Roberto Antonio Bezerra Junior

INFLUÊNCIA DA CARGA ORGÂNICA, DA CARGA DE CHOQUE, DO TEMPO
DE ALIMENTAÇÃO E DA SUPLEMENTAÇÃO DE ALCALINIDADE EM UM
ASBBR COM RECIRCULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE SORO DE QUEIJO

Tese apresentada ao Departamento de Hidráulica e
Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Doutor em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. José Alberto Domingues Rodrigues

São Carlos
Julho de 2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B574i

Bezerra Junior, Roberto Antonio

Influência da carga orgânica, da carga de choque, do tempo de alimentação e da suplementação de alcalinidade em um ASBBR com recirculação para tratamento de soro de queijo / Roberto Antonio Bezerra Junior ; orientador José Alberto Domingues Rodrigues. -- São Carlos, 2007.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Reatores anaeróbios. 2. Tratamento de águas residuárias. 3. Queijo - soro. 4. Carga orgânica volumétrica. 5. Carga de choque. . I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **ROBERTO ANTONIO BEZERRA JUNIOR**

Tese defendida e julgada em 04/07/2007 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **JOSÉ ALBERTO DOMINGUES RODRIGUES (Orientador)**
(Escola de Engenharia de Mauá/EEM) APROVADO

Prof. Titular **EUGÊNIO FORESTI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovado

Prof. Dr. **CARLOS AUGUSTO DE LEMOS CHERNICHARO**
(Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG) APROVADO

Prof. Dr. **WILLIBALDO SCHMIDELL NETTO**
(Escola Politécnica/USP) APROVADO

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia (Hidráulica e Saneamento)

Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da FESC

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meu maior orgulho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela saúde, pela paz, pelo sol de cada dia, pelos pássaros, pelo céu, pelas nuvens, pela água, pela chuva, pela terra, pelas flores, pelos bichinhos, pela brisa no rosto, enfim, por cada forma de vida, e por mais esta vitória !

Aos meus pais, pelo amor, pelo carinho, pelo incentivo, e pela companhia ! Eu amo muito vocês !

À vovó falecida Benedita Barbosa Fantinatti, pelas palavras maravilhosas e positivas, pelo carinho e pelas orações que tenho certeza que ainda faz por mim, obrigado, obrigado, muito obrigado ! Um dia ainda iremos nos encontrar !

Ao meu grande amigo de infância Alexandre Ferreira (Xú), pelo apoio e pela amizade. Amigo, você é o mais certo das horas incertas !

À Maria Cândida Penteado, pelo apoio, carinho, companheirismo, e pelos momentos inesquecíveis de alegria e descontração que me proporcionou.

Ao médico neurologista Dr. Antônio Cezar Ribeiro Galvão, do Centro de Diagnóstico de Dor e Neurocirurgia Funcional do Hospital 9 de Julho, ao médico ortopedista Dr. Celso Nishihara, do Hospital Brasil, e à acupunturista Iara Ponce Casal, por todo empenho, paciência, competência e profissionalismo no meu tratamento.

Ao Dr. José Alberto Domingues Rodrigues e à Dra. Suzana Maria Ratusznei, pela orientação, competência, profissionalismo, amizade, e por terem finalmente conseguido me mostrar que, como todas as pessoas, eu também sou capaz ! Muito obrigado !

Ao professor Dr. Walter Borzani, por toda ajuda e pelos conselhos tão valiosos.

Aos professores da Mauá Dr. José Luiz Fejfar, Dr. Gustavo Ferreira Leonhardt, Moacyr Jorge Elias e Cid Nardy, pela amizade, pelo apoio e pelas dicas.

À Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, por ter cedido o espaço para que a etapa experimental deste trabalho fosse realizada. Ao pessoal da oficina pela construção do reator.

Ao Dr. Baltus C. Bonse, pela ajuda no inglês.

Ao Dr. Arnaldo Sarti, pela revisão do trabalho.

À FAPESP, pelo auxílio financeiro e pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores da Escola de Engenharia de São Carlos Dr. Marcelo Zaiat e Dr. Eugênio Foresti, pela amizade, pelas sugestões no trabalho e por toda ajuda.

Aos meus colegas de laboratório: Amer, Gregor, Catarina, Leonardo, Fabiana, Mariana, Gustavo, Alisson, Renato, Daniela, Denise, Ana Cláudia, Ricardo, Rogério, Thiago, Rodrigo, Andreza, Roberta, Camila, Rafael e José Antonio.

Ao meu primo Sérgio Castaldelli, pelo auxílio na mudança e pelos momentos de muitas risadas e descontração (Valeu Sézinha !).

Às minhas tias Antonia Martins Vitali e Nereide Martins Castaldelli, por todo carinho, atenção e incentivo que sempre me deram ao longo da vida.

À tia Ziza e toda família em Caruaru-PE, pelo apoio e pela torcida ! Eu amo todos vocês !

À minha super amiga Kely Mércia Leal, pela amizade, pela atenção e pelo companheirismo.

Às pessoas que, cada um de sua maneira, contribuíram para realização deste trabalho, minha sincera gratidão.

O Último Discurso (de O Grande Ditador)

Sinto muito, mas não pretendo ser um imperador. Não é esse o meu ofício. Não pretendo governar ou conquistar quem quer que seja. Gostaria de ajudar, se possível, judeus, o gentio, negros, brancos...

Todos nós desejamos ajudar uns aos outros. Os seres humanos são assim. Desejamos viver para a felicidade do próximo, não para seu infortúnio. Por quê havemos de odiar e desprezar uns aos outros ? Neste mundo há espaço para todos. A terra, que é boa e rica, pode prover à todas as nossas necessidades.

