

II-201 - OTIMIZAÇÃO DA REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO A PARTIR DO CONTROLE DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS COM A UTILIZAÇÃO DE REATOR UASB SEGUIDO DE REATOR SBR A CICLOS ALTERNADOS

Sabrina Bueckmann Diegoli⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Especialista em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental pela Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Mestranda em Engenharia de Processos pela Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE).

Virgínia Grace Barros

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Regional de Blumenau (FURB). Doutora em Ciências Ambientais pela Università Ca' Foscari di Venezia. Professora no Departamento de Engenharia Civil na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Jéssica Caroline dos Santos Silva

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE). Mestranda em Ciências na Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP)

Nicole Martinez Moreira

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitarista pela Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE)

Sandra Helena Westrupp Medeiros

Engenheira Química pela Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Endereço⁽¹⁾: Rua Camboriú, 1112, Itajaí - SC - CEP: 88.301-451 - Brasil - Tel: (47) 3344-0472 - e-mail: sabrinadieoli@gmail.com

RESUMO

Buscando a remoção biológica de nitrogênio e de carga orgânica de um efluente sanitário real, este trabalho avaliou o funcionamento de um sistema combinado anaeróbio-aeróbio (UASB e SBR) em diferentes condições ambientais. O reator UASB de fluxo contínuo era seguido por um reator SBR, onde oito diferentes condições foram testadas. Na primeira condição, a aeração funcionou continuamente durante a reação. Nas condições seguintes, foram adotados tempos de aeração intermitentes, variando entre 30 min ligada/10 desligada, 15 min ligada/15 desligada e 15 min ligada/20 desligada, com e sem ajuste de pH, com e sem dosagem de vinhoto. Análises laboratoriais mostram que a condição 5, que funcionou com ajuste de pH e sob intermitência de aeração 15/15, apresentou melhores resultados na remoção de DBO₅, DQO, NTK e NH₃-N (84%, 63%, 66% e 59%, respectivamente).

PALAVRAS-CHAVE: Reator UASB, reator SBR, remoção de nitrogênio.

INTRODUÇÃO

Com os recursos hídricos cada vez mais escassos, é fundamental promover o consumo consciente e a preservação dos mesmos. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011), entre 2000 e 2008 ocorreu um avanço no número de municípios cobertos pelo saneamento básico em todas as regiões do Brasil. Mas apesar da melhora constatada neste período, o esgotamento sanitário é um ponto de preocupação para o Brasil, pois ainda é o serviço que apresenta menor abrangência municipal. Em municípios com menos de 50 mil habitantes, por exemplo, apenas 45,7% dos domicílios possuem acesso à rede de esgoto. É importante ressaltar que deste número, nem todo o efluente coletado é encaminhado para tratamento adequado.

O lançamento indiscriminado dos esgotos nos corpos hídricos causa inúmeros inconvenientes à população, como gosto e odor às fontes de abastecimento de água, produzidos pela matéria orgânica solúvel; cor e turbidez indesejáveis, aumento da eutrofização, causado pela presença de elementos nutritivos (Nitrogênio e

Fósforo); presença de óleos e materiais flutuantes, indesejáveis esteticamente e que interferem na decomposição biológica; e materiais em suspensão, que podem formar bancos de lodo nos rios e nas canalizações de esgoto.

Jordão e Pessôa (2005) citam ainda outros inconvenientes nos corpos d'água, causados pelo lançamento de esgotos não tratados:

- Matérias tóxicas e íons de metais pesados (cianetos, Cu, Zn, Hg, etc.): geralmente o despejo desses materiais é sujeito a regulamentação estadual e federal. Apresentam problemas de toxidez e de transferência através da cadeia alimentar;
- Ácidos e álcalis: neutralização exigida pela maioria dos regulamentos; interferem com a decomposição biológica e com a vida aquática;
- Temperatura: poluição térmica conduzindo ao esgotamento do oxigênio dissolvido (abaixamento do valor de saturação).

Além destes inconvenientes, o consumo de água de qualidade inadequada, ou mesmo a falta deste recurso, provoca a morte de mais de 25 mil pessoas por dia em todo o mundo, visto que inúmeras doenças podem ser transmitidas pela disposição inadequada dos esgotos, de acordo com os Indicadores e Dados Básicos – Brasil 2005.

Diante dessa grave situação é fundamental promover tecnologias cada vez mais eficientes para o tratamento de esgoto sanitário, focando principalmente em sistemas com custo de implantação e operação menores.

A característica biodegradável dos efluentes domésticos torna a utilização de sistemas biológicos de tratamento mais adequado em função da economia e operacionalidade. O tratamento de líquidos com elevado teor de matéria orgânica biodegradável pode ser realizado através de sistemas biológicos aeróbios, anaeróbios ou uma combinação dos dois processos.

Em locais de clima quente, processos de tratamento anaeróbios são bem aceitos, podendo ser complementados com pós-tratamento para remoção de nitrogênio e fósforo. A temperatura afeta fortemente as taxas dos processos de conversão anaeróbia, por isso é interessante que estes reatores sejam operados com temperatura ambiente superior a 20°C.

Reatores anaeróbios, como por exemplo os reatores de fluxo ascendente - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), apresentam vantagens por ser um sistema compacto, com baixo custo de implantação e operação, baixa produção de lodo, baixo consumo de energia, remoção de DQO e DBO da ordem de 65 a 75%, possibilidade de reinício rápido (mesmo após longas paralisações) e elevada concentração e boa desidratabilidade do lodo excedente (CHERNICHARO, 2007).

Mas embora as vantagens sejam muitas, Chernicharo (2007) também cita algumas desvantagens do processo, tais como: possibilidade de emissão de maus odores, baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas, elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema (de 4 a 6 meses, quando não utilizado inóculo) e, em geral, necessidade de uma etapa de pós-tratamento para enquadramento nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental.

Assim, como reatores anaeróbios nem sempre removem satisfatoriamente microrganismos patogênicos e nutrientes (JORDÃO et al., 2005), tem-se estudado a combinação de processos anaeróbio-aeróbio, com o intuito de explorar as vantagens de cada um deles e garantir o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes.

Quando comparado com os processos apenas aeróbios, a combinação de sistemas anaeróbio-aeróbio consome menos energia, produz menos lodo e possui operação menos complexa (CHERNICHARO, 2007). Como já citado anteriormente, especialmente em climas quentes, a aplicação de tratamentos combinados anaeróbios e pós-tratamento para a remoção de carga orgânica e nitrogênio e/ou fósforo é muito vantajosa.

Uma forma de tratamento muito utilizada para complementar o tratamento anaeróbio é o processo de lodos ativados, que possui ótimo desempenho, quando bem operado. O sistema de lodos ativados é um processo

biológico, no qual o esgoto de entrada é misturado com o lodo formado no sistema, que é constantemente recirculado, por possuir uma massa de bactérias ativas, prontas para utilizar o esgoto sanitário como substrato para seu desenvolvimento. A biomassa fica suspensa no reator aeróbio e é posteriormente separada do efluente tratado nos decantadores secundários.

Conforme Von Sperling (2002), o princípio do processo de lodos ativados com operação intermitente consiste na incorporação de todas as unidades de processo e operação normalmente associadas ao tratamento convencional de lodos ativados, em um único tanque. Utilizando um tanque único, esses processos e operações passam a ser simplesmente seqüências no tempo, e não unidades separadas como ocorre nos processos convencionais de fluxo contínuo.

Em apenas um reator ocorrem todas as etapas de tratamento, através do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas.

Este tipo de reator possui grande potencial de aplicação, em especial quando se deseja remover nutrientes do efluente. Nos últimos anos, os reatores em batelada têm sido modificados para se alcançar a nitrificação, desnitrificação e remoção biológica de fósforo. As modificações podem ser tanto na forma de operação do sistema (alimentação escalonada ou não), quanto na seqüência e duração dos ciclos (VON SPERLING, 2002). Para promover a remoção biológica do nitrogênio, que é um dos objetivos deste trabalho, operou-se o sistema com aeração intermitente, para incorporar uma etapa anóxica durante o período de reação. Devido à flexibilidade do sistema SBR, foi possível ajustar a duração das fases aeróbias e anóxica para alcançar a nitrificação e desnitrificação.

Moraes et al. (2013) afirma que reatores SBR têm sido muito utilizados para promover a nitrificação e desnitrificação, operando basicamente com períodos de enchimento, reação, decantação e descarte. No entanto, modificações na forma de alimentação e aplicação de aeração intermitente estão sendo cada vez mais utilizadas para otimizar a remoção de nitrogênio.

