

O AUMENTO DE EFICIÊNCIA E SEGURANÇA DA OPERAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR BIORREATOR POR MEMBRANAS USANDO MONITORAMENTO REMOTO EM TEMPO REAL COM TECNOLOGIA INTERNET DAS COISAS INDUSTRIAL (IIOT)

Marcelo Martinez Ramos⁽¹⁾

Engenheiro Mecânico com especialização em Motores a Combustão Interna e Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Com ampla experiência em soluções de automação para diversos setores da indústria, incluindo desenvolvimento de hardware e software, é CEO da Above-Net e criador do Bridgemeter, uma solução universal de IIoT Industrial com análise preditiva em tempo real composta de hardware proprietário industrial de baixo custo e um sistema parametrizável para qualquer aplicação crítica.

José Alfredo Mattio⁽²⁾

Engenheiro Químico, especialista em saneamento ambiental, inscrito no banco de peritos do CRQ IV região de SP, tem mais de 30 anos de experiência no segmento de meio ambiente tendo gerenciado equipes corporativas em empresas multinacionais como Air Liquide e White Martins onde adquiriu conhecimento de processos, mercado e realização de negócios, atua como membership na International Water Association (IWA) e Water Environment Federation (WEF)

Endereço⁽¹⁾: Rua Visconde de Itaúna, 208 – Jardim Botânico – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22460-140 - Brasil - Tel: +55 (21) 2294-3931 R.101 - Fax: +55 (21) 2294-3931- e-mail: mramos@abovenet.com.

RESUMO

O uso de monitoramento utilizando IIoT (“Internet das Coisas Industrial”) em aplicações de saneamento tem sido abordado constantemente, porém sabe-se pouco sobre vantagens destes sistemas. Esse trabalho visa analisar os ganhos da operação - através da telemetria das pressões, do volume e das correntes - de uma estação de tratamento de efluentes com tecnologia de membranas em um terminal rodoviário no Brasil.

A estação de tratamento operava manualmente com suporte esporádico local, coleta de dados de forma retrospectiva das informações dos instrumentos analógicos e do CLP (Controlador Lógico Programável) durante visitas programadas. A inspeção era realizada para resolver problemas de forma corretiva até a próxima inspeção.

Esse perfil de verificação, no entanto, se mostrava ineficaz e gerava altos custos com a quebra de membranas. Por se tratar de dispositivos extremamente sensíveis, foram instalados sensores de pressão negativa das membranas, recalque, corrente das bombas, hidrômetro, entre outros.

O monitoramento permitiu o cruzamento das informações e a visualização de problemas e alarmes, em tempo real, com ação antecipada para correção de forma imediata. Paradas inesperadas foram reduzidas em 27%, aumentando a produtividade em 30%; a pressão de trabalho da membrana foi monitorada para a faixa adequada aumentando sua vida útil em 30%.

PALAVRAS-CHAVE: IOT Industrial, Telemetria em Saneamento, Monitoramento de ETE

INTRODUÇÃO

Além da água ser um elemento essencial em nossas vidas e em processos industriais, ela é primordial para energia, transporte de minerais e substâncias em geral. Infelizmente, apesar de sua abundância na superfície terrestre, seu uso indiscriminado pode acarretar a sua escassez.

Devido a constante preocupação sobre a economia de água e restrições da legislação, metodologias para seu reuso têm sido um assunto muito discutido mundialmente. Uma alternativa é integrar o reuso de forma automática à outro processo que necessite menor qualidade de água- o que permitiria uma economia de água significativa, além de preservar as fontes de suprimento.

Um método que possibilita esse tratamento da água para reuso é a associação da tecnologia de separação por membranas ao processo convencional de lodos ativados. O conjunto de processos é denominado Biorreator com Membranas (MBR).

A integração da tecnologia de separação por membranas em processos convencionais de lodos ativados representa uma inovação extremamente importante na evolução da tecnologia de tratamento biológico de efluentes. Em comparação com as técnicas convencionais, os reatores com membranas produzem efluente de melhor qualidade, uma vez que retém completamente a biomassa. Isso torna possível o controle do tempo de retenção celular de forma independente do tempo de retenção hidráulica. Além disso, a degradação dos poluentes é muito mais eficiente em função da maior concentração de microrganismos no sistema.

