99,5%, porém, em condições desfavoráveis, esse valor pode diminuir para menos de 50%. Para evitar tais problemas, é essencial realizar a lavagem adequada das unidades de filtração. Após retrolavagem ineficiente, os valores de perda de carga no filtro são maiores que o normal, abreviando o tempo de operação eficiente do filtro (CAPRA; SCICOLONE, 2007). Uma diminuição nesse tempo, aumenta a quantidade de ciclos de retrolavagem, que repercute no aumento da quantidade de água residual e reduzem o volume de água potável que a planta fornece (ELS; PELZER; SCHUTTE, 2015). Esse fato pode causar interrupção dos serviços para população abastecidas por ETA de pequeno porte. Além disso, a alta frequência de lavagem também pode aumentar o número de partículas ou microrganismos que passam através leito imediatamente após sua retrolavagem. Esse problema ocorre durante o período conhecido como “amadurecimento” ou “maturação” dos filtros (AMBURGEY, 2005), e pode reduzir drasticamente a eficiência da ETA.

A retrolavagem dos filtros é de grande importância para manter o desempenho do filtro no longo prazo. Através controle aprimorado desse processo e da otimização da coagulação, pode-se reduzir inclusive os custos operacionais (YI; WEL; LI, 2008). A frequência de retrolavagem não depende apenas das características do meio filtrante. Dentre outros fatores, os períodos de lavagem sofrem muita influência das características da água bruta, principalmente do tipo de partículas (algas ou partículas inorgânicas) e taxa de filtração (CAPRA; SCICOLONE, 2007). Nesse sentido, mesmo com as melhoras dos resultados positivos com retrolavagem automática controlada pelo tempo ou pela perda de carga no filtro, a frequência insuficiente pode ocasionar a formação de poros grandes e interconectados, gerando caminhos preferenciais, que diminuem o desempenho do filtro (BESHR *et al.*, 2023). Quando isso acontece, a perda de carga no filtro é baixa e não pode ser usada como guia para retrolavagem.

Com base no exposto, para aprimorar o desempenho da etapa de filtração, é crucial considerar dois aspectos: a frequência e a qualidade do processo de lavagem dos filtros. No entanto, observa-se que em muitas estações, ambos os processos não são padronizados e dependem exclusivamente da ação do operador. Isso resulta em possíveis impactos negativos devido a mudanças nas circunstâncias operacionais. Portanto, o objetivo deste estudo é propor um sistema de lavagem automática que padronize o processo de retrolavagem, garantindo sua qualidade por meio do controle de turbidez, perda de carga ou tempo. Ao assegurar a qualidade do processo de limpeza dos filtros, torna-se mais fácil determinar a frequência de lavagem posteriormente, melhorando a eficiência geral do tratamento.

OBJETIVOS

Propor um sistema de lavagem automática que padronize o processo de retrolavagem, garantindo sua qualidade por meio do controle de turbidez, perda de carga ou tempo.

METODOLOGIA UTILIZADA

A área onde o estudo foi realizado foi na ETA Gavião, responsável por grande parte do abastecimento da cidade de Fortaleza e Região Metropolitana (Macro sistema de Distribuição), possui instalações na cidade de Pacatuba, próximas às margens do Açude Gavião e apresenta capacidade nominal de produção de 10 m³/s. O Açude Gavião foi construído no município de Pacatuba e faz parte do atual complexo dos açudes, ao qual estão integrados os açudes Pacoti/Riachão, Pacajus, Aracoiaba e o Canal do Trabalhador. Atualmente o açude encontra-se eutrofizado. O processo de tratamento de água inicia-se com a captação de água bruta do Açude Gavião, em seguida realiza-se a coagulação com a dosagem de PAC e polímero, a água coagulada segue para 3 câmaras de mistura rápida onde ocorre a dosagem de dióxido de cloro e ácido fluossilícico, após o processo de pré-oxidação a água é filtrada por meio de 16 filtros descendentes, a água filtrada recebe a dosagem final de cloro e é armazenada em um reservatório pulmão onde é bombeada pela estação elevatória de água tratada para diversas localidades.