Iamamoto (2006) destaca que, além da remoção de nitrogênio, a incorporação de uma fase não aerada durante o período de reação oferece muitas vantagens, como a economia de energia, menor produção de lodo (quando comparada ao sistema de lodos ativados convencional) e pH estável devido à desnitrificação. Outra vantagem citada pelo mesmo autor é que com a alternância de condições ambientais (anóxico e aeróbio), a microbiota do lodo, ao se ajustar à situação, desenvolve a habilidade de tomar substrato solúvel e estocar internamente para utilização durante o período de escassez. Assim também evita-se o crescimento indesejado de organismos filamentosos, pois estes são mais sensíveis à alterações no processo.

Sendo assim, neste trabalho pretende-se avaliar a utilização de um sistema combinado (anaeróbio-aeróbio), composto por um reator UASB e um reator do tipo *Sequential Batch Reactor* (SBR) com ciclos alternados, para tratamento de esgoto sanitário, buscando principalmente a otimização da remoção biológica de nitrogênio em diferentes condições ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Processo de tratamento

Para realização do experimento foi utilizada a estação de tratamento de esgotos piloto (Figura 1) do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da UNIVILLE, localizada próxima ao Almoxarifado da Universidade.



Figura 1 - Estação piloto. Fonte: Primária, 2014.

A estação é composta por um reator UASB, seguido de um pulmão e um reator SBR.

O reator UASB possui altura total de 2,0 m, altura útil de 1,90 m, diâmetro de 0,30 m, resultando em um volume útil de 134 L. Seguindo recomendações de Chernicharo (2007), foi dimensionado para manter o tempo de detenção hidráulica entre 8 e 10 horas para a vazão média. Possui um filtro de carvão instalado na parte externa superior, para evitar a propagação de maus odores. O fluxo do UASB é contínuo, alimentado por uma bomba peristáltica modelo AWG 5000-ABS, cuja vazão medida na saída do reator é de 13,8 l/h. O tempo de detenção hidráulica ajustado pela vazão medida é de 9,69 horas. O efluente que abastece o reator é proveniente de uma das fossas da UNIVILLE.

Após o UASB o efluente segue para o reservatório pulmão, com volume de 130 L, onde o efluente é acumulado até o momento do enchimento do reator SBR.

O reator SBR possui altura total de 1,35 m, altura útil de 1,0 m, diâmetro de 0,52 m e volume de 212 L. Na parte interna inferior está instalado um difusor de ar, do tipo bolhas finas, para aeração do sistema. O fornecimento de oxigênio ao SBR é feito através de um soprador de ar modelo LP 40A e a vazão de ar é controlada por um rotâmetro com leitor de 0 - 10 L/min. A mistura do efluente do SBR durante o enchimento é realizado com um agitador modelo AGR 159 INOX 1/2 CV. A cada ciclo, 90 L de efluente é adicionado ao reator para tratamento. O reator foi dimensionado conforme Von Sperling (2002).

Após ser tratado no sistema, o efluente é lançado novamente na fossa.

Condições operacionais

Como ponto de partida, no reator SBR são feitas duas bateladas diárias, com tempos pré-determinados para o enchimento (1,00 hora), aeração (2,60 horas), decantação (1,50 horas), descarte (0,50 horas) e descanso (0,40 horas). Os tempos operacionais iniciais dentro do ciclo foram calculados conforme diretrizes de Von Sperling (2002).

Ao longo da operação do sistema, estes tempos foram alterados para buscar maior eficiência do processo.

Todas as atividades que envolvem o processo de batelada do reator SBR, descritas a seguir, são feitas manualmente ou com auxílio de um programador horário (apenas para o soprador de ar):

- Desligamento/acionamento do agitador elétrico;
- Desligamento/acionamento do soprador de ar;

- Abertura/fechamento do registro para enchimento do SBR;
- Abertura/fechamento do registro para descarte do efluente do SBR;
- Abertura/fechamento do registro para descarte de lodo;
- Dosagem de alcalinizante;
- Dosagem de fonte externa de carbono (vinhoto).

Diferentes situações foram testadas no reator SBR, buscando atingir as condições ideais de funcionamento do sistema visando à remoção de nitrogênio. Cada condição foi testada ao longo de uma semana, com exceção da condição nº 1, que funcionou ao longo das três primeiras semanas para aclimação do lodo.

Foram adicionados 150 L de lodo aeróbio no SBR e 50 L de lodo facultativo no UASB, ambos provenientes da estação de tratamento de efluentes de uma indústria têxtil, localizada no município de Joinville/SC.

O vinhoto, proveniente de um alambique da região e dosado dentro do SBR a partir da condição 6, foi analisado em laboratório e apresentou valores de DBO5 de 40.500 mg/L, DQO de 53.500 mg/L e NTK de 89,10 mg/L.

Considerando a DBO5 média do esgoto no reator de 200 mg/L e volume de 90 L, inicialmente dosou-se 60 mL de vinhoto para aumentar a concentração de DBO5 à aproximadamente 230 mg/L.

Também foi testada a dosagem de 730 mL de vinhoto, para aumentar a concentração à 520 mg/L.

As condições operacionais testadas estão descritas a seguir. A condição 1 seguiu os tempos operacionais calculados conforme Von Sperling (2002).

Condição 1:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada apenas de efluente pós UASB;
- Reação: duração de 2 horas e 40 minutos. Aeração contínua durante todo o período de reação;
- Decantação: duração de 1 hora e 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;
- Descanso: duração de 20 minutos.

Visando a introdução de uma fase anóxica durante a reação, optou-se por uma aeração intermitente nas condições seguintes. Nas condições 2 e 3, o período de reação variou entre 30 minutos ligada - 10 minutos desligada e 15 minutos ligada - 15 minutos desligada. Variou-se os tempos de aeração para avaliar qual apresentaria melhores resultados.

Condição 2:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada apenas de efluente pós UASB;
- Reação: duração de 2 horas e 40 minutos. Aeração intermitente, com aerador ligado por 30 minutos e desligado por 10 minutos, sucessivamente, até completar o tempo total de reação;
- Decantação: duração de 1 hora e 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;
- Descanso: duração de 20 minutos.

Condição 3:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada apenas de efluente pós UASB;
- Reação: duração de 2 horas e 45 minutos. Aeração intermitente, com aerador ligado por 15 minutos e desligado por 15 minutos, sucessivamente, até completar o tempo total de reação;
- Decantação: duração de 1 hora e 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;
- Descanso: duração de 20 minutos.

As condições 4 e 5 repetiram as condições 2 e 3, desta vez dosando alcalinizante, para manter o pH próximo a 8 no início da reação.

Condição 4:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada de efluente pós UASB, com dosagem de alcalinizante para controle de pH;
- Reação: duração de 2 horas e 40 minutos. Aeração intermitente, com aerador ligado por 30 minutos e desligado por 10 minutos, sucessivamente, até completar o tempo total de reação;
- Decantação: duração de 1 hora e 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;
- Descanso: duração de 20 minutos.

Condição 5:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada de efluente pós UASB, com dosagem de alcalinizante para controle de pH;
- Reação: duração de 2 horas e 45 minutos. Aeração intermitente, com aerador ligado por 15 minutos e desligado por 15 minutos, sucessivamente, até completar o tempo total de reação;
- Decantação: duração de 1 hora e 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;
- Descanso: duração de 20 minutos.

A condição 6 repetiu a condição 5, desta vez dosando também 60 mL de vinhoto antes do início da reação. O intuito da dosagem de vinhoto foi aumentar a concentração de carga orgânica no reator.

Condição 6:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada de efluente pós UASB, com dosagem de 60 mL de vinhoto e alcalinizante para controle de pH;
- Reação: duração de 2 horas e 45 minutos. Aeração intermitente, com aerador ligado por 15 minutos e desligado por 15 minutos, sucessivamente, até completar o tempo total de reação;
- Decantação: duração de 1 hora e 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;
- Descanso: duração de 20 minutos.

Na condição 7 foi reduzido o período de decantação, visando principalmente reduzir a flotação de lodo. A quantidade de vinhoto dosada aumentou, visando elevar ainda mais a concentração de carga orgânica no reator. Também foi alterado o tempo de aeração durante a reação, com o intuito de melhorar a remoção de nitrogênio no sistema.

Condição 7:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada de efluente pós UASB, com dosagem de 730 mL de vinhoto e alcalinizante para controle de pH;
- Reação: duração de 2 horas e 35 minutos. Aeração intermitente, com aerador ligado por 15 minutos e desligado por 20 minutos, sucessivamente, até completar o tempo total de reação;
- Decantação: duração de 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;
- Descanso: duração de 20 minutos.

A condição 8 repetiu a condição 4, com o acréscimo de 60 mL de vinhoto no reator.