Comparando com as estações de tratamento convencionais, as unidades MBR são extremamente compactas. Esse aspecto é particularmente importante para as grandes metrópoles, já que o espaço físico disponível para a instalação de unidades de tratamento de esgoto sanitário, ou mesmo industrial, é bastante reduzido. Quando comparado com o tratamento biológico convencional, o sistema de biorreatores com membranas apresenta uma baixa produção de lodo e uma maior resistência às flutuações da alimentação.

Entre todas essas vantagens, a que mais se destaca é a capacidade de obter um efluente tratado com uma excepcional qualidade que pode ser reutilizada no processo produtivo, diminuindo, desta forma, a captação de água e a geração de efluentes.

Entretanto, uma das principais limitações dos processos de separação por membranas continua sendo a formação de incrustações - o que tem como consequência: a redução do fluxo permeado, um alto consumo de energia e a necessidade de limpezas frequentes das membranas ou mesmo a substituição das mesmas.

OBJETIVO

Se por um lado instalações compactas representam uma redução de custos e de viabilidade técnica, a falta de infraestrutura local e inexistência de um time de manutenção dedicado inviabilizam a presença de uma equipe - em tempo integral - para o monitoramento dos parâmetros e a correção das falhas inerentes à automação da estação de tratamento.

Na prática, o operador de uma estação de tratamento MBR só tem acesso ao sistema de automação e informações durante sua visita programada de manutenção. Caso ocorra um desvio dos parâmetros ideais de operação, por questões de segurança, o sistema interromperá ou reduzirá o ciclo do tratamento - o que fomentará a diminuição substancial do volume de água tratada e principalmente da vida útil das membranas.

Esse trabalho visa estudar, analisar e discutir o ganho de produtividade e segurança, alcançado pelo monitoramento remoto em tempo real de determinados parâmetros da estação de tratamento. O monitoramento possibilita a identificação imediata dos limites de operação e detecção de defeitos - o que visa o pronto restabelecimento da operação e maximização da produção de água tratada, além do aumento da vida útil das membranas.

METODOLOGIA UTILIZADA

As Tabelas 1 e 2 a seguir apresentam uma breve descrição das características da estação de tratamento, assim como as fases e monitoramentos instalados para descrição da metodologia utilizada.

A estação em estudo usa tecnologia MBR e tem capacidade para tratar 40m³/dia com as seguintes características de entrada e saída (características físico-químicas).¹

Tabela 1: Tabela de dados de entrada ETE (Características físico-químicas)¹

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	770	mg/L
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	350	mg/L
Sólidos Suspensos Totais (SST)	250	mg/L
Temperatura	25	°C
pH	7	

Tabela 2: Tabela de dados de saída ETE (Características físico-químicas)¹

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	10	mg/L
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	5	mg/L
Sólidos Suspensos Totais (SST)	5	mg/L
Temperatura	25	°C
pH	7	

O tratamento se subdivide em 3 etapas: tratamento preliminar, secundário e terciário.

Na primeira etapa, ou etapa preliminar, o efluente não tratado e gerado no empreendimento reúne-se em um tanque (Elevatória 1) que conta com duas bombas de recalque. As bombas servem de elevatória do esgoto para a próxima etapa. O material segue, então, para a peneira estática - que é um dispositivo utilizado para retenção e separação de sólidos em suspensão do efluente e contém uma malha de 2,0 mm.

O líquido contendo os sólidos a serem separados transborda em forma contínua através de um vertedor para a superfície de uma tela inclinada, onde vaza pelas aberturas. Nessa tela, os sólidos são retidos e levados, por gravidade, para a base do equipamento. Isto é feito silenciosamente e sem partes móveis, assim reduzindo o atrito nos equipamentos auxiliares e aproveitando as cargas sólidas.

Em seguida, o material segue para a caixa de gordura. Essa caixa remove os óleos e as graxas existentes no efluente que possam provocar problemas ao sistema. A partir do fenômeno denominado flotação, a gordura presente no esgoto ascende, suspendendo-se para a superfície do nível de efluente do equipamento, para posterior remoção. Essa ação se dá pela diferença de densidade entre a água e a gordura - o que facilita sua separação. Os dispositivos de remoção de gordura devem ter condições favoráveis à retenção da gordura e subsequente remoção.