O caminho da vida pode ser o da liberdade e da beleza, porém, nos extraviamos. A cobiça envenenou a alma dos homens, levantou no mundo as muralhas do ódio, e tem nos feito marchar a passo de ganso para a miséria e os morticínios. Criamos a época da velocidade, mas nos sentimos enclausurados dentro dela. A máquina, que produz abundância, tem nos deixado em penúria. Nossos conhecimentos fizeram-nos céticos; nossa inteligência, emperdenidos e cruéis. Pensamos em demasia e sentimos bem pouco. Mais do que de máquinas, precisamos de humanidade. Mais do que de inteligência, precisamos de afeição e doçura. Sem essas virtudes, a vida será de violência e tudo será perdido.

A aviação e o rádio aproximaram-nos muito mais. A própria natureza dessas coisas é um apelo eloqüente à bondade do homem, um apelo à fraternidade universal, à união de todos nós. Neste mesmo instante a minha voz chega a milhões de pessoas pelo mundo afora, milhões de desesperados, homens, mulheres, criancinhas, vítimas de um sistema que tortura seres humanos e encarcera inocentes. Aos que me podem ouvir eu digo: “Não desespereis !” A desgraça que tem caído sobre nós não é mais do que o produto da cobiça em agonia, da amargura de homens que temem o progresso humano. Os homens que odeiam desaparecerão, os ditadores sucumbem e o poder que do povo arrebataram há de retornar ao povo. E assim, enquanto morrem homens, a liberdade nunca perecerá.

Soldados ! Não vos entregueis a esses brutais, que vos desprezam, que vos escravizam, que arregimentam as vossas vidas, que ditam os vossos atos, as vossas idéias e os vossos sentimentos ! Que vos fazem marchar no mesmo passo, que vos submetem a uma alimentação regrada, que vos tratam como um gado humano e que vos utilizam como carne para canhão ! Não sois máquina! Homens é que sois ! E com o

amor da humanidade em vossas almas ! Não odieis ! Só odeiam os que não se fazem amar, os que não se fazem amar e os inumanos !

Soldados ! Não batalheis pela escravidão ! Luteis pela liberdade ! No décimo sétimo capítulo de São Lucas é escrito que o Reino de Deus está dentro do homem, não de um só homem ou um grupo de homens, mas dos homens todos ! Está em vós ! Vós, o povo, tendes o poder, o poder de criar máquinas. O poder de criar felicidade ! Vós, o povo, tendes o poder de tornar esta vida livre e bela, de fazê-la uma aventura maravilhosa. Portanto, em nome da democracia, usemos desse poder, unamo-nos todos nós. Lutemos por um mundo novo, um mundo bom que a todos assegure o ensejo de trabalho, que dê futuro à mocidade e segurança à velhice.

É pela promessa de tais coisas que desalmados têm subido ao poder. Mas, só mistificam ! Não cumprem o que prometem. Jamais o cumprirão ! Os ditadores liberam-se, porém, escravizam o povo. Lutemos agora para libertar o mundo, abater as fronteiras nacionais, dar fim à ganância, ao ódio e à prepotência. Lutemos por um mundo de razão, um mundo em que a ciência e o progresso conduzam à ventura de todos nós. Soldados, em nome da democracia, unamo-nos !

Hannah, estás me ouvindo ? Onde te encontrares, levanta os olhos ! Vês, Hannah ? O sol vai rompendo as nuvens que se dispersam ! Estamos saindo da treva para a luz ! Vamos entrando num mundo novo, um mundo melhor, em que os homens estarão acima da cobiça, do ódio e da brutalidade. Ergue os olhos, Hannah ! A alma do homem ganhou asas e afinal começa a voar. Voa para o arco-íris, para a luz da esperança. Ergue os olhos Hannah ! Ergue os olhos !

Charles Chaplin

RESUMO

BEZERRA JUNIOR, R. A. (2007). *Influência da carga orgânica, da carga de choque, do tempo de alimentação e da suplementação de alcalinidade em um ASBBR com recirculação para tratamento de soro de queijo*. 422p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Neste trabalho avaliou-se o desempenho de um reator anaeróbio operado em batelada seqüencial e contendo biomassa imobilizada (ASBBR) em espuma de poliuretano quando submetido a diferentes tempos de alimentação e cargas orgânicas volumétricas, além da aplicação de cargas de choque orgânicas. O reator, com mistura por recirculação da fase líquida e mantido à 30 ± 1 °C, tratou soro de queijo reconstituído e possuiu 2,5 l de volume reacional. Os resultados mostraram que o tempo de alimentação utilizado exerceu maior influência sobre o desempenho do reator para maiores valores de carga orgânica volumétrica. Durante a operação com carga orgânica volumétrica de $3 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a alteração do tempo de alimentação não influenciou na eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, que foi de 98 %. Sob carregamento orgânico volumétrico de $6 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, verificou-se tendência de queda daquela variável para maiores tempos de enchimento: 99, 98 e 97 %, para tempos de alimentação de 2, 4 e 6 horas, respectivamente. Na operação com carga orgânica volumétrica de $12 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, o aumento do tempo de alimentação resultou em queda mais significativa da eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada: 97, 95 e 93 %, para tempos de alimentação de 2, 4 e 6 horas, respectivamente. Em todas as condições, a aplicação de cargas de choque de $24 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ causaram o aumento da concentração de ácidos no efluente. No entanto, apesar desse aumento, o reator retomou rapidamente sua estabilidade, sendo a alcalinidade otimizada ao afluente suficiente para manter o pH próximo do neutro durante toda a operação. Independente da carga orgânica volumétrica aplicada, a operação com tempo de alimentação de 2 horas foi aquela que proporcionou maior estabilidade e menor suscetibilidade do processo às cargas de choque orgânicas.

Palavras-chave: ASBBR, soro de queijo, carga orgânica volumétrica, carga de choque orgânica, otimização de alcalinidade.