Condição 8:

- Enchimento: duração de 1 hora. Entrada de efluente pós UASB, com dosagem de 60 mL de vinhoto e alcalinizante para controle de pH;
- Reação: duração de 2 horas e 40 minutos. Aeração intermitente, com aerador ligado por 30 minutos e desligado por 10 minutos, sucessivamente, até completar o tempo total de reação;
- Decantação: duração de 1 hora e 30 minutos;
- Descarte: duração de 30 minutos;

- Descanso: duração de 20 minutos.

A Tabela 1 apresenta o resumo das condições operacionais.

Tabela 1 - Resumo das condições operacionais.

	Enchimento	Reação	Decantação	Descarte	Descanso
1	1h	2h40 (aeração contínua)	1h30	30min	20min
2	1h	2h40 (30 ⁽¹⁾ – 10 ⁽²⁾)	1h30	30min	20min
3	1h	2h45 (15 ⁽¹⁾ – 15 ⁽²⁾)	1h30	30min	20min
4	1h (dos. alcalinizante)	2h40 (30 ⁽¹⁾ – 10 ⁽²⁾)	1h30	30min	20min
5	1h (dos. alcalinizante)	2h45 (15 ⁽¹⁾ – 15 ⁽²⁾)	1h30	30min	20min
6	1h (dos. alcalinizante, 60mL vinhoto)	2h45 (15 ⁽¹⁾ – 15 ⁽²⁾)	1h30	30min	20min
7	1h (dos. alcalinizante, 730mL vinhoto)	2h35 (15 ⁽¹⁾ – 20 ⁽²⁾)	30min	30min	20min
8	1h (dos. alcalinizante, 60mL vinhoto)	2h40 (30 ⁽¹⁾ – 10 ⁽²⁾)	1h30	30min	20min

Fonte: Primária, 2014.

⁽¹⁾ tempo de aeração ligada (minutos).

⁽²⁾ tempo de aeração desligada (minutos).

Monitoramento do sistema

Para avaliação das condições propostas, foram realizadas análises em laboratório em diferentes pontos do sistema, conforme a condição de operação.

Nas condições 1, 2, 3, 4, 5 e 6 os seguintes pontos e parâmetros foram analisados (com exceção do fósforo total, que foi avaliado apenas na condição 6):

- Ponto 1 (entrada – fossa): DBO5, DQO, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, NTK, NO3-N, NO2-N, NH3-N e fósforo total;
- Ponto 2 (saída do reator UASB): DBO5, NTK, NO3-N, NO2-N, NH3-N e fósforo total;
- Ponto 3 (interior do reator SBR, quando em fase de aeração): DQOsol, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, NTK, NO3-N, NO2-N e NH3-N;
- Ponto 4 (saída do reator SBR): DBO5, DQO, sólidos dissolvidos fixos, sólidos dissolvidos voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, NTK, NO3-N, NO2-N, NH3-N e fósforo total;

Na condição 6, 7 e 8, é adicionado o ponto 5 (mistura), que é o interior do reator SBR, logo após mistura do vinhoto e antes do início da aeração.

- Ponto 5: DBO5, DQOsol, NTK, NO3-N, NO2-N, NH3-N e fósforo total.

Nestas condições não se fez análise da DBO5 e DQOsol do ponto 2 (saída do reator UASB).

Os procedimentos analíticos foram realizados conforme métodos adotados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e ISO 15705:02 (AMERICA PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005; ACQUAPLANT, 2014).

A Figura 2 apresenta o esquema básico da estação piloto e os pontos de coleta.

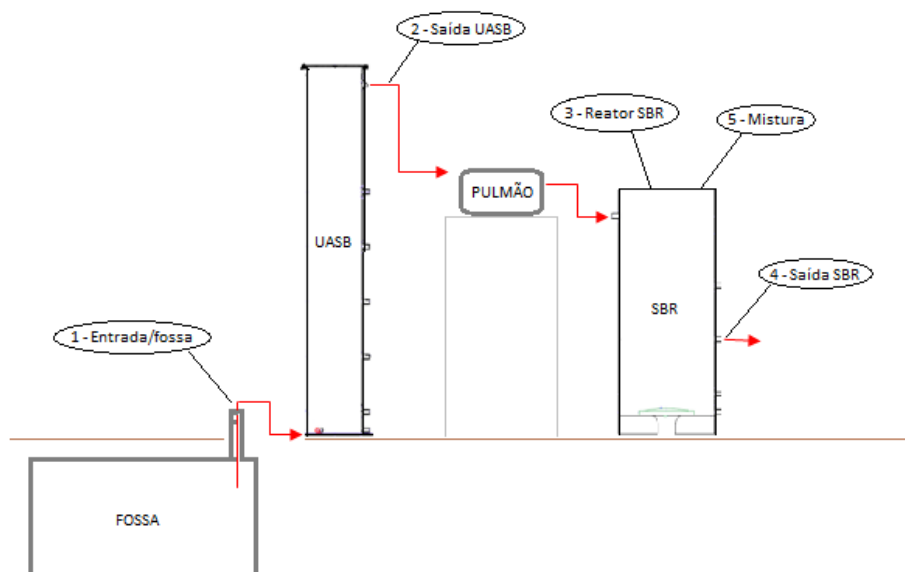


Figura 2 - Esquema básico da estação piloto e pontos de coleta. Fonte: Primária, 2014.

RESULTADOS

O esgoto tratado na estação piloto era proveniente de uma das fossas da UNIVILLE, escolhida por apresentar efluente com características próximas às esperadas para esgoto sanitário. A estação operou em temperatura ambiente entre os meses de novembro de 2013 a maio de 2014. A faixa de concentração e os valores médios de DBO5, DQO, NTK e NH3-N durante o período dos testes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentração média do efluente da fossa.

Parâmetro	Faixa de concentração (mg/L)	Valor médio(mg/L)
DBO5	83 - 325	186,6
DQO	259 - 498	409,9
Nitrogênio de Kjeldahl	142 - 224	177,9
NH3-N	30,9 - 142,7	106,2

Fonte: Primária, 2014.

Condição 1

Os gráficos 1a, 1b e 1c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3) e saída do sistema (ponto 4), na condição 1. Esta condição operou por três semanas, com análises semanais. Os resultados mostrados nos gráficos são os valores médios destas três semanas.

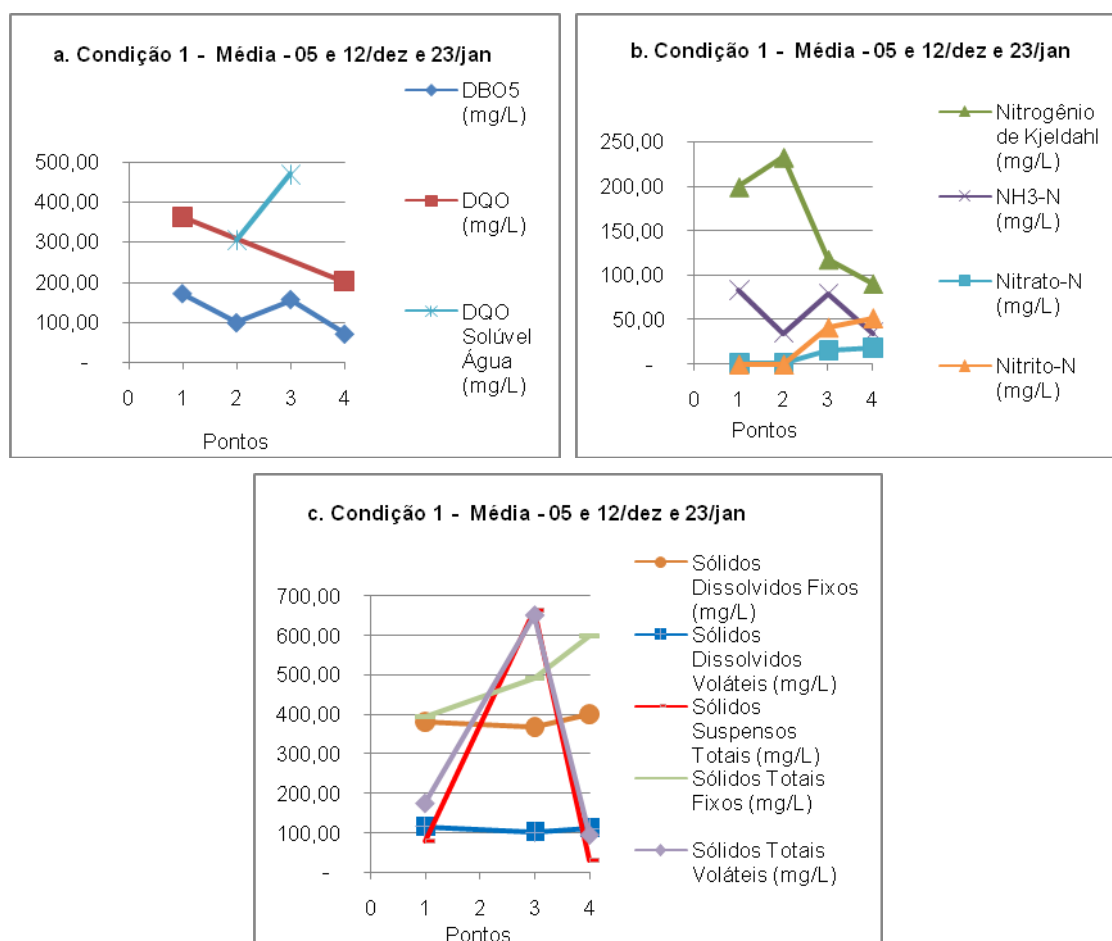


Gráfico 1 - Resultados obtidos na condição 1. Fonte: Primária, 2014.