A etapa de filtração da estação é composta por 16 filtros operam atualmente sob regime de taxas

declinantes variáveis, não havendo qualquer limitação da taxa máxima de filtração (filtro recém-lavado) e tampouco um critério apropriado para a retirada de um filtro de operação para a lavagem. As unidades estão dispostas em 2 baterias, cada qual formada por 8 unidades. As unidades filtrantes extremas de cada lado estão afastadas entre si por uma distância aproximada de 70 m, sendo essa então, a extensão de cada duto de filtrado junto aos filtros. Além desse ponto, os 2 dutos de filtrado se conectam a um só canal, seguindo por este até alcançar o reservatório-pulmão. O vertedor localizado entre este canal e o reservatório pulmão, estabelece o nível mínimo operacional dos filtros, que operam como vasos comunicantes.

É neste mesmo canal onde ocorre a pós cloração, funcionando o vertedor como mistura rápida e o reservatório como tanque de contato para desinfecção.

A estação elevatória de água para lavagem dos filtros é composta por três conjuntos motobomba (CMB) para lavagem ascensional e dois conjuntos para lavagem superficial. As características das motobombas para lavagem ascensional são: centrífuga de eixo vertical; fabricante da bomba é KSB; total de conjuntos é 3 (2+1); vazão de 3.402 m³/h (0,95 m³/s); altura manométrica total de 13 m.c.a e potência nominal do motor de 250 cv. Já os conjuntos motobomba para lavagem superficial apresenta as características: tipo centrífuga de eixo vertical; fabricante da bomba é KSB; número total de conjuntos é 2 (1+1); vazão de 1.296 m³/h (0,36 m³/s); altura manométrica total não disponível e potência nominal do motor de 350 cv.

Processo de lavagem atual é determinado com base na análise do operador, para auxiliá-lo na tomada de decisão existe um transmissor de perda de carga que registra a diferença de pressão entre a camada acima e abaixo do leito filtrante, existe também um transmissor de turbidez instalado na saída de água filtrada. Quando ocorre a saturação do elemento filtrante percebe-se o aumento na perda de carga, se o filtro permanecer operando pode ocorrer o transpasse do filtro, fazendo com que a perda de carga caia abruptamente. Para interromper a lavagem do filtro atualmente não existem instrumentos para auxiliar o operador na tomada de decisão, sendo a visão do operador o único meio para interpretar se é hora de cessar a lavagem dos filtros ou não, deste modo, será implementado uma sonda analítica de turbidez na saída da descarga de cada filtro para que seja padronizado o ponto de parada. Apenas um conjunto filtrante é lavado por vez, por meio de lavagem ascensional e superficial, conforme mencionado, existem duas elevatórias, uma para cada tipo de lavagem. Antes de iniciar o processo, a válvula que alimenta o filtro com água coagulada é fechada, a água remanescente é filtrada, após este período a válvula do canal de água filtrada é fechada e as válvulas de lavagem superficial, ascensional e descarga são abertas, até que o operador interrompa o processo quando julgar que a água de lavagem atingiu turbidez satisfatória.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A automação dos filtros será implementada por meio de Unidades Terminais Remotas (UTR), constituídas por Controlador Lógico Programável (CLP), Módulo serial para comunicação em rede *modbus* RTU, IHM, dispositivos de controle e proteção. A UTR Implementará a Supervisão e o Controle da operação do conjunto filtrante 01, composto por 5 válvulas com atuador elétrico, 2 analisadores de turbidez, 1 sensor de perda de carga. Esta UTR Funcionará no modo local, remoto manual e remoto automático definidos via painel de controle local. Propõe-se que, no modo remoto automático o início e o fim da lavagem dos filtros sejam automatizados. O início da lavagem poderá ocorrer mediante duas condições, a primeira condição é por tempo e a segunda será baseada nos valores de turbidez e perda de carga.

No critério por tempo, a equipe de operação irá definir um tempo limite para carreira de filtração, caso este tempo seja ultrapassado o filtro entrará para a fila de lavagem, tendo prioridade o filtro com maior carreira de filtração. No critério por parâmetros, a lavagem do filtro deverá iniciar antes do ponto de transpasse, que é definido por um valor de turbidez e um valor de perda de carga. Durante a etapa inicial da carreira de filtração a turbidez atinge valores elevados uma vez que o leito filtrante se encontra em fase acomodação, este período deve ser visto com atenção e não pode ser confundido com os pós transpasse. A Figura 1 exibe o comportamento da turbidez e a perda de carga durante uma carreira de filtração.

