

II-089 - RECUPERAÇÃO DA DESNITRIFICAÇÃO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETE) UTILIZANDO SOLUÇÃO DE SACAROSE

Gustavo Neves Duarte⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestre em Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Engenheiro de Processamento na Petrobras – Petróleo Brasileiro S/A.

Fabio Pereira de Aguiar Bastos⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Ciências em Engenharia Química pela COPPE (UFRJ). Engenheiro de Processamento na Petrobras – Petróleo Brasileiro S/A.

Ivy Cristina de Castro Rozendo⁽³⁾

Engenheira Química pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Especializada em Engenharia de Processamento de Petróleo e Gás Natural pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Engenheiro de Processamento na Petrobras – Petróleo Brasileiro S/A.

Noemi da Silveira Pereira⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Engenheira de Meio Ambiente na Petrobras – Petróleo Brasileiro S/A.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Henrique Valadares, 28 - 14º Andar - Torre A - Centro - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20231-030 - Brasil - Tel: (21) 2166-6789 - e-mail: g.duarte@petrobras.com.br

RESUMO

Uma estação de tratamento de esgotos sanitários (ETE) de uma empresa do ramo petroquímico apresentava dificuldades no enquadramento dos parâmetros Nitrogênio Total e Fósforo Total em seu efluente tratado. A legislação ambiental local, mais restritiva do que a Resolução Conama 430/2011, exigia, respectivamente, concentrações inferiores a 10 mg/L e 1 mg/L para estes contaminantes no efluente tratado final.

Este estudo relata a metodologia de trabalho aplicada para determinação da causa raiz destas deficiências, baseado em um forte acompanhamento analítico da estação e simulações do processo biológico em software específico, as ações tomadas para melhoria do desempenho da estação e os resultados obtidos.

Foi evidenciado que o principal responsável pelo desenquadramento do parâmetro Nitrogênio Total era a alta concentração de nitrato no efluente final, resultante de uma deficiência de desnitrificação causada por baixa disponibilidade de carbono no meio reacional. A solução aplicada à estação foi a instalação de dosagem de carbono via fonte externa, no caso uma solução de sacarose 18%. Esta solução foi validada a partir da modelagem da estação no software *PetWin+*, de propriedade da *Envirosim*. As simulações permitiram definir a dosagem adequada do carbono, que foi otimizada ao longo do acompanhamento analítico, até que o reator anóxico fosse capaz de converter o nitrato gerado na zona aeróbia em nitrogênio molecular, reduzindo a concentração de Nitrogênio Total. O reestabelecimento de uma relação carbono/nitrogênio/fósforo adequada para a promover a desnitrificação na zona anóxica do reator resultou em um significativo aumento de performance da estação, atingindo eficiências de remoção de 98% em DBO, 91% em DQO, 85% em Nitrogênio Total, 97% em Nitrogênio Amoniacal e 57% em Fósforo Total, sendo este último parâmetro continuamente em valores inferiores a 1,0 mg/L, atendendo integralmente à legislação ambiental local.

PALAVRAS-CHAVE: Desnitrificação, Carbono, Sacarose, Tratamento de Efluentes, Efluentes Sanitários, Nitrogênio, Fósforo.

INTRODUÇÃO

A ETE avaliada neste estudo, projetada e construída na década de 1980, apresentava dificuldades para o enquadramento de seu efluente final conforme legislação local, principalmente em termos de Nitrogênio Total e Fósforo Total. A estação em questão atende à cerca de 2000 pessoas e possui vazão de projeto de 520 m³/d. A

seguir, na Figura 1, está representado um fluxograma simplificado com todos os processos que constituem a ETE objeto deste estudo.