ABSTRACT

BEZERRA JUNIOR, R. A. (2007). *Effect of organic load, shock load, feeding time and alkalinity supplementation in an ASBBR with recirculation for cheese whey treatment*. 422p. Thesis (Doctorate) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

This work assessed the performance of an anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass (ASBBR) on polyurethane foam when submitted to different feeding times, volumetric loading rate and organic shock loads. The reactor, in which mixing occurred by recirculating the liquid phase, contained 2,5 l reaction medium and was maintained at 30 ± 1 °C for treating reconstituted cheese whey. Results showed that the effect of feeding time on reactor performance was more pronounced at higher volumetric loading rates. During operation at volumetric loading rate of $3 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, changing feeding time did not affect filtered organic matter removal efficiency, which amounted to 98 %. At volumetric loading rate of $6 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, removal efficiency showed a tendency to drop at higher feeding times: 99, 98 and 97 %, for feeding times of 2, 4 and 6 hours, respectively. At volumetric loading rate of $12 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, increase in feeding time resulted in a more significant drop in filtered organic matter removal efficiency: 97, 95 and 93 %, for feeding times of 2, 4 and 6 hours, respectively. Application of shock loads of $24 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ caused increase in acids concentration in the effluent, at all conditions. However, despite this increase, the reactor readily regained stability and optimized alkalinity supplementation to the influent was sufficient to maintain near neutral pH during the entire operation. Regardless of applied volumetric loading, operation with feeding time of 2 hours was which yielded maximum stability and reduced susceptibility of the process to organic shock loads.

Keywords: ASBBR, cheese-whey, volumetric loading rate, organic shock load, alkalinity optimization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1: Esquema do sistema utilizado para tratamento do soro de queijo.....	38
FIGURA 4.2: Fotografia da montagem experimental.....	39
FIGURA 4.3: Fotografia do reator em funcionamento	39
FIGURA 4.4: Fotografia dos cubos de espuma de poliuretano antes (esquerda) e depois (direita) da imobilização.....	44
FIGURA 5.1: Concentração de matéria orgânica no efluente para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	64
FIGURA 5.2: Eficiência de remoção de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	65
FIGURA 5.3: Alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	66
FIGURA 5.4: Concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	66
FIGURA 5.5: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	68
FIGURA 5.6: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	68
FIGURA 5.7: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	69
FIGURA 5.8: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	69
FIGURA 5.9: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	70

FIGURA 5.10: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	70
FIGURA 5.11: Produção de metano ao longo do ciclo para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	71
FIGURA 5.12: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	73
FIGURA 5.13: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	73
FIGURA 5.14: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	74
FIGURA 5.15: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	74
FIGURA 5.16: Concentração de matéria orgânica no efluente para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	78
FIGURA 5.17: Eficiência de remoção de matéria orgânica para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	78
FIGURA 5.18: Fotografia do reator no oitavo dia de operação – Problema de separação do leite	79
FIGURA 5.19: Fotografia do leite do reator (em detalhe) no oitavo dia de operação Problema de separação do leite.....	79

FIGURA 5.20: Fotografia do leito do reator ao final do ensaio – Problema de formação de material polimérico	80
FIGURA 5.21: Fotografia de parte do leito do reator ao final do ensaio – Problema de formação de material polimérico	80
FIGURA 5.22: Alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	82
FIGURA 5.23: Concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	83
FIGURA 5.24: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	84
FIGURA 5.25: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	84
FIGURA 5.26: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	85
FIGURA 5.27: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	85
FIGURA 5.28: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	86
FIGURA 5.29: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	86
FIGURA 5.30: Produção de metano ao longo do ciclo para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	87
FIGURA 5.31: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	89

FIGURA 5.32: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	89
FIGURA 5.33: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	90
FIGURA 5.34: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	90
FIGURA 5.35: Concentração de matéria orgânica no efluente para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	93
FIGURA 5.36: Eficiência de remoção de matéria orgânica para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	94
FIGURA 5.37: Alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	95
FIGURA 5.38: Concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	95
FIGURA 5.39: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	97
FIGURA 5.40: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	97
FIGURA 5.41: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	98
FIGURA 5.42: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	98

FIGURA 5.43: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	99
FIGURA 5.44: Produção de metano ao longo do ciclo para a operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	99
FIGURA 5.45: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	100
FIGURA 5.46: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	101
FIGURA 5.47: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	101
FIGURA 5.48: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	102
FIGURA 5.49: Concentração de matéria orgânica no efluente durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados	105
FIGURA 5.50: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados	105
FIGURA 5.51: Alcalinidade a bicarbonato durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados	106
FIGURA 5.52: Concentração de ácidos voláteis totais durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados.....	106

FIGURA 5.53: Concentração de matéria orgânica no efluente durante as três relações V_A/V_u testadas.....	111
FIGURA 5.54: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante as três relações V_A/V_u testadas.....	111
FIGURA 5.55: Alcalinidade a bicarbonato durante as três relações V_A/V_u testadas ..	112
FIGURA 5.56: Concentração de ácidos voláteis totais durante as três relações V_A/V_u testadas.....	112
FIGURA 5.57: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$	114
FIGURA 5.58: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$	114
FIGURA 5.59: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$	115
FIGURA 5.60: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$	115
FIGURA 5.61: Concentração de matéria orgânica no efluente durante todo o período de operação do reator.....	118
FIGURA 5.62: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante todo o período de operação do reator	119
FIGURA 5.63: Alcalinidade a bicarbonato durante todo o período de operação do reator	121
FIGURA 5.64: Concentração de ácidos voláteis totais durante todo o período de operação do reator	121
FIGURA 5.65: Perfil de produção de metano nas três condições de carga orgânica volumétrica estudadas	122