No modo local manual o acionamento das válvulas e das elevatórias serão realizados via painel de comando local e no modo remoto manual serão realizados via SCADA. Os transdutores de pressão diferencial adotados para aferir a perda de carga em todos os filtros da ETA estão obsoletos e devem ser substituídos. Os turbidímetros existentes deverão ser substituídos por novos, e integrados através

de controladores multiparâmetros com porta de comunicação Modbus-RTU, a fim de possibilitar a supervisão dos mesmos, via Modbus-RTU.

Atualmente, cada filtro é controlado via mesa de comando, que são constituídas por botões de comando, para abertura e fechamento das válvulas, bem como, displays digitais que exibem o valor da perda de carga do filtro e a turbidez da água filtrada. As mesas de comando atuais deverão ser substituídas por IHMs Touch de 12”, deste modo, o controle local passará a ser realizado por meio da IHM. Para cada filtro existirá uma UTR, com sua respectiva IHM conectada ao CLP via Ethernet.

A operação das válvulas deverá ser realizada de modo sequencial, para iniciar o procedimento de lavagem dos filtros, deve-se primeiramente fechar a válvula de admissão de água coagulada, após isto, deve-se esperar um tempo definido pelo operador, para fechar a válvula de saída de água filtrada, o procedimento é continuado com a abertura da válvula de descarga, e em seguida deve-se abrir as válvulas de lavagem ascensional e superficial.

Decorrido o tempo de lavagem ou a indicação de parâmetros conformes, o procedimento para cessar a lavagem se inicia com o fechamento das válvulas de lavagem superficial e ascensional, deve-se aguardar um tempo para que a água proveniente da lavagem seja drenada pela descarga, após isto deve-se fechar a válvula de descarga e seguir com a abertura da válvula de água filtrada e consequentemente a abertura da válvula de admissão água coagulada. O procedimento operacional sequencial está representado nas Figuras 1 a 4.