Comparando o ponto 1 (fossa) com o ponto 4 (saída do reator SBR), nas primeiras três semanas de operação do piloto obteve-se eficiência de quase 60% na remoção de DBO5, 45% de remoção de DQO, 54% para NTK e 58% para nitrogênio amoniacal.

Condição 2

Os gráficos 2a, 2b e 2c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3) e saída do sistema (ponto 4) na condição 2.

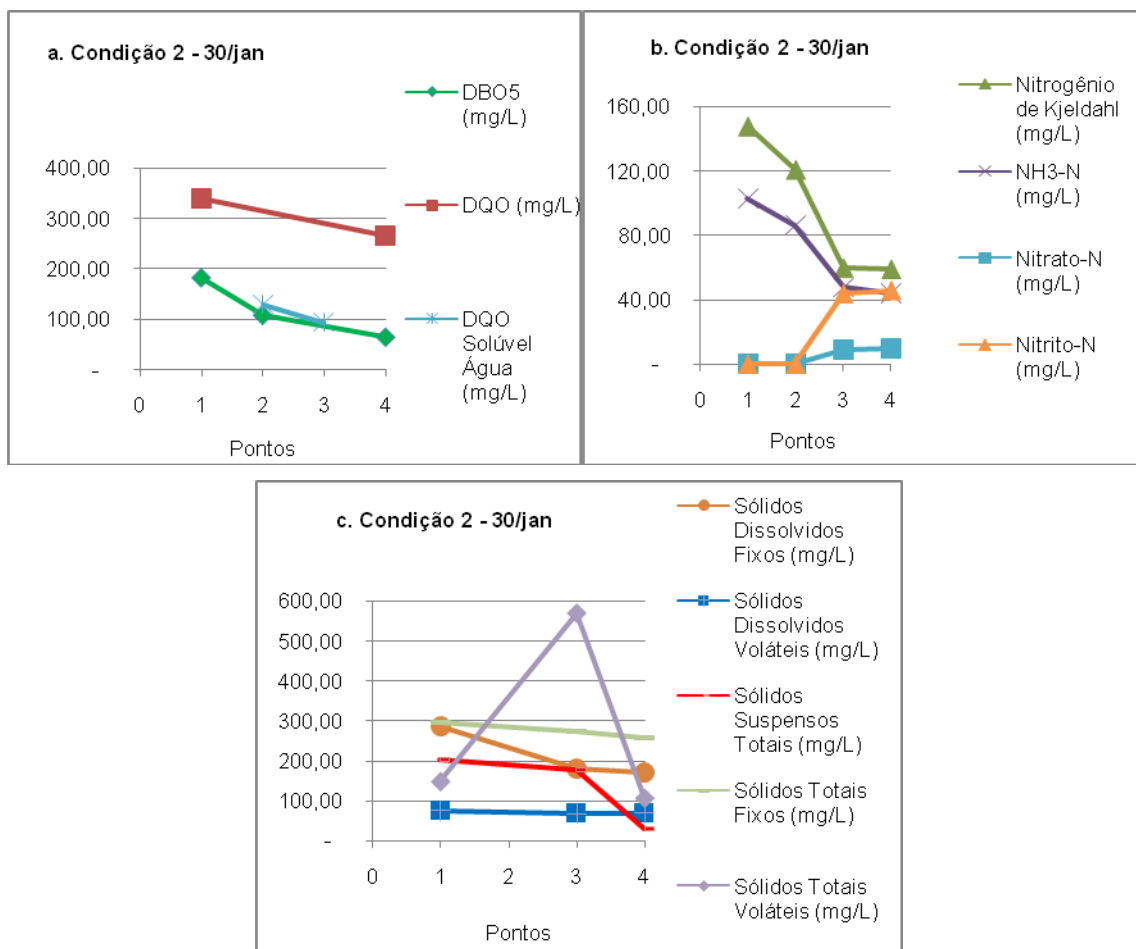


Gráfico 2 - Resultados obtidos na condição 2. Fonte: Primária, 2014.

Na condição 2, a remoção de DBO5, NTK e nitrogênio amoniacal foram parecidas com a condição 1 (64%, 60% e 57% respectivamente), mas a remoção de DQO caiu para 22%.

Condição 3

Os gráficos 3a, 3b e 3c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3) e saída do sistema (ponto 4) na condição 3.

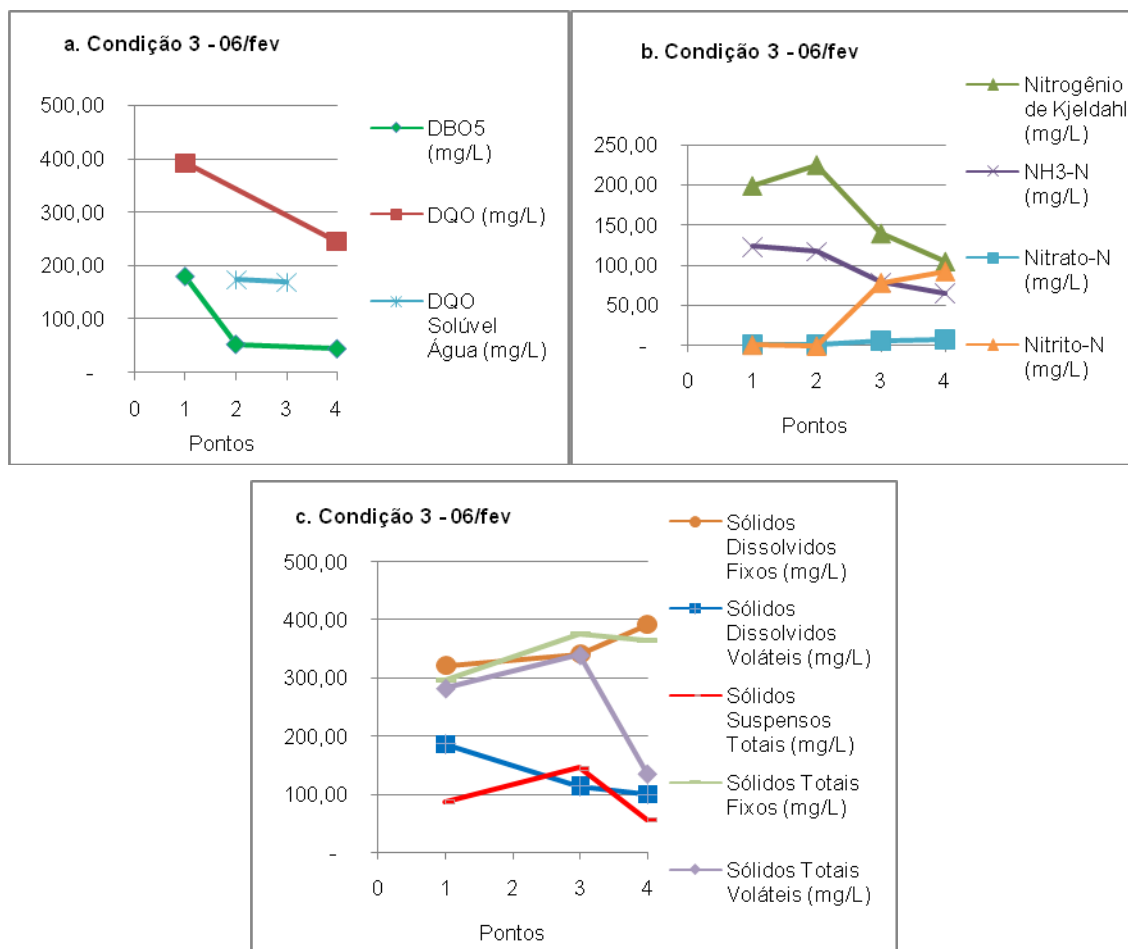


Gráfico 3 - Resultados obtidos na condição 3. Fonte: Primária, 2014.