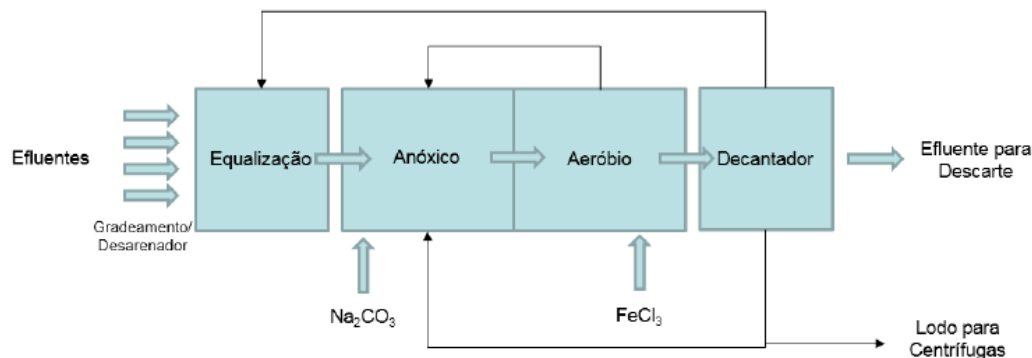


Figura 1 – Sistemas Operacionais da ETE

As cargas da estação são efluentes oriundos de sanitários, do restaurante da unidade, lavagem de pisos e vestiários. A estação não recebe nenhum tipo de efluente industrial. Alguns parâmetros de projeto da carga da estação são: DQO: 600 mg/L, Nitrogênio Total: 55 mg/L e Fósforo Total: 7 mg/L. Os efluentes a serem tratados passam por gradeamento e remoção de sólidos grosseiros em um desarenador até chegarem à bacia de equalização, a montante do reator biológico.

O sistema de tratamento biológico instalado trata-se de uma variação do consagrado sistema de lodos ativados, com cadeias de aeração móveis superficiais e difusores profundos mediante difusores de bolhas finas. Esta configuração é baseada na operação de válvulas com atuadores que, conectados a um PLC e dotados de temporizadores que controlam a sua abertura e fechamento, aeram o reator conforme a necessidade das zonas anóxicas e óxicas, necessárias para a remoção de nitrogênio e fósforo aos valores desejados. O ar é fornecido por sopradores de deslocamento positivo, tipo Roots. Os sopradores trabalham conforme necessidade de oxigênio para a manutenção do sistema. Logo, as zonas aerada e anóxica coexistem no mesmo reator, de acordo com quais cadeias de aeração estão em operação. A operação típica da ETE é a primeira metade do reator sem aeração (zona anóxica) e a segunda metade com aeração (zona aeróbia).

Ao final da zona anóxica, ocorre a dosagem de cloreto férrico, como processo complementar para precipitação de fosfatos visando abatimento de Fósforo Total no efluente final. Um decantador secundário recupera parte do lodo biológico para reciclo, enviando o excedente para descarte após desaguamento por meio de centrifugas.

Os efluentes tratados pela ETE são descartados em corpo hídrico de Classe 2, conforme classificação da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). A corrente descartada deve, ainda, atender à Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) e também à Nota Técnica NT-202.R-10 emitida pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), nos itens em que esta for mais restritiva do que a legislação de caráter nacional. Pelo fato do corpo receptor se tratar de uma lagoa – corpo hídrico lântico – os limites de lançamento de nutrientes, representados pelos parâmetros nitrogênio total e fósforo total – são ainda mais restritivos: 10 mg/L para o primeiro e 1 mg/L para o segundo. São justamente estes parâmetros que a estação em questão apresentava dificuldades para atendimento e que motivaram o presente estudo.

OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi identificar as limitações de tratamento da ETE, principalmente em termos de abatimento de Nitrogênio Total e Fósforo Total, e atuar de forma ágil, com medidas de baixo investimento, para adequar o efluente final da estação conforme legislação local.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para identificação da causa raiz do desenquadramento do efluente final passou por três etapas:

(1) implementação de um plano de amostragem e análise da estação em cinco pontos distintos: entrada da estação, tanque de equalização, zona aeróbia, zona anaeróbia e calha do efluente final, avaliando os seguintes parâmetros: pH, Turbidez, Condutividade, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Alcalinidade, Dureza Total, Cloretos, Sílica total, Sulfatos, Ferro, Enxofre, Nitrogênio Total, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal, Cobre, Bário e Fósforo Total;

(2) modelagem da estação no software *PetWin+*, um simulador de processos de tratamentos biológicos, de forma a antecipar os impactos de cada intervenção na planta;

(3) testes na própria estação, a partir das conclusões obtidas no simulador.

As amostras foram coletadas nos cinco pontos pré-determinados pela equipe de operação da ETE e enviadas para laboratório externo.

RESULTADOS

O acompanhamento analítico da planta permitiu a caracterização típica do efluente final real, além de verificarmos o quão afastado das condições de projeto a estação estava. A seguir, na Tabela 1, está representada a caracterização média do efluente tratado pela estação no início do estudo.