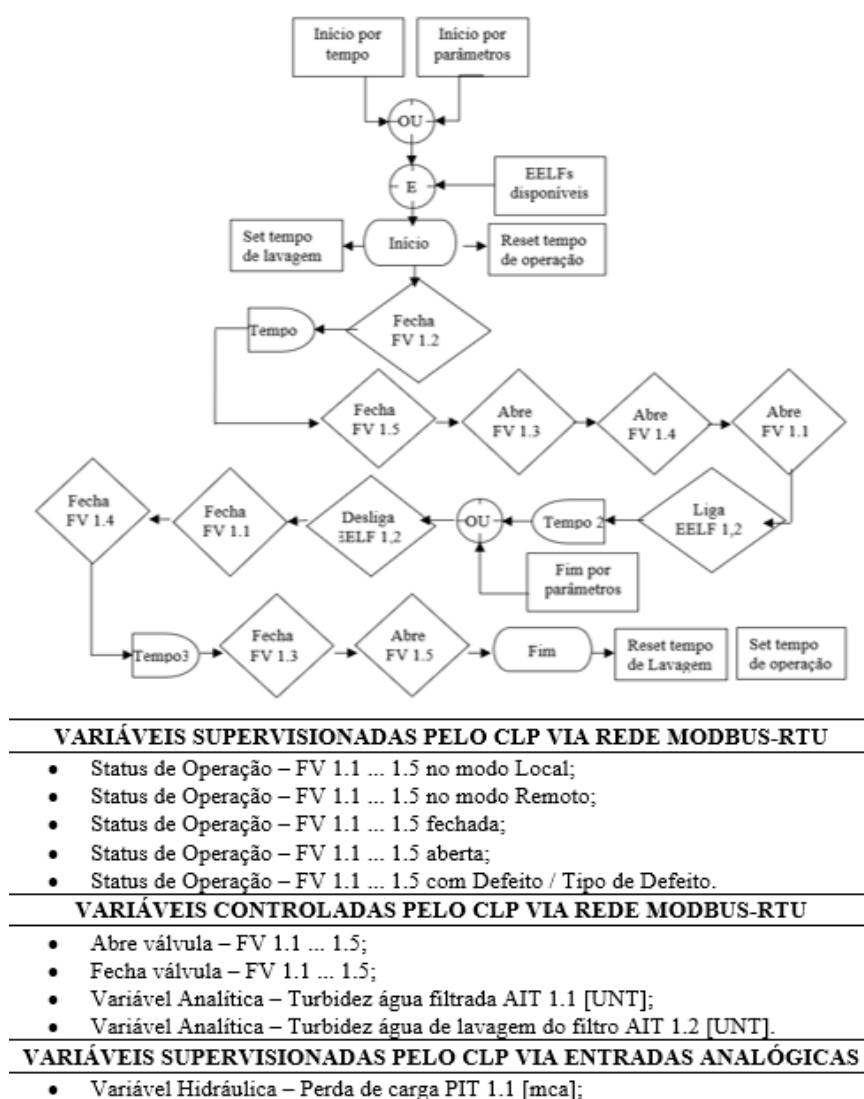


Figura 1 – Fluxograma operacional do Filtro em modo automático

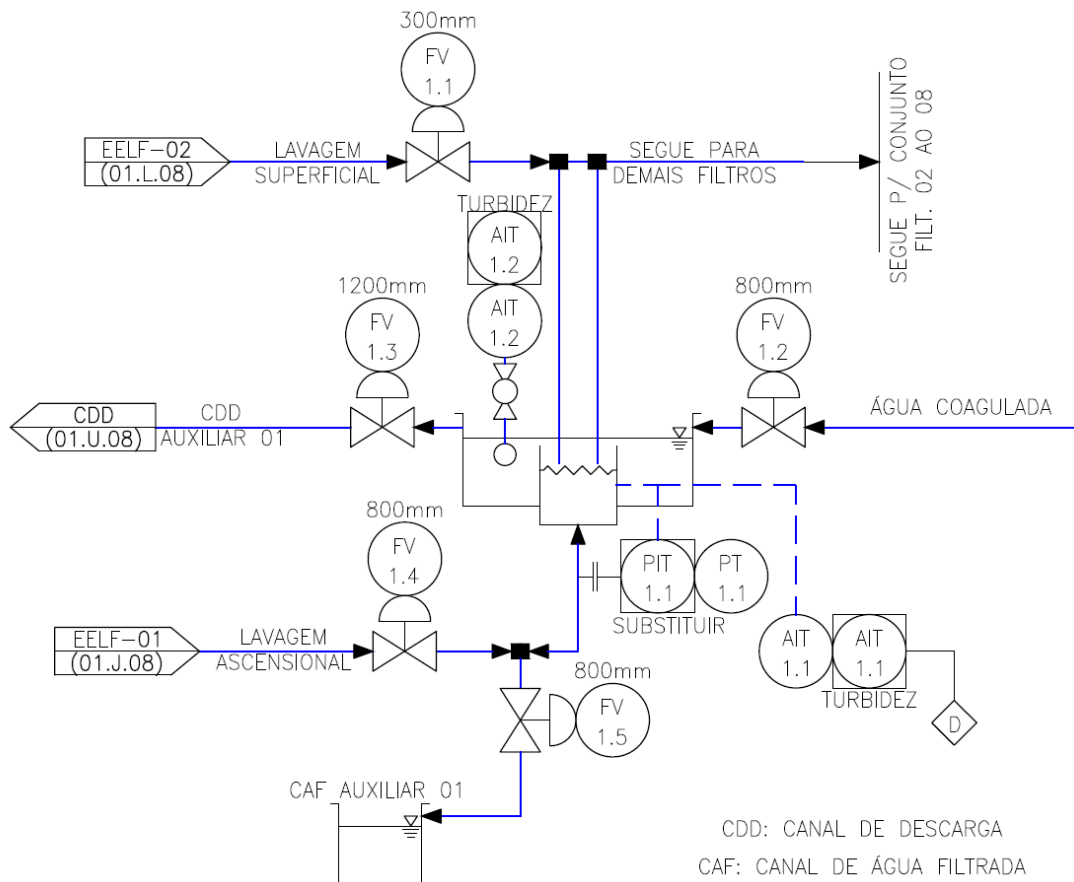