- FIGURA 5.66: Ajuste do modelo cinético de primeira ordem aos dados de perfil de concentração de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ considerando (a) C_{SR} fixo e (b) C_{SR} variável125
- FIGURA 5.67: Ajuste do modelo cinético de primeira ordem aos dados de perfil de concentração de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ considerando (a) C_{SR} fixo e (b) C_{SR} variável 126
- FIGURA 5.68: Ajuste do modelo cinético de primeira ordem aos dados de perfil de concentração de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ considerando (a) C_{SR} fixo e (b) C_{SR} variável 126
- FIGURA 5.69: Constante cinética aparente obtida para diferentes cargas orgânicas volumétricas..... 127
- FIGURA 5.70: Concentração de matéria orgânica no efluente durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.132
- FIGURA 5.71: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.133
- FIGURA 5.72: Alcalinidade a bicarbonato durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 133
- FIGURA 5.73: Concentração de ácidos voláteis totais durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.134
- FIGURA 5.74: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 136

FIGURA 5.75: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	136
FIGURA 5.76: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	137
FIGURA 5.77: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	137
FIGURA 5.78: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	138
FIGURA 5.79: Perfis de concentração de metano para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	139
FIGURA 5.80: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	140
FIGURA 5.81: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	140
FIGURA 5.82: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	141
FIGURA 5.83: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	143
FIGURA 5.84: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	143
FIGURA 5.85: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	144

- FIGURA 5.86: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h ,na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....146
- FIGURA 5.87: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h ,na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....146
- FIGURA 5.88: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h ,na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....147
- FIGURA 5.89: Perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....147
- FIGURA 5.90: Concentração de matéria orgânica no efluente durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ 151
- FIGURA 5.91: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ 152
- FIGURA 5.92: Alcalinidade a bicarbonato durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ 152
- FIGURA 5.93: Concentração de ácidos voláteis totais durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ 152
- FIGURA 5.94: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ 156
- FIGURA 5.95: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ 156

FIGURA 5.96: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	157
FIGURA 5.97: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	157
FIGURA 5.98: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	158
FIGURA 5.99: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	158
FIGURA 5.100: Perfis de concentração de metano para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	159
FIGURA 5.101: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	159
FIGURA 5.102: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	160
FIGURA 5.103: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	160
FIGURA 5.104: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	162
FIGURA 5.105: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	163
FIGURA 5.106: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	163

- FIGURA 5.107: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....164
- FIGURA 5.108: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....164
- FIGURA 5.109: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....165
- FIGURA 5.110: Perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....165
- FIGURA 5.111: Concentração de matéria orgânica no efluente durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 173
- FIGURA 5.112: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 174
- FIGURA 5.113: Alcalinidade a bicarbonato durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 174
- FIGURA 5.114: Concentração de ácidos voláteis totais durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 175
- FIGURA 5.115: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 177
- FIGURA 5.116: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 177

- FIGURA 5.117: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 178
- FIGURA 5.118: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 178
- FIGURA 5.119: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 179
- FIGURA 5.120: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 179
- FIGURA 5.121: Perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 180
- FIGURA 5.122: Perfis de concentração de metano para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 180
- FIGURA 5.123: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 2 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 181
- FIGURA 5.124: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 4 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 181
- FIGURA 5.125: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ 182
- FIGURA 5.126: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....183
- FIGURA 5.127: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)183

FIGURA 5.128: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	184
FIGURA 5.129: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	184
FIGURA 5.130: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	185
FIGURA 5.131: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	185
FIGURA 5.132: Eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas do efluente em função da carga orgânica volumétrica aplicada para diferentes tempos de alimentação	187
FIGURA 5.133: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes à bacilos, bacilos curvos e víbrios	191
FIGURA 5.134: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes à bacilos e bacilos curvos	191
FIGURA 5.135: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes à bacilos, bacilos curvos e estreptococos.....	192
FIGURA 5.136: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes à bacilos e à <i>Methanosaeta</i> sp	192

FIGURA 5.137: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes à <i>Methanosaeta</i> sp.....	193
FIGURA 5.138: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica de contraste de fase por fluorescência: células semelhantes à bacilos fluorescentes	193
FIGURA 5.139: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica de contraste de fase por fluorescência: células semelhantes à cocos e víbrios fluorescentes	194

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: Porcentagem média dos constituintes do soro doce e ácido	27
TABELA 4.1: Composição do soro de queijo desidratado	41
TABELA 4.2: Composição da água residuária sintética utilizada	41
TABELA 4.3: Composição da água residuária sintética utilizada na <i>Etapa C</i> dos ensaios extras realizados	42
TABELA 4.4: Concentração do afluente e carga orgânica volumétrica aplicada para cada condição operacional do Subprojeto 1	48
TABELA 4.5: Tempos de alimentação, concentrações de afluente em condições de carga de choque e cargas orgânicas volumétricas em condições normais e em condições de carga de choque	54
TABELA 5.1: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada com COV de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	62
TABELA 5.2: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para a operação em batelada com COV de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	63
TABELA 5.3: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada com COV de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	76
TABELA 5.4: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para a operação em batelada com COV de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	77
TABELA 5.5: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada com COV de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	92

TABELA 5.6: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para a operação em batelada com COV de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	93
TABELA 5.7: Valores médios das variáveis monitoradas para as três etapas realizadas	103
TABELA 5.8: Valores médios das variáveis monitoradas nos ensaios com renovação parcial do volume de meio reacional.....	108
TABELA 5.9: Valores médios das variáveis monitoradas nas condições operacionais estudadas.....	117
TABELA 5.10: Sólidos presentes no reator nas condições operacionais estudadas....	118
TABELA 5.11: Valores de carga orgânica removida para as três condições de carga orgânica volumétrica estudadas.....	123
TABELA 5.12: Parâmetros obtidos no ajuste do modelo cinético aos dados experimentais de perfil de concentração de matéria orgânica filtrada .	127
TABELA 5.13: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	130
TABELA 5.14: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	131
TABELA 5.15: Valores de carga orgânica removida para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	135
TABELA 5.16: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	149

TABELA 5.17: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	150
TABELA 5.18: Valores de carga orgânica removida para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	155
TABELA 5.19: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	170
TABELA 5.20: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	171
TABELA 5.21: Valores de carga orgânica removida para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	173
TABELA 5.22: Valores otimizados da suplementação de alcalinidade ao afluente para a operação com carga orgânica volumétrica de 3, 6 e $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	188
TABELA I.1: Variáveis para condição operacional em que COV = $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	213
TABELA I.2: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que COV = $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	214
TABELA I.3: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que COV = $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	215
TABELA I.4: Variáveis para condição operacional em que COV = $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	216
TABELA I.5: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que COV = $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	217