O efluente reúne-se na sequência em um tanque que conta com duas bombas de recalque (Elevatória 2), que servem de elevatória do esgoto para a próxima etapa.

Finalmente, completando a última etapa do processo preliminar, o efluente proveniente da Elevatória 2 segue para o tanque de equalização a fim de uniformizar a carga, a temperatura, o pH e adequar-se ao volume médio a ser tratado na etapa biológica da ETE. Um soprador de ar promove a mistura dentro do tanque de equalização.

A segunda etapa constitui-se do tratamento biológico e é de maior interesse para esse trabalho, pois contém o tanque da membrana MBR. Essa etapa se inicia no tanque de aeração (óxico) - unidade responsável pelo processo biológico de remoção de carga orgânica e de nitrificação, que conterà um sistema de aeração.

O efluente segue para o tanque da membrana MBR - onde as membranas microporosas realizam um processo de microfiltração-, o que permite apenas a passagem de água, alguns íons e moléculas de baixo peso molecular, barrando os sólidos e bactérias.

No próximo passo, o tanque de permeado e retro lavagem da membrana receberá o efluente permeado no sistema MBR, que poderá seguir para o tanque de reuso ou alternativamente ser usado para a retro lavagem da membrana.

Finalmente, o tratamento terciário efetua o processo de desinfecção onde será adotada como processo de desinfecção do efluente tratado.

Quando o hipoclorito de sódio é adicionado à água, ele reage formando o ácido hipocloroso. Um tempo de contato de 15 a 30 minutos é importante para que esse composto atue na remoção e inativação de bactérias e outros micro-organismos patogênicos.

Uma dosadora será utilizada para dosar o produto em linha e a desinfecção será feita no tanque de reuso.

Em todo o processo apresentado, conforme citado anteriormente, a membrana é o componente crítico pela tecnologia de separação sólido-líquido que pode ser usada para filtrar várias fontes de água contaminada e permear água de alta qualidade.

Em cada módulo de membrana há várias placas planas de membrana incorporadas e que agem como uma barreira física à água contaminada. Enquanto os módulos são submergidos diretamente na água a ser tratada, uma bomba de sucção retira a água filtrada em um fluxo que na membrana ocorre de fora para dentro.¹

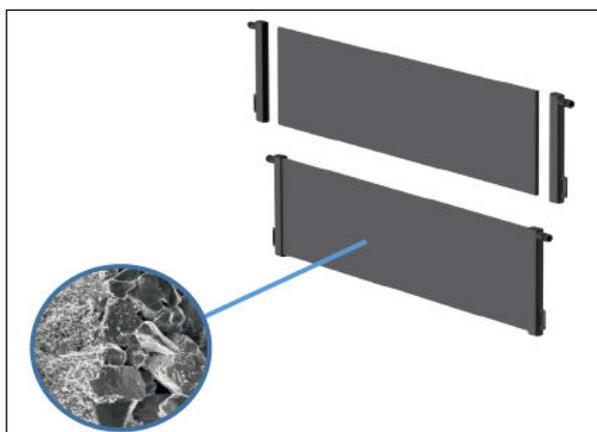


Figura 1: Membrana de placa plana¹

As membranas de placas planas são montadas individualmente em um módulo, no total, composto de 6 m² de área de superfície da membrana. Os módulos são submersíveis e funcionam como blocos modulares que podem ser empilhados individualmente em cima do outro - de até 15 módulos no total.

A área de superfície da membrana é o fator determinante para a capacidade da instalação, mais área de superfície do fluxo mais através da planta.¹