Figura 2 - Diagrama P&ID Lavagem de Filtros

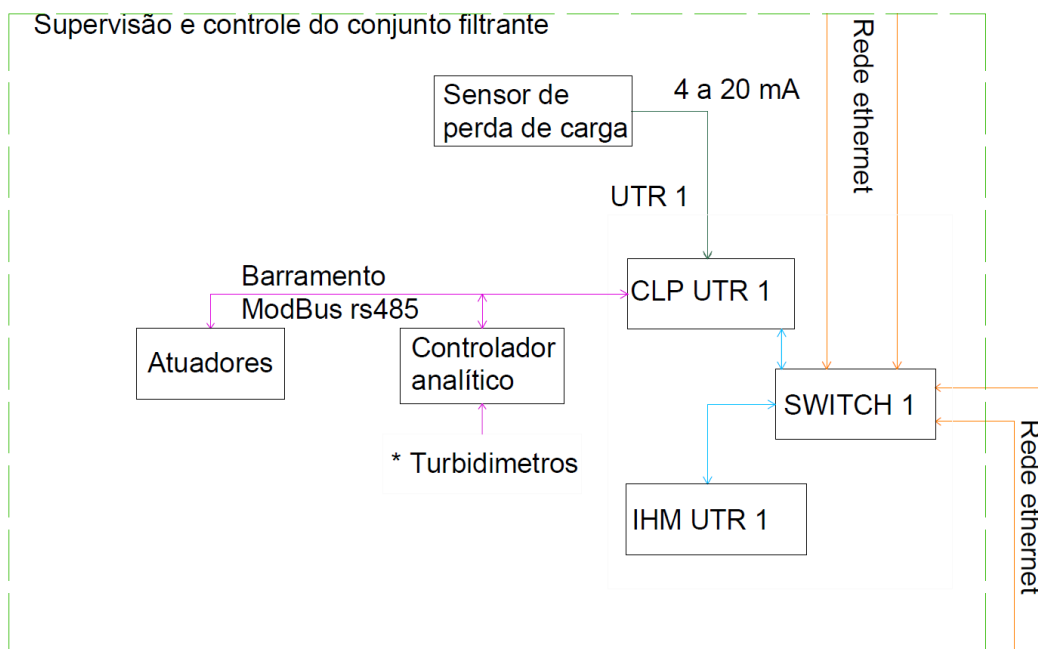
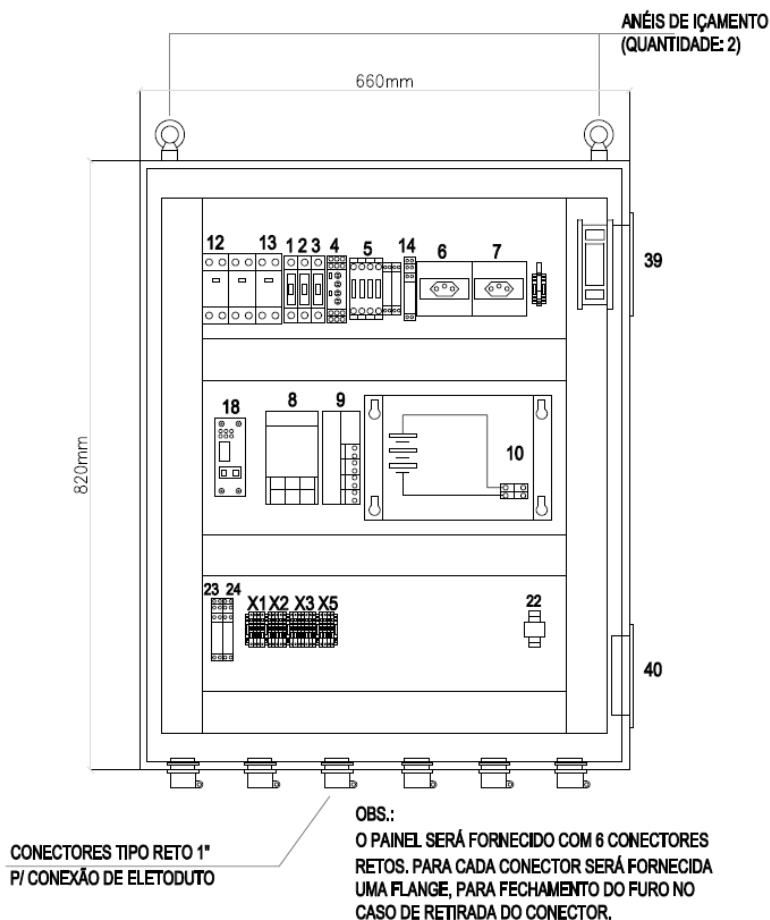