Tabela 1: Caracterização dos Efluentes Real e de Projeto da ETE.

Parâmetro	Unidade	Carga da ETE	Carga (Projeto)	Efluente Tratado
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	448	250	166
Condutividade	µs/cm	1314	-	1308
Cloretos	mg/L	125	-	145
DQO	mg O ₂ /L	456	600	60
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	11	-	11
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	113	50	0,6
Nitrito	mg/L	0,4	-	0,2
Nitrato	mg/L	5,0	-	247
Nitrogênio Total	mg/L	85	55	94
Fósforo Total	mg/L	11	7	4,0
pH	-	7,7	7,6	8,0
Turbidez	NTU	109	-	1,2
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	638	-	640
Sílica Total	mg/L	12,2	-	12,5
Sulfatos	mg/L	33	-	38
Ferro	mg/L	0,1	-	0,1
Enxofre	mg/L	ND	-	ND
Cobre	mg/L	0,1	-	0,1
Bário	mg/L	0,1	-	0,1

* ND = não determinado.

De modo a se verificar a sensibilidade da estação frente às possíveis soluções, todo processo biológico foi modelado no software *PetWin+*, propriedade da EnviroSim. Para tal, foram utilizados dados reais da planta, coletados ao longo de dois anos de operação contínua, o que deu aderência e robustez ao modelo, frente à realidade da estação.

Houve dificuldade em se representar o reator biológico no modelo, pois o *PetWin+* não possui um bloco de processo tal como o reator da estação em estudo, com as zonas anóxica e aeróbia num mesmo reator. A

solução adotada foi admitir dois reatores em sequência (anóxico + aeróbio), desprezando os efeitos difusionais entre as zonas, tanto de oxigênio como de nutrientes. Ainda sim, o modelo apresentou resultados no efluente final muito próximos da realidade da planta. Uma ilustração do modelo no *PetWin+* está representado na Figura 2.

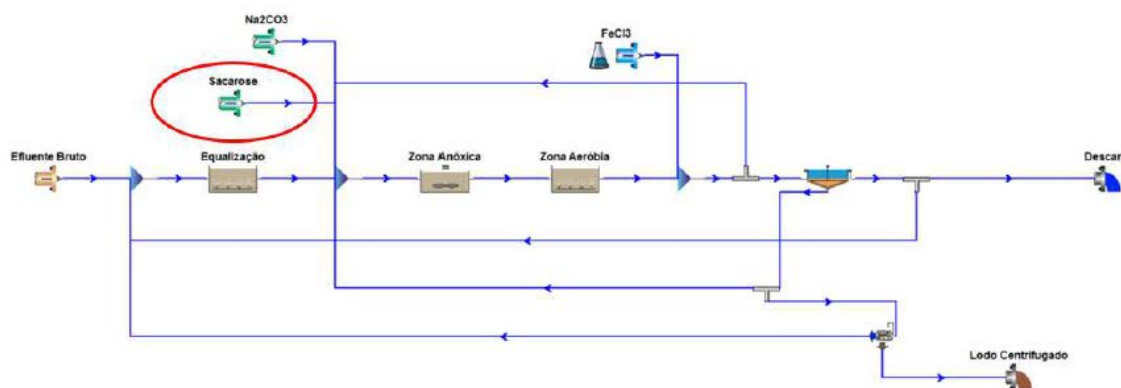


Figura 2: Modelo da ETE construído no software *PetWin+*, já considerando a dosagem de sacarose.

De posse da caracterização do efluente ao longo da estação e do modelo calibrado no *PetWin+*, foi possível proceder com a análise crítica dos resultados, visando interpretar a causa raiz do desenquadramento e, assim, propor soluções.

ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

A caracterização média do efluente final no início do estudo, ilustrada na Tabela 1, mostra que, de fato, os parâmetros Nitrogênio Total e Fósforo Total estavam acima dos valores permitidos para o descarte. A caracterização também mostra que os processos de nitrificação, ou seja, a conversão do nitrogênio amoniacal para nitrito, seguida de nitrato, estavam ocorrendo a contento, evidenciado pelas concentrações inferiores a 1,0 mg/L tanto de nitrogênio amoniacal quanto de nitrito. Entretanto, a alta concentração de nitrato sugere que o processo de desnitrificação – a conversão de nitrato para nitrogênio molecular – não estava ocorrendo como deveria. Pelo fato do nitrato compor uma das parcelas do parâmetro Nitrogênio Total, concluiu-se que esta etapa do tratamento seria a principal responsável pelo desenquadramento do Nitrogênio Total.