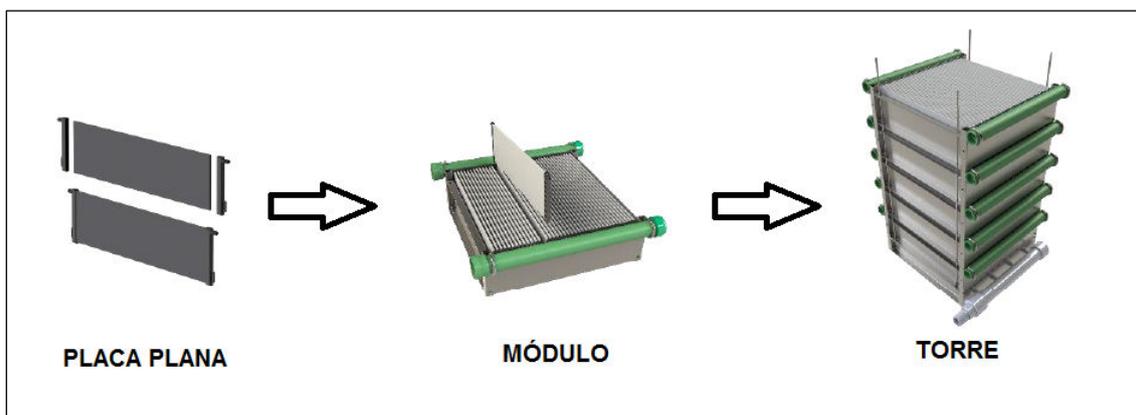


Figura 2: Ilustração da montagem do módulo e torre da membrana¹

A estação de tratamento considerada possui no tanque de membrana uma torre de filtração com 5 módulos de membrana sobrepostos, totalizando 5 módulos e 30 m² de área de superfície.

Quando a planta é inicializada com água pura, o monitoramento do fluxo crítico permite ao usuário ver em que condições o sistema de membrana opera com capacidade máxima sem aplicar esforços indesejados à membrana.

Durante o aumento incremental na taxa de fluxo, a resposta de fluxo/pressão transmembrana (TMP) é monitorada.

Enquanto - inicialmente - o fluxo baixo e operação estável são observados, uma incrustação relevante será vista ao se exceder uma determinada taxa de fluxo, sendo a incrustação definida como uma diminuição da permeabilidade da membrana (L/m²/h/bar com o tempo). Portanto, durante este teste, identifica-se qual é o maior fluxo possível sem ocorrência de incrustação.¹

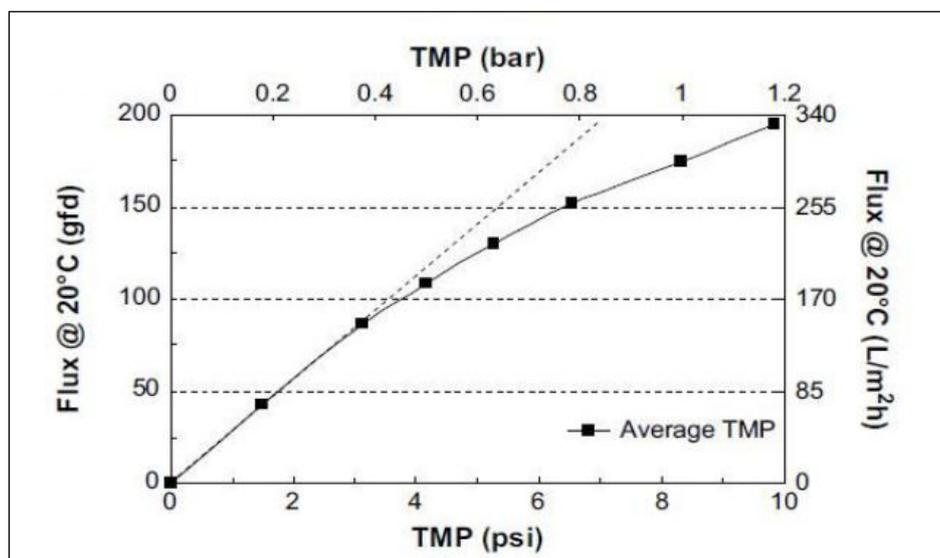


Figura 3: Teste de fluxo crítico durante a filtração.
 Valores para pressão de sucção, ou seja, valores negativos¹

Foram instalados como parte da solução de monitoramento de IoT Industrial na estação de tratamento: sensores de vácuo da membrana, sensores de corrente da bomba de recalque e retrolavagem e um hidrômetro digital, para medição da pressão negativa (TMP) correntes das bombas, e fluxo da produção de efluente - respectivamente.¹



Figura 4: Sensores de pressão negativa e recalque instalados na estação de tratamento de efluentes²