Na condição 3, apesar da eficiência de remoção de nitrogênio ter diminuído para 47% no NTK e 47% no nitrogênio amoniacal, o processo teve melhoras na remoção de matéria orgânica, passando para 75% na remoção de DBO5 e 37% para DQO.

Nas três primeiras condições, o valor máximo de sólidos dentro do reator foi de 664 mg/L de sólidos suspensos totais e 652 mg/L de sólidos totais voláteis, ambos na condição 1.

Condição 4

Os gráficos 4a, 4b e 4c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3) e saída do sistema (ponto 4) para os parâmetros descritos no Item 4.3, na condição 4.

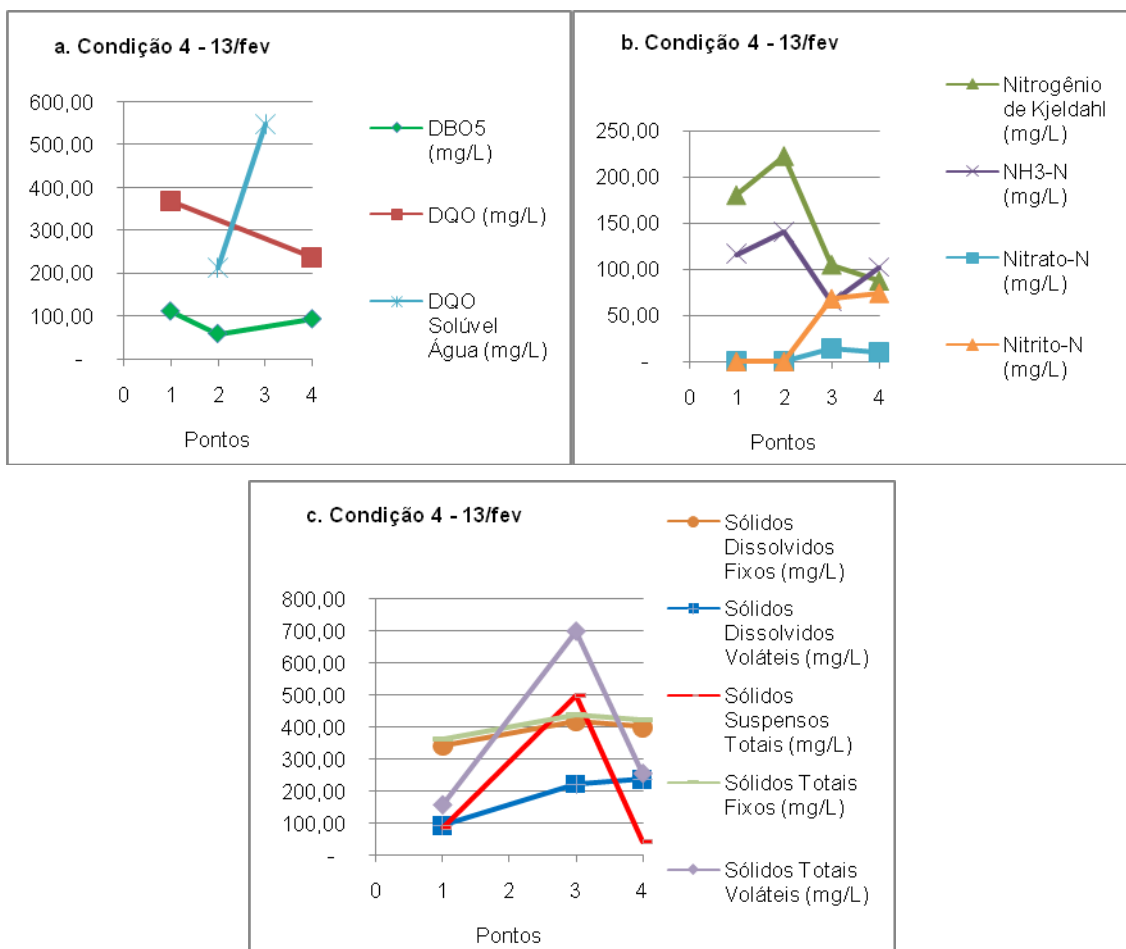


Gráfico 4 - Resultados obtidos na condição 4. Fonte: Primária, 2014.

Nesta condição ocorreu a dosagem de alcalinizante para controle de pH e a intermitência da aeração era semelhante à condição 2 (30 min ligada/10 min desligada), mas com exceção do NTK, que removeu 51%, os outros parâmetros tiveram queda de eficiência. Foram removidos 16% e 12% de DBO5 e nitrogênio amoniacal, respectivamente. A DQO manteve valor próximo à condição anterior (35%). A quantidade de sólidos totais voláteis dentro do reator SBR aumentou para 701 mg/L.

Condição 5

Os gráficos 5a, 5b e 5c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3) e saída do sistema (ponto 4), na condição 5.

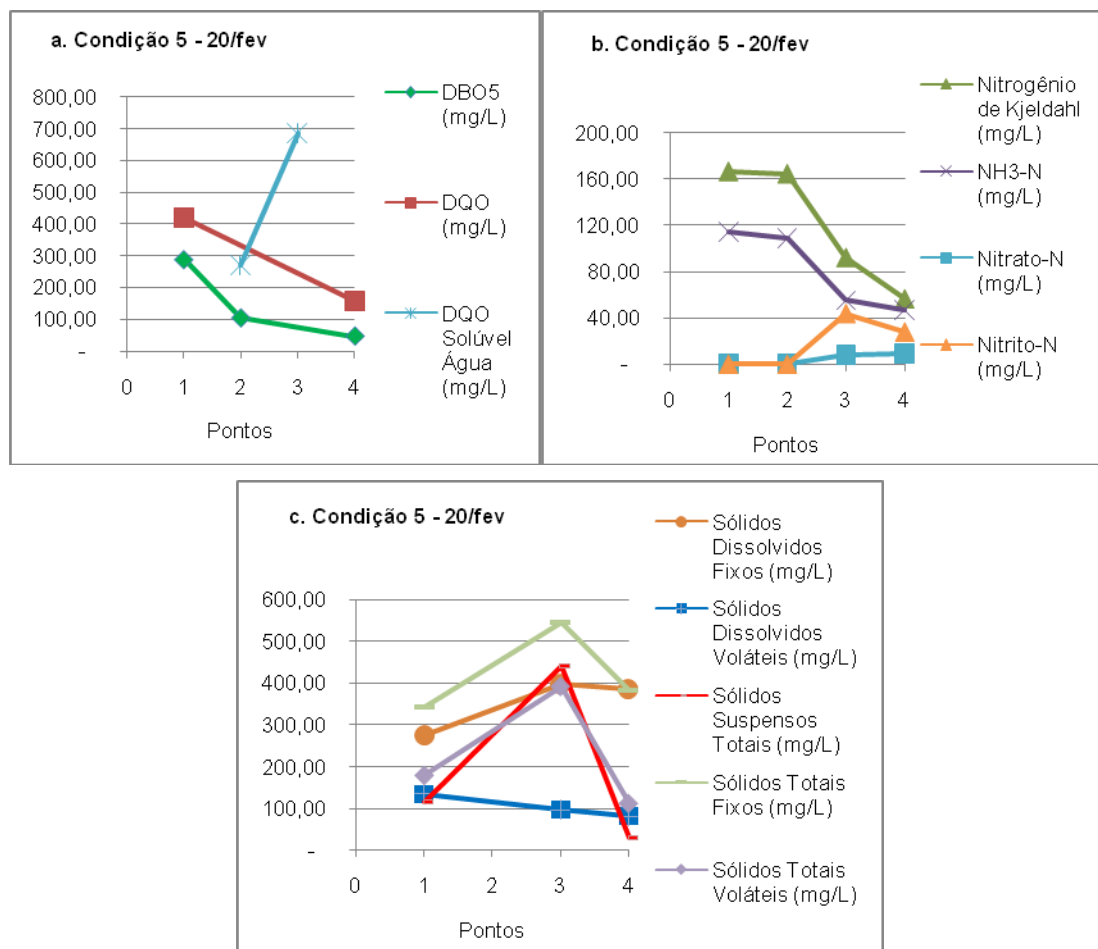


Gráfico 5 - Resultados obtidos na condição 5. Fonte: Primária, 2014.

Com a alteração da aeração para 15 minutos ligada e 15 minutos desligada, novamente com dosagem de alcalinizante para controle de pH, a eficiência do sistema melhorou. Foram obtidos valores de 84%, 63%, 66% e 59% para DBO5, DQO, NTK e nitrogênio amoniacal, respectivamente.

Condição 6

Os gráficos 6a, 6b e 6c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3) e saída do sistema (ponto 4), na condição 6.