Figura 3 - Diagrama de rede



**VISTA FRONTAL EXTERNA
C/ PORTA ABERTA**

| LISTA BÁSICA DE PEÇAS | | | | | |
|-----------------------|---------|------------------------------|---|---|-------|
| ITEM | PEÇA | DESCRIÇÃO GERAL | CARACTERÍSTICA PRINCIPAL (*) | FUNÇÃO | FOLHA |
| 1 | D1 | DISJUNTOR MONOPOLAR | 250 VCA / 10A | PROTEÇÃO E DISJUNÇÃO – CIRCUITO DE COMANDO | 1/6 |
| 2 | D2 | DISJUNTOR MONOPOLAR | 250 VCA / 10A | PROTEÇÃO E DISJUNÇÃO – CIRCUITO DA TOMADA | |
| 3 | D3 | DISJUNTOR MONOPOLAR | 250 VCA / 10A | | |
| 4 | RST1F | RELÉ SUPERVISÃO MONOFÁSICO | 250 VCA / 1NA + 1NF REVERSÍVEL | PROTEÇÃO CONTRA FALTA DE FASE / SUPERVISÃO DE FASE | |
| 5 | KEN1 | CONTACTOR TRIFÁSICO | BOBINA 230VCA / IN 12A / CONTATOS 2NA + 2NF | ALIMENTAÇÃO GERAL DO CIRCUITO DE COMANDO | |
| 6 | T1 | TOMADA 2P+T/250VAC/10A | MONTAGEM EM TRILHO DIN | CIRCUITO AUXILIAR | |
| 7 | T2 | TOMADA 2P+T/250VAC/10A | MONTAGEM EM TRILHO DIN | ALIMENTAÇÃO DO CIRCUITO DE COMANDO | |
| 8 | F1 | FORNECEDOR DE TENSÃO | 24 VCC / 10A | ALIMENTA O CIRCUITO DE COMANDO | |
| 9 | UPS1 | MÓDULO UPS | 24 VCC / 15A | ALIMENTAÇÃO EMERGENCIAL DO CIRCUITO DE COMANDO | |
| 10 | B1 | MÓDULO BATERIA | 24 VCC / 12Ah | ALIMENTAÇÃO EMERGENCIAL DO CIRCUITO DE COMANDO | |
| 11 | L1 | LUMINÁRIA LED/PAINEL | 24 VCC / 5W | ILUMINAÇÃO INTERNA DO PAINEL | |
| 12 | PS-1/2 | PROTETOR DE SURTO | CLASSE I+II | TRIFÁSICO / PROTEÇÃO ALIMENTAÇÃO DO PAINEL ATERRAMENTO TNS | |
| 13 | PS-1 | PROTETOR DE SURTO | CLASSE II | MONOFÁSICO / PROTEÇÃO ALIMENTAÇÃO DO PAINEL ATERRAMENTO TNS | |
| 14 | RAC1 | BORNE-RELE | 220 VCA / 24 VCC | DETECTA STATUS DE COMANDO ENERGIZADO | |
| 15 | CFC | CHAVE FIM DE CURSO | 1NA / 1 A | DETECTA STATUS DE PORTA ABERTA/FECHADA | |
| 16 | BPE | BARRA DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO | BARRA EM COBRE | EQUIPOTENCIALIZA PARTES METÁLICAS AO ATERRAMENTO | |
| 18 | RTP/IoT | ROTEADOR 4G PROGRAMÁVEL | 1 PORTA MOBUS + 2 ETHERNET + 2DO + 2 DI | LINK DE COMUNICAÇÃO EM 4G | 2/6 |
| 22 | PS-RF1 | PROTETOR DE SURTO | TIPO CENTELHADOR COAXIAL | PROTEÇÃO DO ROTEADOR RTP/IoT / RÁDIO MODEM | 3/6 |
| 23 | RCA1 | BORNES-RELÉ C/ RODA LIVRE | 24 VCC / 250 VCA / CONTATO SECO 1A | ACOPLAMENTO EXTERNO SAÍDA DIGITAL 1 | |
| 24 | RCA2 | BORNES-RELÉ C/ RODA LIVRE | 24 VCC / 250 VCA / CONTATO SECO 1A | ACOPLAMENTO EXTERNO SAÍDA DIGITAL 2 | |
| 39 | EX1 | CONJUNTO DE VENTILAÇÃO | 24 VCC / 5 W / 70 m3/h / IP54 | EXAUSTÃO AR P/ FORA DO PAINEL – CONJUNTO VENTILADOR + GRELHA + FILTRO | – |
| 40 | EA1 | CONJUNTO DE VENTILAÇÃO | Qnom = 70 m3/h | ADMISSÃO AR P/ DENTRO DO PAINEL – CONJUNTO VENTILADOR + GRELHA + FILTRO | – |
| 41 | FE1 | FECHO CREMONA MAÇANETA L | COM VARÃO ROLDANA E CHAVE | FECHAMENTO DO PAINEL | – |
| 42 | IHM | IHM COLORIDA | TELA TOUCH 10,1" / ETHERNET | INDICAÇÃO DE VARIÁVEIS E COMANDO LOCAL | 2/6 |