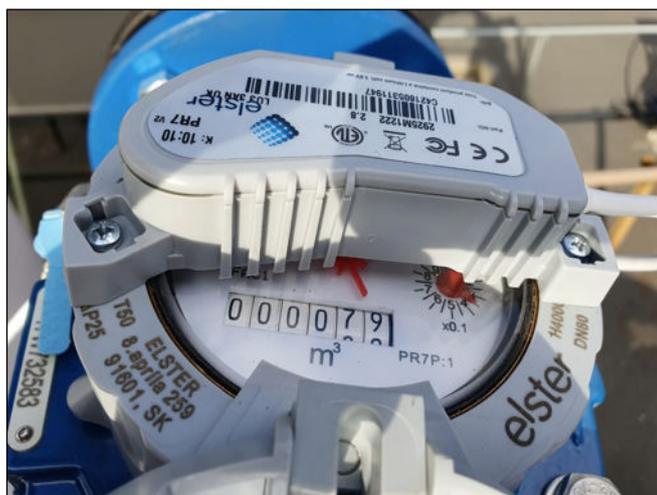


Figura 5: Hidrômetro com sensor digital para medição de fluxo da produção da estação de tratamento²

De acordo com as especificações do fabricante e características técnicas da estação de tratamento, a produção ideal é de 3500 L/h e a pressão de sucção transmembrana ideal (TMP) é de -0,4 bar a -0.5 bar. É recomendado não ultrapassar esses valores para evitar incrustações e esforços excessivos. ¹

RESULTADOS OBTIDOS

A partir das informações operacionais do fabricante, foram criados alarmes com condições cruzadas para que o sistema pudesse interpolar o cruzamento de vários parâmetros em substituição a sensores não existentes. Como exemplo, não há como medir o nível de incrustação da membrana através de um sensor dedicado. Entretanto, através do cruzamento da medição de corrente da bomba e da pressão transmembrana TMP, o sistema avisa as faixas correspondentes à: 1- Membrana Limpa, 2- Membrana Parcialmente Incrustada e 3 – Membrana Incrustada. Além disso a pressão máxima permitida é constantemente monitorada. A Figura 6 demonstra um dos painéis do sistema. Por meio desse, é possível realizar a leitura imediata dos valores coletados para identificação de problemas.

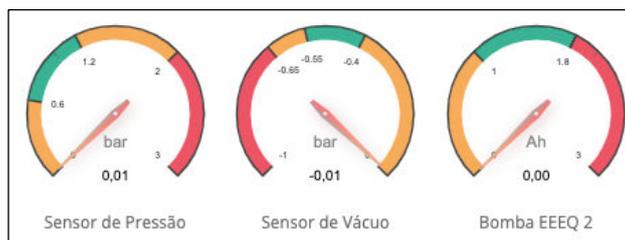


Figura 6: Painel com Informações de Pressão de Recalque, Pressão Transmembrana MBR e Corrente da Bomba. ²

Através de um painel de controle intuitivo, pode-se verificar - em tempo real - todos os parâmetros, além de valores acumulados de produção de efluente durante o período, com gráficos de tendências dos processos. Isso permitiu o ajuste fino de diversos parâmetros para estabelecer um fluxo de operação dentro do perfil requerido, obedecendo os parâmetros recomendados pelo fabricante.

A Figura 7 mostra um gráfico de pressão de sucção da membrana quando operada em condições normais de trabalho: obedecendo as normas, e mantendo o fluxo de água tratada dentro do perfil requerido (até -0,4 bar), aumentando a vida útil da membrana.

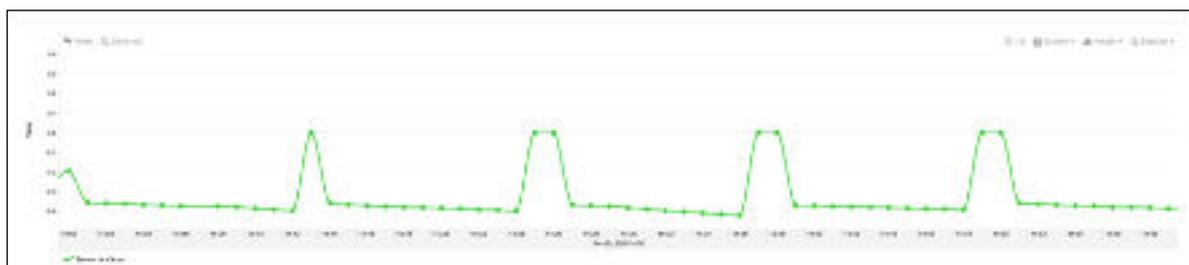


Figura 7: Gráfico da pressão de sucção da membrana do sistema de medição de IoT Industrial em tempo real em operação normal ²