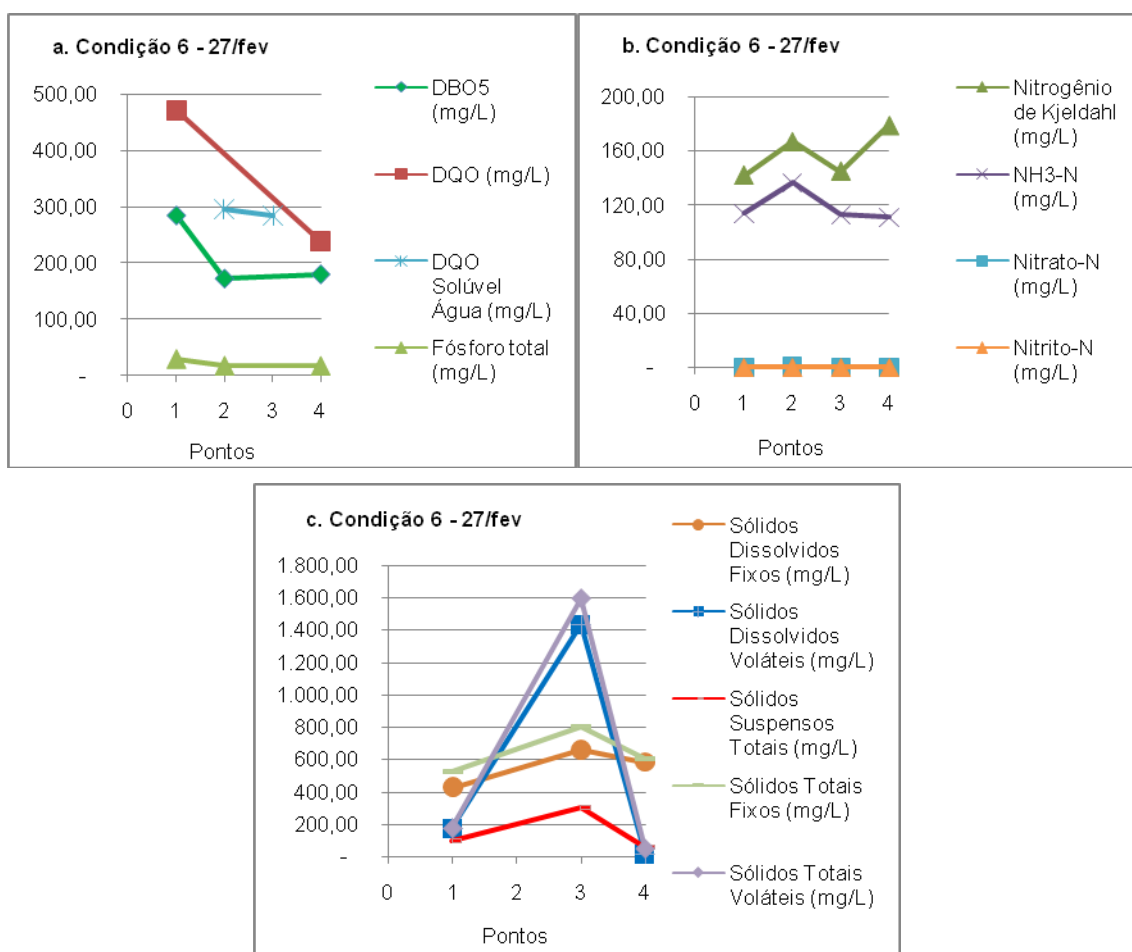


Gráfico 6 - Resultados obtidos na condição 6. Fonte: Primária, 2014.

A condição 6, quando se iniciou a dosagem de vinhoto no SBR, não apresentou bons resultados. A quantidade de sólidos dissolvidos voláteis e sólidos totais voláteis aumentou consideravelmente dentro do SBR, mas as eficiências de remoção de DBO5, DQO e nitrogênio amoniacal ficaram em 36%, 49% e 2,5%, respectivamente, referente a eficiência total do sistema (UASB+SBR). A concentração de NTK encontrada na saída do sistema foi maior do que na fossa, provavelmente devido à alta concentração de NTK do vinhoto.

A coleta foi repetida na condição 6 para acrescentar o ponto 5 (mistura), onde foram analisados os parâmetros de NTK, NO3-, NO2-N, NH3-N e fósforo total. Os gráficos 7a, 7b e 7c apresentam os resultados incluindo o ponto 5.

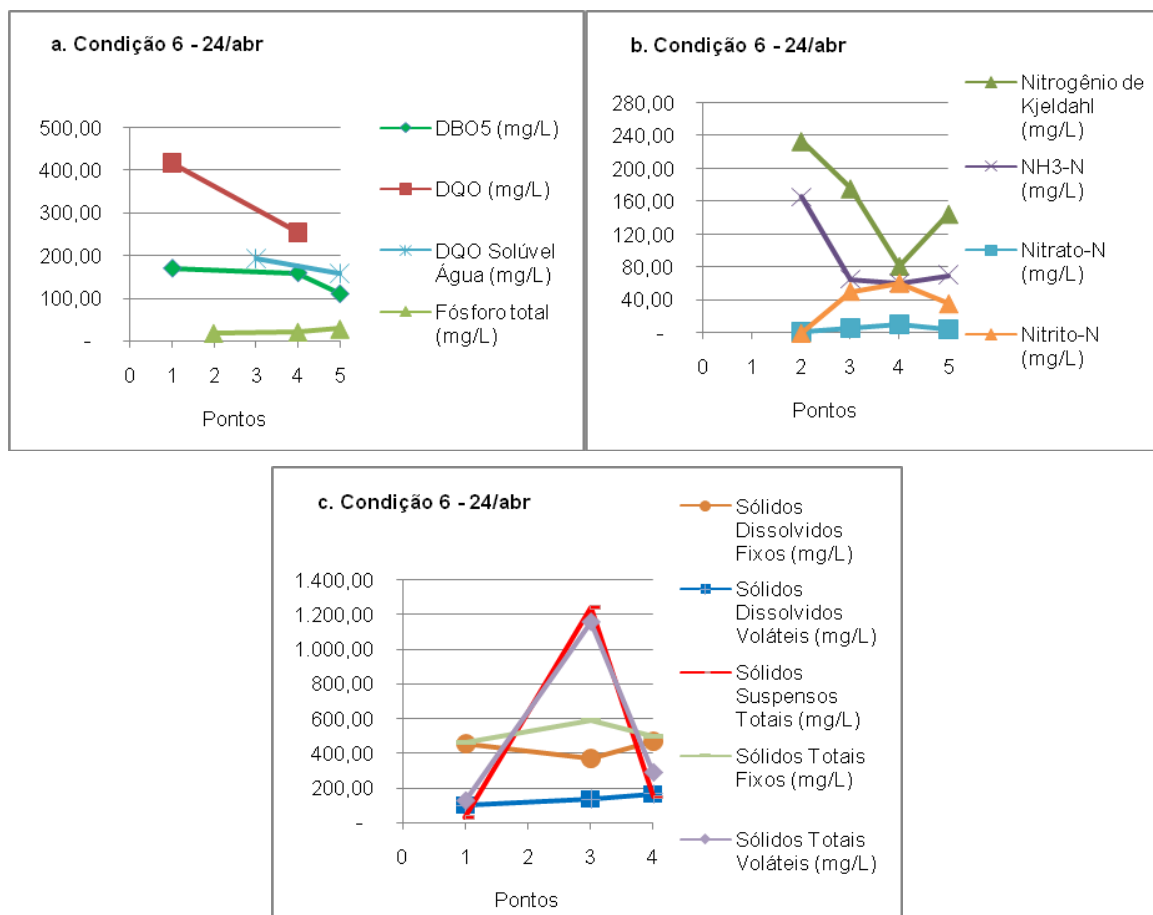


Gráfico 7 - Resultados obtidos na condição 6, incluindo o ponto 5. Fonte: Primária, 2014.

Considerando agora apenas a eficiência do SBR, com os valores do ponto 5 (mistura), como concentração inicial e o ponto 4 (saída) como concentração final, verificou-se a remoção de 44% de NTK, mas os outros parâmetros tiveram resultados muito abaixo do esperado. O nitrogênio amoniacal houve remoção de 13% e não foi possível constatar remoção de DBO.

A condição 6 manteve o mesmo ciclo de aeração e tempo de decantação que a condição 5, apenas com a diferença da dosagem de vinhoto (60 mL). Esperava-se com esta dosagem fornecer carga orgânica para melhorar a remoção de nitrogênio, fato este que não ocorreu.

Condição 7

Os gráficos 8a, 8b e 8c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3), saída do sistema (ponto 4) e mistura (ponto 5), na condição 7.