A modelagem da estação no *PetWin+* indicou que um dos motivos que favorecia a alta eficiência de nitrificação na zona aerada era a altíssima eficiência no abatimento de matéria orgânica, que é inibidor deste processo (ZHU et al., 2001). Dessa forma, o efluente chegava à zona anóxica do reator pobre neste contaminante, que é essencial para o processo de desnitrificação, responsável por converter o nitrato gerado pelas reações de nitrificação em nitrogênio gasoso o que, consequentemente, reduziria o valor do parâmetro Nitrogênio Total no efluente final.

Os resultados também apontaram que a limitação da desnitrificação na zona anóxica da estação não era essencialmente causada por falta de carbono orgânico no reator, já que a DQO na carga da estação apresentava valores próximos aos de projeto da ETE, mas sim pelo excesso de nitrogênio e fósforo na carga da estação, muito acima dos parâmetros de projeto. Estes excessos desbalancearam a relação carbono/nitrogênio/fósforo adequada para a promoção da desnitrificação na zona anóxica do reator. Dessa forma, a atuação desejável seria a identificação da contribuição da estação responsável pelas altas cargas destes dois contaminantes e, então, a atuação visando a redução destas cargas. Entretanto, devido ao curto prazo para o enquadramento do efluente final da estação, o estudo decidiu atuar na correção da relação carbono/nitrogênio/fósforo na zona anóxica, introduzindo carbono orgânico no processo a partir de uma fonte externa.

O metanol e outros compostos, como a glicerina e outros produtos suplementares de carbono têm sido adicionados a sistemas de desnitrificação para aumentar a conversão do nitrato (METCALF & EDDY, 2016). A opção que se mostrou mais facilmente aplicável para a unidade em estudo foi a sacarose, sob forma de açúcar

comercial. Além da disponibilidade, o produto é não perigoso, de fácil manuseio e armazenagem, e é altamente biodegradável.

As vazões e concentrações de dosagem foram estimadas também a partir do PetWin+. Foi adicionada ao modelo uma corrente de sacarose na entrada da zona anóxica e diversos pares vazão-concentração foram testados, até que o efluente final estivesse enquadrado.

Foi utilizado como tanque de preparo da solução de sacarose um tanque de PRFV de 1 m³, disponível na estação. Uma bomba dosadora com vazão máxima de 5 L/h @ 2 bar e alinhamento em tubos de PVC foram instalados de forma provisória. O armazenamento da sacarose foi feito sobre pallets, na sala de químicos da estação, próxima ao tanque de preparo.

A seguir, está apresentada a evolução dos contaminantes nitrogenados (nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e nitrogênio total) ao longo do estudo, evidenciando a recuperação da desnitrificação a partir do início da dosagem de sacarose no reator.