Já a Figura 8 exemplifica um gráfico de pressão transmembrana em condições anormais de trabalho. É possível identificar que a pressão transmembrana (TMP) ultrapassou o limite de -0,7 bar e, portanto, está fora da faixa recomendada pelo fabricante - o que reduz a vida útil da membrana. Graças ao sistema de monitoramento, essas condições são registradas e enviadas como notificações aos operadores responsáveis para as devidas providências e correções do ciclo.

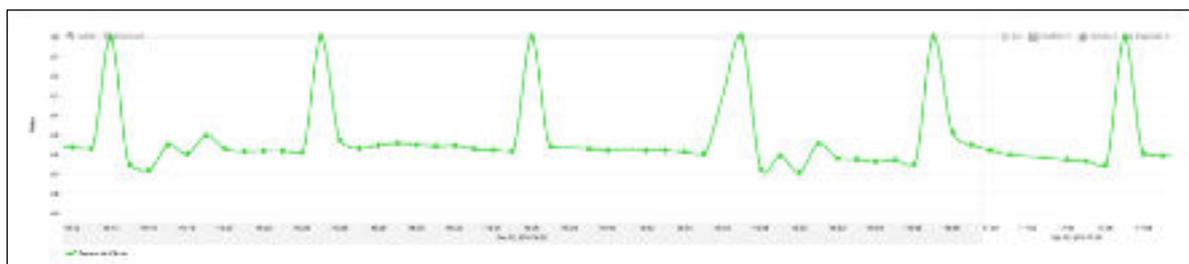


Figura 8: Gráfico da pressão de sucção da membrana do sistema de medição de IoT Industrial em tempo real em operação anormal ²

As medições realizadas pelo hidrômetro refletem a redução ou aumento de produtividade de água tratada, resumidas no relatório mensal emitido pelo sistema - como é mostrado na Figura 9. Em caso de redução de produção, o sistema indica a queda para ação imediata, minimizando os prejuízos da produção.

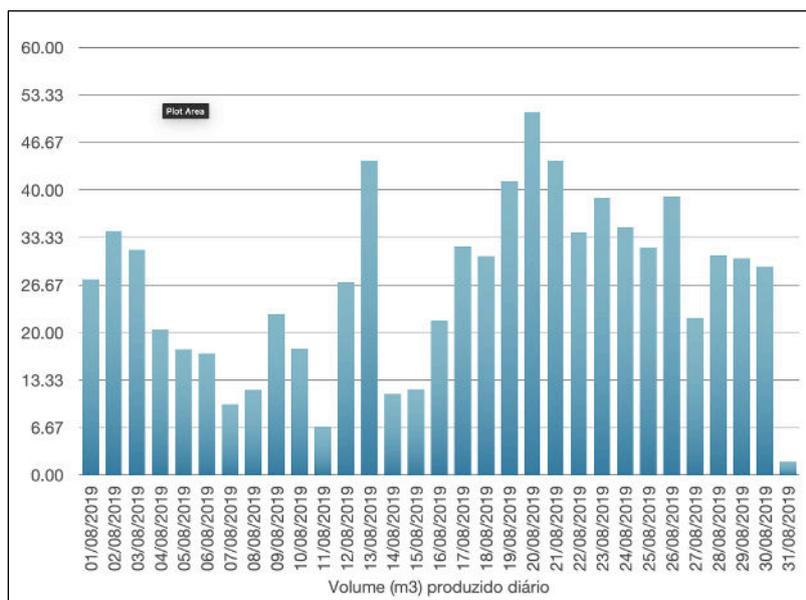


Figura 9: Gráfico da produção diária aferida automaticamente pelo sistema de telemetria e monitoramento²

Após a instalação do monitoramento, notou-se o aumento médio de 30% da produção de efluente. Em grande parte, reflexo da redução significativa de paradas evitáveis pela operação do sistema e pela manutenção preditiva. Paradas inesperadas foram reduzidas em 27%,

As pressões TMP aferidas pelo sistema são monitoradas de forma contínua e permanecem dentro do valor recomendado pelo fabricante em 95% das medições, sem ultrapassar o limite máximo de -0,7 bar.² A instalação objeto deste trabalho não dispunha de informações registro de pressão transmembrana (TMP) anterior ao sistema de monitoramento, mas acredita-se que o aumento da aderência da operação dentro da faixa de trabalho é de 30% pela média de aumento de desempenho geral do sistema.