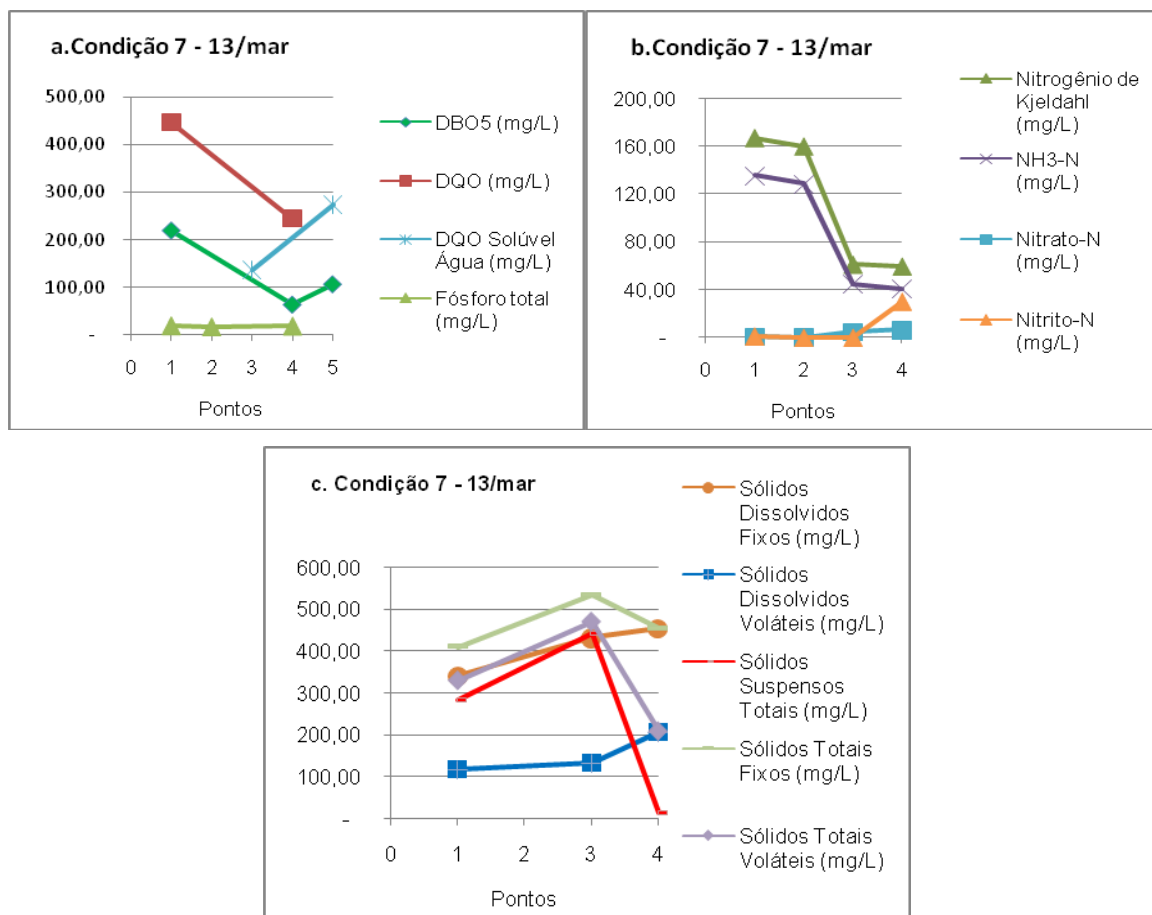


Gráfico 8 - Resultados obtidos na condição 7. Fonte: Primária, 2014.

Na condição 7 a dosagem de vinhoto aumentou de 60 mL para 730 mL, o que não significou aumento dos sólidos dentro do reator, mas melhorou as eficiências comparando o ponto 1 (fossa) com o ponto 4 (saída SBR). Os valores obtidos foram de 71%, 45%, 64% e 70% para DBO5, DQO, NTK e nitrogênio amoniacal, respectivamente.

A coleta na condição 7 também foi repetida para incluir outros parâmetros no ponto 5 (mistura). Os gráficos 9a, 9b e 9c apresentam estes resultados.

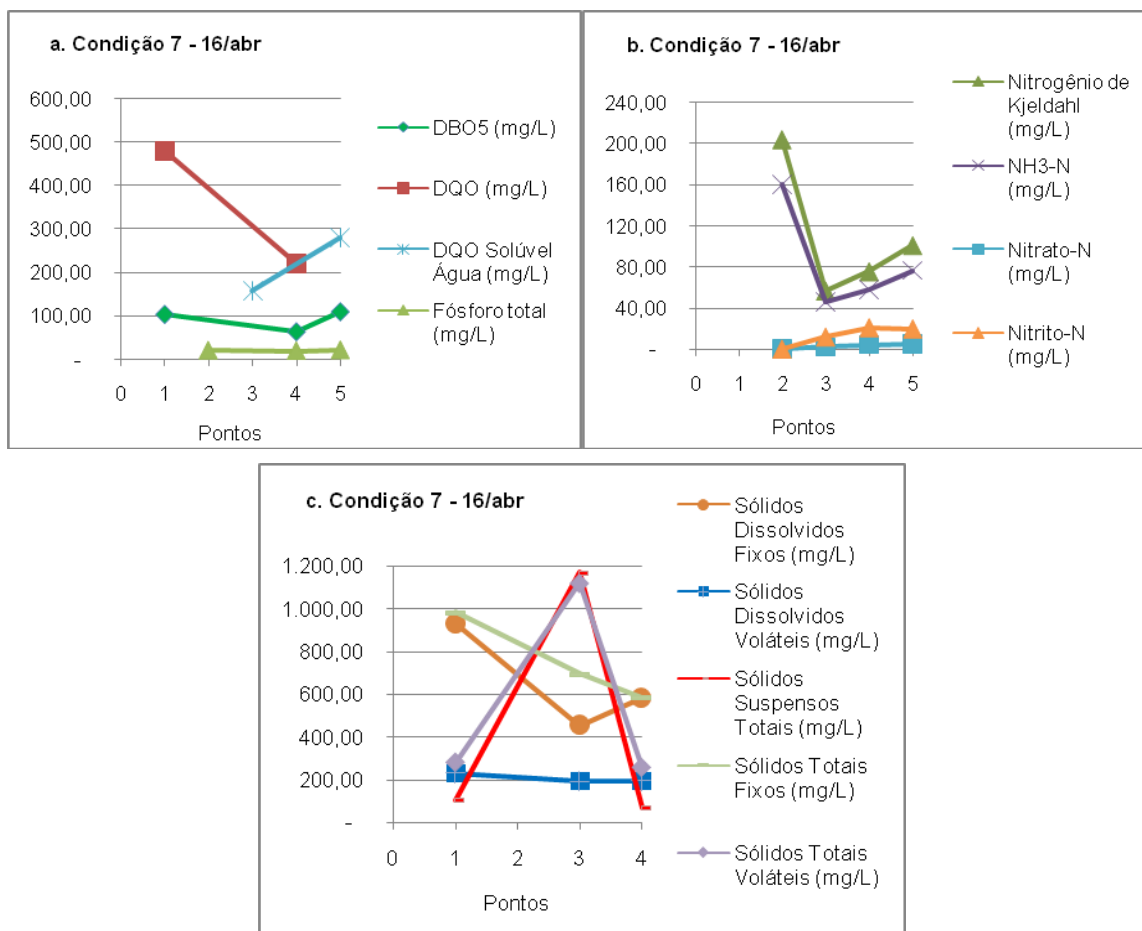


Gráfico 9 - Resultados obtidos na condição 7, incluindo o ponto 5. Fonte: Primária, 2014.

Considerando apenas a eficiência do SBR, foram obtidos valores de aproximadamente 41%, 25% e 24% para DBO5, NTK e nitrogênio amoniacal.

Na condição 7 foi testado um tempo menor de decantação, de 30 minutos, para diminuir a possibilidade de ocorrer desnitrificação durante a decantação e conseqüentemente, a flotação de lodo. Os resultados das análises nesta condição não foram muito diferentes das outras, por isso retornou-se ao tempo original de 1h30min de decantação no teste seguinte.

Condição 8

Os gráficos 10a, 10b e 10c apresentam os resultados da entrada do sistema (ponto 1), saída do reator UASB (ponto 2), interior do reator SBR (ponto 3), saída do sistema (ponto 4) e mistura (ponto 5), na condição 8.