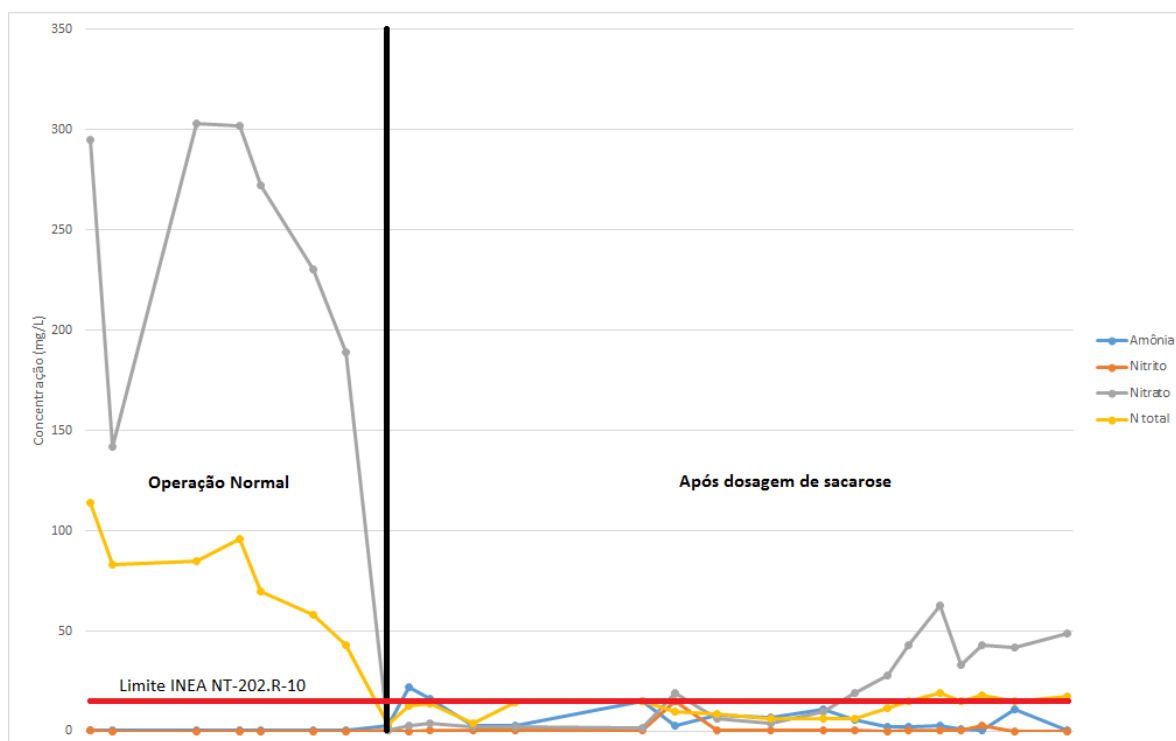


Figura 3 – Evolução dos contaminantes nitrogenados ao longo do estudo.

A início da dosagem de sacarose na zona anóxica promoveu o desenvolvimento de biota desnitrificante, conforme previsto a partir das simulações no PetWin+. Ainda, esse aumento da concentração de microrganismos no reator levou a um maior consumo de fósforo pelo processo, o que naturalmente reduziu a concentração de fósforo total para teores abaixo de 1,0 mg/L, atendendo à legislação de lançamento de efluentes mais restritiva.

O abatimento quase que completo de Fósforo Total no processo criou mais uma instabilidade na operação da ETE: os teores de nitrogênio amoniacal no efluente final, que no início do estudo se apresentavam em valores inferiores a 1,0 mg/L, passaram para uma média de 6,5 mg/L. Isso se dá pelo fato das bactérias nitrificantes serem muito sensíveis frente à deficiência de nutrientes no reator biológico, no caso o fósforo. O aumento dessa concentração, por consequência, voltou a aumentar a concentração de Nitrogênio Total, entretanto sem ultrapassagem do limite legal. A legislação local, que limita o teor de Fósforo Total no descarte em 1,0 mg/L, obriga a estação a operar em uma faixa muito curta: este contaminante deve ser abatido, porém sem causar a deficiência deste para a biota nitrificante.