TABELA I.6: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	218
TABELA I.7: Variáveis para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	219
TABELA I.8: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	220
TABELA I.9: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	221
TABELA I.10: Variáveis para as <i>Etapas A, B e C</i> da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	222
TABELA I.11: Concentração de sólidos no afluente para as <i>Etapas A, B e C</i> da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	223
TABELA I.12: Variáveis para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	224
TABELA I.13: Concentração de sólidos no afluente para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	225
TABELA I.14: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2 \text{ h}$, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	226
TABELA I.15: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 2 \text{ h}$, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	227
TABELA I.16: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 2 \text{ h}$, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	228

TABELA I.17: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	229
TABELA I.18: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	230
TABELA I.19: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	231
TABELA I.20: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	232
TABELA I.21: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	233
TABELA I.22: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	234
TABELA I.23: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h, COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	235
TABELA I.24: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	236
TABELA I.25: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	237
TABELA I.26: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h, COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	238
TABELA I.27: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	239

TABELA I.28: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	240
TABELA I.29: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	241
TABELA I.30: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	242
TABELA I.31: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	243
TABELA I.32: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	244
TABELA I.33: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	245
TABELA I.34: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	246
TABELA I.35: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	247
TABELA I.36: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	248
TABELA I.37: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	249

TABELA I.38: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	250
TABELA I.39: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	251
TABELA I.40: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	252
TABELA II.1: Variáveis para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	253
TABELA II.2: Variáveis para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	254
TABELA II.3: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	255
TABELA II.4: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	256
TABELA II.5: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	257
TABELA II.6: Variáveis para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	258
TABELA II.7: Variáveis para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	259
TABELA II.8: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	260

TABELA II.9: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	261
TABELA II.10: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	262
TABELA II.11: Variáveis para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	263
TABELA II.12: Variáveis para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	264
TABELA II.13: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	265
TABELA II.14: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	266
TABELA II.15: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	267
TABELA II.16: Variáveis para as <i>Etapas A, B e C</i> da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	268
TABELA II.17: Variáveis para as <i>Etapas A, B e C</i> da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	269
TABELA II.18: Concentração de sólidos no efluente para as <i>Etapas A, B e C</i> da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	270
TABELA II.19: Volume de efluente descarregado por ciclo nas <i>Etapas A, B e C</i> da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	271

TABELA II.20: Variáveis para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que	
COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	272
TABELA II.21: Variáveis para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que	
COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	273
TABELA II.22: Concentração de sólidos no efluente para as condições 1, 2 e 3 da	
condição operacional em que COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	274
TABELA II.23: Volume de efluente descarregado por ciclo nas condições 1, 2 e 3 da	
condição operacional em que COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	275
TABELA II.24: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,	
COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	276
TABELA II.25: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,	
COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	277
TABELA II.26: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que	
$t_A = 2$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	278
TABELA II.27: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no	
efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h,	
COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	279
TABELA II.28: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional	
em que $t_A = 2$ h, COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e	
COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	280
TABELA II.29: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,	
COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	281
TABELA II.30: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,	
COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV _{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	282

TABELA II.31: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que

$$t_A = 4 \text{ h, COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 283$$

TABELA II.32: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no

efluente para condição operacional em que $t_A = 4 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 284$$

TABELA II.33: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional

em que $t_A = 4 \text{ h, COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e}$

$$\text{COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 285$$

TABELA II.34: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 286$$

TABELA II.35: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 287$$

TABELA II.36: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que

$$t_A = 6 \text{ h, COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 288$$

TABELA II.37: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no

efluente para condição operacional em que $t_A = 6 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 289$$

TABELA II.38: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional

em que $t_A = 6 \text{ h, COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e}$

$$\text{COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 290$$

TABELA II.39: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 291$$

TABELA II.40: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 292$$

TABELA II.41: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que

$$t_A = 2 \text{ h, COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 293$$

TABELA II.42: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no

efluente para condição operacional em que $t_A = 2 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 294$$

TABELA II.43: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em

$$\text{que } t_A = 2 \text{ h, COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 295$$

TABELA II.44: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 296$$

TABELA II.45: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 297$$

TABELA II.46: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que

$$t_A = 4 \text{ h, COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 298$$

TABELA II.47: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no

efluente para condição operacional em que $t_A = 4 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 299$$

TABELA II.48: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional

em que $t_A = 4 \text{ h, COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e}$

$$\text{COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 300$$

TABELA II.49: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 301$$

TABELA II.50: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6 \text{ h,}$

$$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 302$$

TABELA II.51: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que

$$t_A = 6 \text{ h, COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \text{ e COV}_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1} \dots 303$$

TABELA II.52: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	304
TABELA II.53: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	305
TABELA II.54: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	306
TABELA II.55: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	307
TABELA II.56: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	308
TABELA II.57: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	309
TABELA II.58: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	310
TABELA II.59: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	311
TABELA II.60: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	312
TABELA II.61: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	313

TABELA II.62: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	314
TABELA II.63: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	315
TABELA II.64: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	315
TABELA II.65: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	317
TABELA II.66: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	318
TABELA II.67: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	319
TABELA II.68: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	320
TABELA III.1: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.	321
TABELA III.2: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	322
TABELA III.3: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	323

TABELA III.4: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	324
TABELA III.5: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	325
TABELA III.6: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	326
TABELA III.7: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	327
TABELA III.8: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	328
TABELA III.9: Perfil de produção de metano para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	329
TABELA III.10: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	330
TABELA III.11: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	331
TABELA III.12: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	332
TABELA III.13: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	333