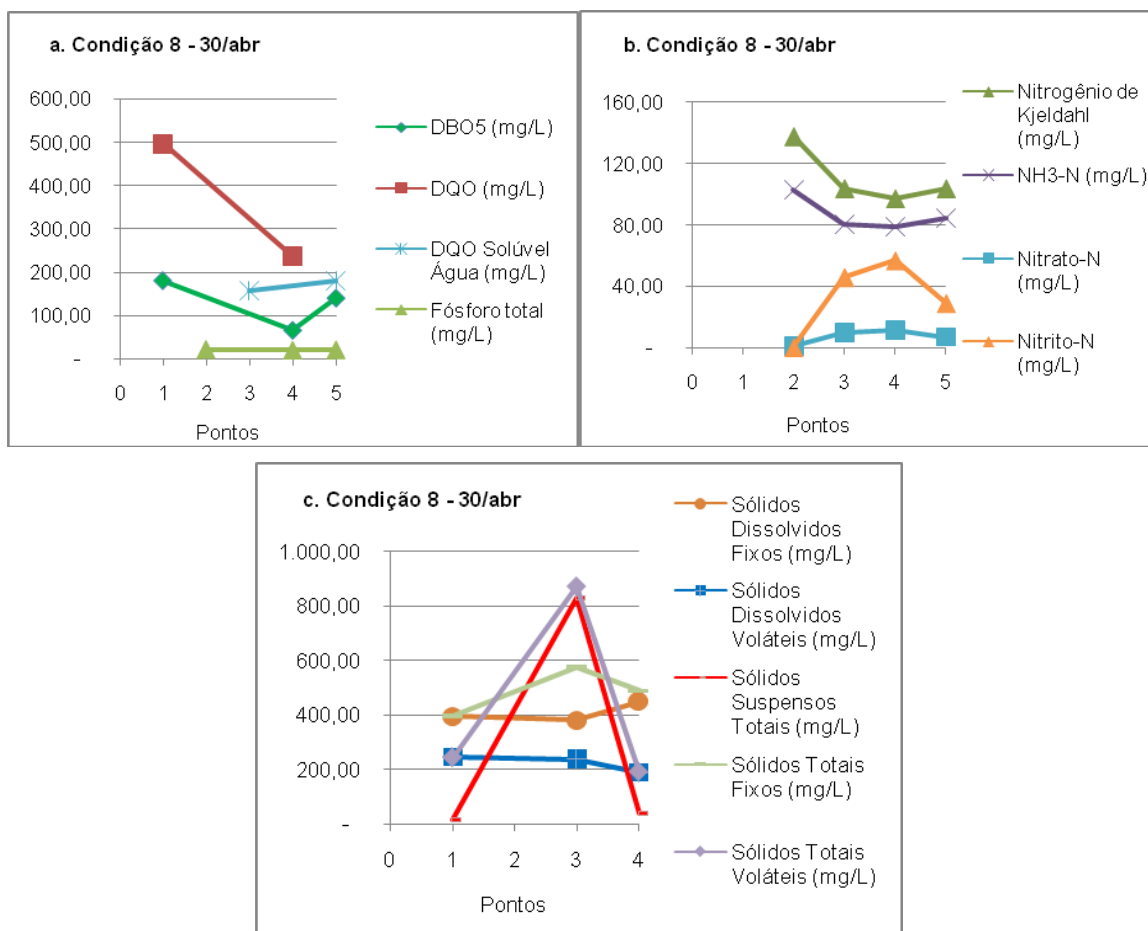


Gráfico 10 - Resultados obtidos na condição 8. Fonte: Primária, 2014.

O reator SBR na condição 8 apresentou remoção de 53% de DBO5 e o sistema como um todo, incluindo o UASB, removeu 63% deste parâmetro e 52% de DQO. O SBR removeu apenas 6% de NTK e 6,5% de nitrogênio amoniacal.

Resumo dos resultados

A tabela 3 apresenta o resumo das eficiências de remoção dos parâmetros DBO5, DQO, NTK e NH3-N de acordo com as análises laboratoriais.

Tabela 3 - Eficiência de remoção de DBO5, DQO, NTK e NH3-N. Fonte: Primária, 2015.

Condição	DBO5	DQO	NTK	NH3-N
1	60%	45%	54%	58%
2	64%	22%	60%	57%
3	75%	37%	47%	47%
4	16%	35%	51%	12%
5	84%	63%	66%	59%
6(UASB + SBR)	36%	49%	-- ⁽¹⁾	2,5%
6 (SBR)	-- ⁽¹⁾	X ⁽²⁾	44%	13%
7(UASB + SBR)	71%	45%	64%	70%
7 (SBR)	41%	X ⁽²⁾	25%	24%
8 (SBR)	53%	X ⁽²⁾	6%	6,5%

⁽¹⁾ não houve remoção deste parâmetro.

⁽²⁾ não houve análise deste parâmetro nesta condição.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme as análises laboratoriais, a condição 5 teve melhores resultados na remoção de DBO5, DQO, NTK e remoção satisfatória de NH3-N, neste último parâmetro só ficando atrás da condição 7. Esta condição foi a única que conseguiu remover mais de 80% de DBO5 e mais de 60% de DQO.

Mesmo sem a dosagem de alcalinizante nas três primeiras condições, a remoção de DBO5, DQO, NTK e NH3-N foi satisfatória (com exceção da DQO nas condições 2 e 3, que removeu apenas 22% e 37%, respectivamente), visto que o pH do efluente no reator SBR nunca esteve abaixo de 7,0.

A dosagem de 60 mL de vinhoto nas condições 6 e 8, que repetiram a intermitência de aeração das condições 5 e 4, respectivamente, aparentemente não apresentaram vantagens quanto à remoção de nitrogênio, ao se comparar as análises de laboratório. A alta carga orgânica e de nitrogênio introduzida não foi satisfatoriamente reduzida no sistema, de acordo com os laudos das análises laboratoriais.

Ao avaliar as análises laboratoriais, de modo geral a intermitência na aeração não trouxe grandes vantagens quanto a remoção de nitrogênio, pois o sistema com aeração contínua foi capaz de reduzir 54% de NTK e 58% de NH3-N, e as condições com intermitência removeram de 44 - 66% de NTK e no máximo 70% de NH3-N.

Recomenda-se um maior período de operação em cada uma das condições, para que mais análises possam ser feitas durante o funcionamento de cada uma delas e assim aumentar a precisão dos resultados mostrados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Multiágua Engenharia Ambiental (<http://www.multiagua.com>), de Blumenau, SC, pela doação dos tanques utilizados na pesquisa e ao Fundo de Apoio à Pesquisa – FAP da Universidade da região de Joinville – UNIVILLE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACQUAPLANT. Relatório de análise. Joinville, 2014.
2. AMERICA PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. th. Washington, 2005.
3. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, 2007, 380 p.
4. COSTA, T. B. Desempenho de reator em batelada sequencial (RBS) com enchimento escalonado no tratamento de esgoto sanitário doméstico. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Programa de Pós - graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, SC, 145 p., 2005.
5. CYBIS, L.F., SANTOS, A.V., GEHLING, G.R. Eficiência do reator sequencial em batelada (RBS) na remoção de nitrogênio no tratamento de esgoto doméstico com DQO baixa. In: ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Rio de Janeiro, v.9, n.3, set. 2004.
6. HOFFMANN, H., WEITZ, J., COSTA, T. B., WOLFF, D. B., PLATZER, C., COSTA, R. H. R. Avaliação da nitrificação e desnitrificação em um reator sequencial por batelada como processo descentralizado para tratamento de esgoto sanitário. In: Congresso AIDIS, Porto Rico, 2004.
7. IAMAMOTO, C.Y. Remoção de nitrogênio de águas residuárias com elevada concentração de nitrogênio amoniacal em reator contendo biomassa em suspensão operado em bateladas sequenciais e sob aeração intermitente. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo -Programa de Pós - graduação em Hidráulica e Saneamento. São Paulo, SP, 139 p., 2006.
8. JORDÃO, E. P, PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4ed. Rio de Janeiro, ABES, 2005, 932 p.
9. KIELING, D. D. Estudo da remoção biológica de nitrogênio a partir de lodo nitrificante cultivado em meio autotrófico sob condições anóxicas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Programa de Pós - graduação em Engenharia Química. Florianópolis, SC, 106 p., 2004.
10. MORAES, B. S., ORRÚ, J. G. T., FORESTI, E. Nitrogen and sulfide removal from effluent of UASB reactor in a sequencing fed-batch biofilm reactor under intermittent aeration. In: Journal of Biotechnology 164, p. 378-385, 2013.
11. PROJETO PROSAB. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro. ABES, 2009, 428 p.
12. RUBINO, F.F., ARAÚJO, O.Q.F., COELHO, M.A.Z. (2003) Remoção biológica de nutrientes em reator em batelada sequencial. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, RJ.
13. SANTOS, E. V. M. Desnitrificação em sistemas de lodo ativado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB, 114 p, 2009. VON SPERLING, M. Lodos ativados. 2.ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, 2002, 428 p.
14. VON SPERLING, M. Lodos ativados. 2.ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, 2002, 428 p.