(*) AS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS EQUIPAMENTOS ESTÃO APRESENTADAS NAS ESPECIFICAÇÕES MÍNIMAS DA NORMA.

Figura 4 - Layout da Unidade Terminal Remonta (UTR) e lista de peças

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A implementação do sistema de lavagem automática de filtros rápidos representa um avanço significativo na padronização e no controle do processo de retrolavagem, promovendo maior eficiência operacional e segurança no fornecimento de água tratada. A adoção de critérios objetivos baseados na perda de carga, na turbidez e no tempo de operação permite eliminar o viés subjetivo do operador, conferindo ao sistema capacidade de resposta dinâmica mesmo diante das variações nas características da água bruta. Espera-se, com isso, a redução no consumo de água tratada para lavagem, menor desperdício energético e aumento da vida útil dos filtros, além de minimizar os impactos associados ao período de maturação pós-lavagem, que pode comprometer a qualidade da água filtrada. A modernização dos instrumentos de medição, aliada à automação por meio de CLPs, IHMs e comunicação via protocolo Modbus-RTU, constitui uma base sólida para a operação eficiente e segura do sistema, com possibilidade de integração futura a sistemas supervisórios (SCADA) em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBURGEY, J. E. Optimization of the extended terminal subfluidization wash (ETSW) filter backwashing procedure. **Water Research**, v. 39, n. 2–3, p. 314–330, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.09.020>

BESHR, S.; MOUSTAFA, M.; FAYED, M.; ALY, S. Evaluation of water consumption in rapid sand filters backwashed under varied physical conditions. **Alexandria Engineering Journal**, v. 64, p. 601–613, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.08.048>

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 16, p. 1529–1534, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.032>

ELS, L. A.; PELZER, R.; SCHUTTE, A. J. Load management on a municipal water treatment plant. **Proceedings of the Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy, ICUE**, v. 2015-Septe, p. 187–190, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICUE.2015.7280267>

IPBES. **Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services**. [S. l.: s. n.]. v. 45E-book. Disponível em: <https://zenodo.org/record/3553579#.YfmYTerMI2w>

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água - 3º Edição**. [S. l.: s. n.].

YI, X. N.; WEI, Q. M.; LI, C. G. The BP network model for the control of the coagulation and the filter backwashing system. **2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, iCBBE 2008**, p. 1518–1521, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2008.709>