TABELA III.14: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	334
TABELA III.15: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	335
TABELA III.16: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	336
TABELA III.17: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição operacional em que COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	337
TABELA III.18: Perfil de produção de metano para condição operacional em que COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	338
TABELA III.19: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	339
TABELA III.20: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	340
TABELA III.21: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	341
TABELA III.22: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	342
TABELA III.23: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	343

TABELA III.24: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	344
TABELA III.25: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	345
TABELA III.26: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição operacional em que COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	346
TABELA III.27: Perfil de produção de metano para condição operacional em que COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	347
TABELA III.28: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para a condição 1 com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	348
TABELA III.29: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para a condição 1 com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	349
TABELA III.30: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a condição 1 com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	350
TABELA III.31: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	351
TABELA III.32: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	352
TABELA III.33: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	353

TABELA III.34: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	354
TABELA III.35: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	355
TABELA III.36: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	356
TABELA III.37: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	357
TABELA III.38: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	358
TABELA III.39: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	359
TABELA III.40: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	360
TABELA III.41: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	361
TABELA III.42: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e	

COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	362
TABELA III.43: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	363
TABELA III.44: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	364
TABELA III.45: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	365
TABELA III.46: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	366
TABELA III.47: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	367
TABELA III.48: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	368
TABELA III.49: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	369
TABELA III.50: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).....	370

TABELA III.51: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	371
TABELA III.52: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	372
TABELA III.53: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	373
TABELA III.54: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	374
TABELA III.55: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	375
TABELA III.56: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	376
TABELA III.57: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	377
TABELA III.58: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	378
TABELA III.59: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	379

TABELA III.60: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	380
TABELA III.61: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	381
TABELA III.62: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	382
TABELA III.63: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	383
TABELA III.64: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	384
TABELA III.65: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	385
TABELA III.66: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	386
TABELA III.67: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	387
TABELA III.68: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	388

TABELA III.69: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	389
TABELA III.70: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	390
TABELA III.71: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	391
TABELA III.72: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	392
TABELA III.73: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	393
TABELA III.74: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	394
TABELA III.75: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	395
TABELA III.76: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	396
TABELA III.77: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	397

TABELA III.78: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	398
TABELA III.79: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	399
TABELA III.80: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	400
TABELA III.81: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	401
TABELA III.82: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	402
TABELA III.83: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	403
TABELA III.84: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).....	404
TABELA III.85: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	405
TABELA III.86: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	406

TABELA III.87: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	407
TABELA III.88: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	408
TABELA III.89: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	409
TABELA III.90: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	410
TABELA III.91: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	411
TABELA III.92: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	412
TABELA III.93: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	413
TABELA III.94: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	414
TABELA III.95: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	415

TABELA III.96: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	416
TABELA III.97: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	417
TABELA III.98: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	418
TABELA III.99: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	419
TABELA III.100: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	420
TABELA III.101: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	421
TABELA III.102: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$	422

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DQA	Departamento de Engenharia Química e Alimentos
EEM	Escola de Engenharia Mauá
IMT	Instituto Mauá de Tecnologia
SHS	Departamento de Hidráulica e Saneamento
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
DEQ	Departamento de Engenharia Química
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
ASBRs	Reatores Anaeróbios Operados em Bateladas Sequenciais (<i>Anaerobic Sequencing Batch Reactors</i>)
UASB	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Escoamento Ascendente
ASBR	Reator Anaeróbio Operado em Bateladas Sequenciais (<i>Anaerobic Sequencing Batch Reactor</i>)
CSTR	Reator de Mistura Completa e Alimentação Contínua
HAc	Ácido Acético
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão

L

LISTA DE SÍMBOLOS

TDH	Tempo de detenção hidráulica, d
TRC	Tempo de residência celular, d
DQO	Demanda química de oxigênio, gDQO.l^{-1}
COV	Carga orgânica volumétrica, $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$
COE	Carga orgânica específica, $\text{gDQO.gSSV}^{-1}.\text{d}^{-1}$
TDHs	Tempos de detenção hidráulica, d
COVs	Cargas orgânicas volumétricas, $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$
F/M	Relação substrato/microrganismo, $\text{gDQO.gSSV}^{-1}.\text{d}^{-1}$
C _{ST}	Concentração de matéria orgânica no efluente na forma não filtrada, mgDQO.l^{-1}
C _{SF}	Concentração de matéria orgânica no efluente na forma filtrada, mgDQO.l^{-1}
AP	Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$
AI	Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$
AT	Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$
AB	Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$
AVT	Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1}
N _{amon}	Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1}
N _{org}	Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1}
NTK	Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1}
ST	Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1}
STV	Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1}
SST	Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1}
SSV	Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1}
pH	Potencial hidrogeniônico
C _{SAFLO}	Concentração de matéria orgânica na forma filtrada no reator no início do ciclo, mgDQO.l^{-1}
C _{SAFL}	Concentração de matéria orgânica total no afluente, mgDQO.l^{-1}
CC _{AFL}	Concentração de matéria orgânica total no afluente em condições de carga de choque, mgDQO.l^{-1}