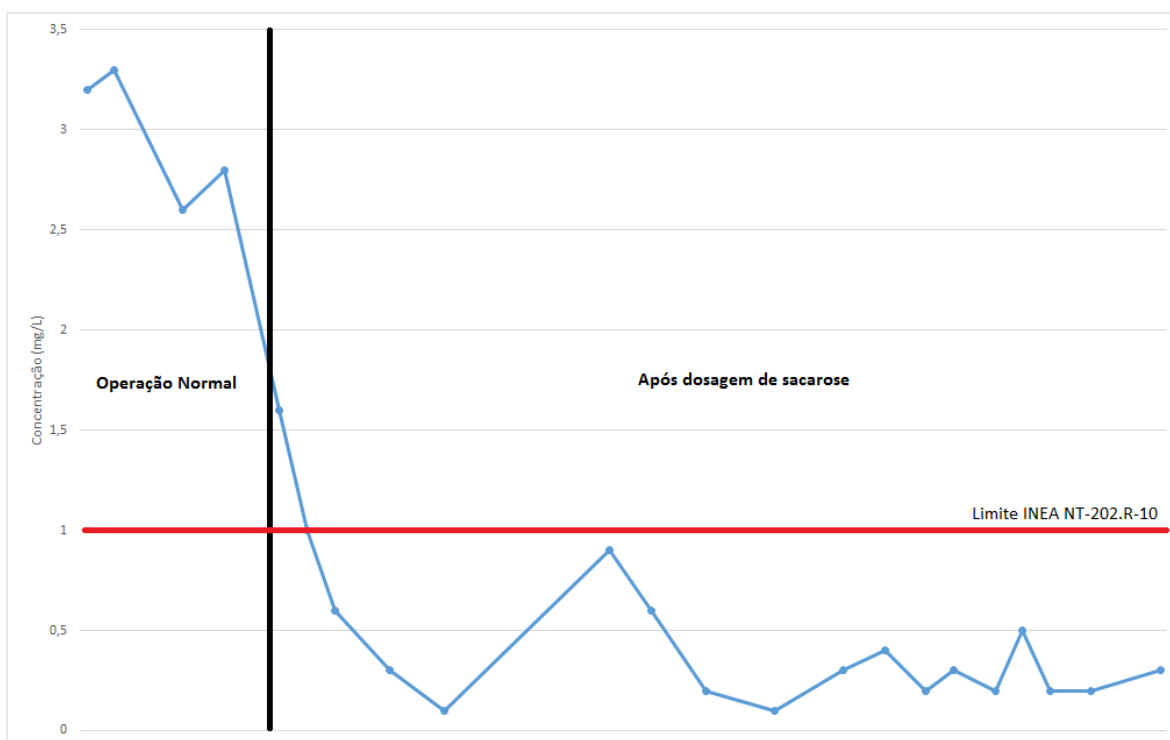


Figura 4 – Evolução da concentração de Fósforo Total no efluente final ao longo do estudo.

CONCLUSÕES

Foram conclusões do estudo realizado:

- Antes das ações recomendadas pelo estudo serem implementadas, a ETE já recebia carga poluidora acima de suas condições de projeto, principalmente em termos de Nitrogênio Total e Fósforo Total;
- A causa raiz para o desenquadramento dos parâmetros Nitrogênio Total e Fósforo Total no efluente final da ETE era a ineficiência do processo de desnitrificação no reator biológico, evidenciado pelas altas concentrações de nitrato no efluente final, sendo esta forma nitrogenada a parcela majoritária na composição do Nitrogênio Total no descarte;
- A baixa eficiência do processo de desnitrificação foi identificada como sendo o desbalanceamento da relação carbono/nitrogênio/fósforo na zona anóxica do reator, causada pelas altas cargas de nitrogênio e fósforo na carga da estação, muito acima das condições de projeto;
- Dado o curto prazo para enquadramento do efluente final, a solução adotada foi a dosagem externa de carbono na zona anóxica do reator. Dadas as facilidades de disponibilidade, biodegradabilidade, manuseio e armazenamento do insumo, a sacarose foi selecionada como fonte de carbono;
- A dosagem de solução de sacarose no reator, bem como sua concentração, foi estimada a partir de simulações de processo da planta no software *PetWin+*. Também por meio do software, foi possível verificar o perfil dos principais contaminantes ao longo do processo de tratamento;
- Ao final do estudo, a estação passou a lançar de forma consistente efluentes em conformidade com as legislações locais, apresentando as seguintes eficiências de abatimento: 98% em DBO, 91% em DQO, 85% em Nitrogênio Total, 97% em Nitrogênio Amônia e 57% em Fósforo Total;
- Foi evidenciado que o abatimento quase integral de fósforo total no reator causou queda de eficiência da nitrificação. Recomenda-se avaliação futura da instalação de sistema de dosagem de fósforo para os reatores biológicos, seguido de tratamento terciário para abatimento de fósforo residual;
- É importante citar que a solução adotada apenas mitiga o desenquadramento do efluente total, uma vez que não atua na causa raiz do problema, que é a alta concentração de nitrogênio e fósforo na carga da ETE. Caso essas concentrações sigam subindo, a solução adotada será limitada pelo tamanho do reator.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, mar. 2005.
2. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 92, p. 89-98, mai. 2011.
3. INEA NT-202.R-10 – Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos.
4. METCALF, L., EDDY, H. P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5ª ed. McGraw-Hill, 2015.
5. ZHU, S., CHEN, S. *Effects os organic carbono on nitrification rate in fixed film biofilters. Aquacultural Engineering*, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2001.