Alguns outros indicadores demonstram dados nunca alcançados anteriormente como a máxima produção diária em 20/08/2019 acima de 51 m³.²

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A metodologia aplicada permitiu o cruzamento das informações coletadas para identificação imediata de problemas na operação. A informação obtida possibilita a antecipação aos problemas e ajustes em um curto espaço de tempo através do despacho de equipe para o local, com instruções específicas do centro de controle.

Além do monitoramento constante que oferece a visualização desses problemas, o centro de controle passou a receber informações, de forma ininterrupta, sobre os resultados das tendências após a realização dos ajustes. Tais resultados - agora - são apresentados em uma forma linear temporal e não mais apenas em um registro instantâneo, quando da visita do operador, revelando eventualmente surpresas na inspeção de rotina.

O ciclo repetitivo do processo e, conseqüentemente, a operação dentro das faixas ideais de trabalho são benéficos ao sistema, tanto do ponto de vista de quantidade da produção, como de conservação do equipamento. Ao se operar dentro dos limites definidos pelo fabricante, é possível maximizar a vida útil do equipamento - o que melhora o custo total de propriedade e retorno do investimento.

O monitoramento implantado trouxe uma visão sem precedente da estação de tratamento de efluentes, uma vez que anteriormente tinha-se apenas uma “foto” de cada visita realizada pelo operador. Com o sistema de

monitoramento IoT Industrial, foi possível montar um “filme” com transmissão ao vivo das leituras realizadas durante o processo de tratamento e inteligência de alarmes e notificações.

O ganho de produtividade aferido na estação de tratamento não contempla a funcionalidade de comando remoto disponível no sistema de monitoramento. Trata-se do acionamento e reprogramação remota dos parâmetros. No trabalho realizado, há a necessidade da intervenção do operador em ajustes e programações de emergência, reduzindo parcialmente o potencial total de uso da solução. Com o acionamento remoto, o centro de controle teria ainda mais velocidade na correção de desvios e, conseqüentemente, espaço para melhorar ainda mais a produtividade do sistema.

A funcionalidade de controle remoto ainda é discutida em diversos aspectos - principalmente o de segurança - visto que se permite o acesso à regulagem de parâmetros da estação de tratamento de forma remota. É importante ressaltar, no entanto, que o sistema em questão oferece diversas camadas de segurança, incluindo a restrição por IP de origem e VPN entre o centro de controle e o servidor *Cloud* e equipamento de campo. Além de todo o acesso ser protegido por ambiente com certificado de acesso, senhas e limitação de alçadas por perfil de usuário - garantindo, dessa forma, a segurança do sistema.

O segundo passo após a implantação do sistema de acionamento remoto seria adicionar inteligência ao processo para atuação em situações não programadas. Baseado em algoritmos de *Machine Learning* é possível treinar o sistema para atuar da forma esperada em situações não previstas ou programadas.

CONCLUSÕES

Gradualmente, novos casos de sucesso despertam os executivos do setor para as possibilidades da Internet das Coisas Industrial. Particularmente na indústria, mesmo incrementos mínimos de produtividade são capazes de gerar expressiva melhora nos resultados, como o caso exposto nesse trabalho.

Um grande desafio dos dias atuais é implantar uma solução de monitoramento de Internet das Coisas Industrial que permita a obtenção desses benefícios com baixo custo de investimento em uma operação onde IIoT não seja o negócio principal da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HYDROSOLUTION, (2019). *Manual de Operação ETE MBR*. São Paulo; HydroSolution
2. “BRIDGEMETER IIOT CLOUD.” *Bridgemeter IIoT Cloud*, Above-Net, 1 Nov. 2017, www.abovenet.com.br.