COV_{CC}	Carga orgânica volumétrica em condições de carga de choque, $mgDQO.l^{-1}.d^{-1}$
t_A	Tempo de alimentação, h
S_{ST}	Concentração de sólidos totais relativos à biomassa imobilizada presente no reator, mg de sólidos.g de espuma ⁻¹ ou g de sólidos./ de meio reacional ⁻¹
S_{STV}	Concentração de sólidos totais voláteis relativos à biomassa imobilizada presente no reator, mg de sólidos.g de espuma ⁻¹ ou g de sólidos./ de meio reacional ⁻¹
M_{imob}	Massa total de espuma com biomassa imobilizada presente no reator, g de espuma imobilizada
m_{imob}	Massa de espuma com biomassa imobilizada na amostra retirada do reator para análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada, g de espuma imobilizada
m_{ST}	Massa de sólidos totais na amostra de espuma com biomassa imobilizada retirada do reator para análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada, g de sólidos
m_{cap}	Massa da cápsula de porcelana seca, utilizada na análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada, g
m_{cap+ST}	Massa da cápsula de porcelana contendo os sólidos totais relativos à biomassa imobilizada, g
m_{STF}	Massa de sólidos totais fixos na amostra de espuma com biomassa imobilizada retirada do reator para análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada, g de sólidos
$m_{cap+STF}$	Massa da cápsula de porcelana contendo os sólidos totais fixos relativos à biomassa imobilizada, g
m_{STV}	Massa de sólidos totais voláteis na amostra de espuma com biomassa imobilizada retirada do reator para análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada, g de sólidos
m_{esp}	Massa de espuma seca na amostra de espuma com biomassa imobilizada retirada do reator para análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada, g de espuma
$m_{cap+esp}$	Massa da cápsula de porcelana contendo a espuma seca para análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada, g

M_{STV}	Massa total de sólidos totais voláteis relativos à biomassa imobilizada no interior do reator, g de sólidos
V_u	Volume de meio reacional, l
M_{ST}	Massa total de sólidos totais relativos à biomassa imobilizada no interior do reator, g de sólidos
ϵ_{ST}	Eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras de fluente não filtradas, %
ϵ_{SF}	Eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras de efluente filtradas, %
ϵ	Eficiência de remoção de matéria orgânica, %
V_A	Volume de afluente alimentado no ciclo, l
V_A/V_u	Relação entre o volume alimentado no ciclo e o volume de meio reacional
n	Número de ciclos por dia
COR	Carga orgânica removida, $mgDQO.l^{-1}.d^{-1}$
COR_{SF}	Carga orgânica removida para amostras de efluente filtradas, $mgDQO.l^{-1}.d^{-1}$
t_c	Tempo de ciclo, h
t	Tempo no ciclo, h
t_{tra}	Tempo para se atingir o patamar na curva dos perfis de concentração de matéria orgânica na forma filtrada, h
COR_{ST}	Carga orgânica removida para amostras de efluente não filtradas, $mgDQO.l^{-1}.d^{-1}$
S_{STV}/S_{ST}	Relação entre a concentração de sólidos totais voláteis e a concentração de sólidos totais, relativos à biomassa imobilizada presente no reator
$V_{Descarregado}$	Volume descarregado por ciclo, l
C_{CH_4}	Concentração de metano no head space do reator, $mMol.l^{-1}$
C_{CO_2}	Concentração de gás carbônico no head space do reator, $mMol.l^{-1}$
$V_{acumulado}$	Volume de metano acumulado produzido na CNTTP, ml
Q	Vazão volumétrica, $l.h^{-1}$
R_S	Velocidade de consumo de matéria orgânica, $mgDQO.l^{-1}.h^{-1}$
k	Constante cinética aparente de primeira ordem, h^{-1}
C_{SR}	Concentração de matéria orgânica filtrada residual, $mgDQO.l^{-1}$

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS.....	III
EPÍGRAFE.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XXV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XLIX
LISTA DE SÍMBOLOS	LI
SUMÁRIO	LV
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Histórico do Desenvolvimento dos Reatores Anaeróbios.....	5
3.2. Reator Anaeróbio Operado em Bateladas Sequenciais.....	7
3.2.1. Princípio de Funcionamento	8
3.2.2. Vantagens e Aplicações	9
3.2.3. Biomassa Imobilizada em Espuma de Poliuretano	11
3.2.4. Variáveis de Influência no Desempenho do ASBR	13
3.2.4.1. Agitação	13
3.2.4.2. Carga Orgânica Volumétrica e Relação F/M	15
3.2.4.3. Granulação da Biomassa	17
3.2.4.4. Temperatura	18
3.2.4.5. Estratégia de Alimentação.....	20
3.3. Soro de Queijo	23
3.3.1. Aproveitamento e Utilização.....	24
3.3.2. Características e Classificação	26
3.3.3. Aspectos Relacionados ao Tratamento Anaeróbio	27

3.4. Considerações Finais.....	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1. Operação do Reator em Batelada com Aplicação de Carga Orgânica Volumétrica de 3 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 6 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	61
5.2. Operação do Reator em Batelada com Aplicação de Carga Orgânica Volumétrica de 6 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	75
5.3. Operação do Reator em Batelada com Aplicação de Carga Orgânica Volumétrica de 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	90
5.3.1. Ensaio Extras	102
5.3.2. Ensaio Extras – Operação do Reator em Batelada com Renovação Parcial do Volume de Meio Reacional por Ciclo.....	106
5.4. Influência da Carga Orgânica Volumétrica, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade Sobre o Comportamento do Reator (Subprojeto 1)	116
5.5. Ajuste de um Modelo Cinético de Primeira Ordem aos Dados Experimentais de Perfil de Concentração de Matéria Orgânica	123
5.6. Influência do Tempo de Alimentação, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade para a Carga Orgânica Volumétrica de 3 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$..	128
5.7. Influência do Tempo de Alimentação, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade para a Carga Orgânica Volumétrica de 6 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$..	148
5.8. Influência do Tempo de Alimentação, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade para a Carga Orgânica Volumétrica de 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$..	169
5.9. Influência do Tempo de Alimentação Sob Diferentes Carregamentos Orgânicos Volumétricos (Subprojeto 2).....	186
5.10. Exames Microbiológicos.....	190
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	197
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	201

APÊNDICE	213
Apêndice I – Variáveis Monitoradas do Afluente do Reator	213
Apêndice II – Variáveis Monitoradas do Efluente do Reator	253
Apêndice III – Dados de Perfis ao Longo do Ciclo de Operação do Reator	321

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os processos anaeróbios aplicados ao tratamento de águas residuárias têm se desenvolvido de modo acentuado nos últimos anos devido à proposição de novas configurações de biorreatores, as quais visam agregar ao projeto destes um maior número possível de aspectos positivos relacionados à eficiência e à estabilidade, minimizando custos de implantação e operação.

Dentre estas novas configurações de reatores anaeróbios aplicados ao tratamento de águas residuárias, estão os reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais (*Anaerobic Sequencing Batch Reactors* – ASBRs), os quais têm sido estudados desde o início da década de 90 por grupos de pesquisa nos Estados Unidos e no Canadá (ANGENENT & DAGUE, 1995; BRITO et al., 1997; DAGUE et al., 1992; DROSTE & MASSÉ, 1995; FERNANDES et al., 1993; SUNG & DAGUE, 1995; TIMUR & ÖSTURK, 1999). Tais unidades podem apresentar vantagens em relação aos sistemas operados de modo contínuo, e possuem grande potencial de utilização em escala industrial para alguns casos, como, por exemplo, no tratamento de águas residuárias de indústrias que descarregam seus efluentes intermitentemente, como é o caso das indústrias de queijos.

Entretanto, as características das águas residuárias de indústrias de laticínios normalmente variam bastante, não somente na vazão, como principalmente na concentração, o que pode ocasionar a desestabilização do processo anaeróbio de tratamento, deixando a operação do reator anaeróbio vulnerável às perturbações na alimentação e nas condições ambientais. Esta observação é importante principalmente no caso de reatores anaeróbios que operam com cargas orgânicas relativamente altas para o tratamento de águas residuárias de fácil degradação (caso do soro de queijo), nos quais perturbações na alimentação podem afetar sua eficiência e estabilidade. O conhecimento do efeito dessas perturbações pode permitir reconduzir o sistema até uma condição estável, antes que os efeitos sejam negativos, já que períodos de recuperação longos são geralmente requeridos para a retomada da estabilidade do processo (RUIZ et al., 2002; XING et al., 1997). Além disso, o efeito da aplicação de cargas de choque sobre a eficiência e a estabilidade de ASBRs tratando soro de queijo pode ser

minimizado pelo uso de estratégias de controle do processo como, por exemplo, a operação do reator em batelada alimentada, conferindo ao sistema maior estabilidade (devido à um maior controle da formação de ácidos voláteis, intermediários do processo anaeróbio) e maior flexibilidade operacional, incorporando vantagens ao processo, como a não necessidade de tanques de equalização (ZAIAT et al., 1994). Ademais, devido à sua elevada biodegradabilidade e escassez de alcalinidade, o soro de queijo tende à acidificar-se rapidamente em reatores anaeróbios operados sob a aplicação de altas cargas orgânicas volumétricas. Nestes casos, é indispensável a suplementação de algum alcalinizante no afluente, e a otimização da quantidade de alcalinizante adicionada é de fundamental importância para a minimização de custos de operação do sistema.

Portanto, a proposta do presente trabalho, dentro do programa de estudo de aspectos fundamentais e tecnológicos, foi avaliar a influência da carga orgânica volumétrica, da estratégia de alimentação, da carga de choque e da suplementação de alcalinidade sobre a estabilidade e a eficiência de um reator anaeróbio operado em bateladas sequenciais contendo biomassa imobilizada em suporte inerte de espuma de poliuretano e com recirculação da fase líquida, para o tratamento de soro de queijo reconstituído, visando estabelecer os limites para a aplicação prática deste tipo de reator no tratamento de águas residuárias industriais.

Nesse sentido, este projeto foi dividido em dois subprojetos, no intuito de se avaliar a influência da carga orgânica volumétrica (Subprojeto 1) e da estratégia de alimentação com o reator operando sob diferentes cargas orgânicas volumétricas (Subprojeto 2), sobre a estabilidade e a eficiência do reator. Além disso, em ambos subprojetos, foram avaliadas também a influência de cargas de choque e da suplementação de alcalinidade. Desta forma, foi possível verificar a vulnerabilidade do reator a aumentos progressivos e abruptos da carga orgânica volumétrica, bem como verificar se a utilização de diferentes tempos de alimentação poderia minimizar o efeito daqueles aumentos sobre a estabilidade do processo.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho foi a avaliação da influência da carga orgânica volumétrica, da estratégia de alimentação, da carga de choque e da suplementação de alcalinidade sobre a estabilidade e a eficiência de um reator anaeróbio operado em bateladas sequenciais contendo biomassa imobilizada em suporte inerte de espuma de poliuretano e com recirculação da fase líquida, para o tratamento de soro de queijo. Foram estabelecidos, ainda, os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica e da estabilidade operacional quando o sistema foi submetido a aumentos graduais e repentinos da carga orgânica volumétrica aplicada, com o reator operando em regime de batelada (Subprojeto 1);
- b) Avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica e da estabilidade operacional quando o sistema foi operado sob diferentes tempos de enchimento e submetido a aumentos graduais e repentinos da carga orgânica volumétrica (Subprojeto 2).

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Histórico do Desenvolvimento dos Reatores Anaeróbios

As primeiras aplicações do tratamento anaeróbio surgiram no final do século XIX, sendo utilizado principalmente para digestão de lodos. Naquela época, a experiência acumulada com digestão anaeróbia de lodos mostrava que, mesmo com longos tempos para estabilização da matéria orgânica, somente 50 % dos sólidos contidos no lodo podiam ser removidos por processo anaeróbio, o que levou os pesquisadores a perder o interesse na aplicação do processo para tratamento de resíduos líquidos (NDON & DAGUE, 1997).

O primeiro sistema anaeróbio de tratamento foi criado em 1882, na França, denominado de “Fossa Automática Mouras”, a qual consistia de uma câmara fechada ao ar que permitia que materiais em suspensão presentes no esgoto fossem “liquefeitos”. Com o passar do tempo, várias outras unidades baseadas na “Fossa Automática Mouras” foram sendo desenvolvidas, como o “Tanque Talbot” criado nos Estados Unidos, em 1894, o “Tanque Séptico” na Inglaterra, em 1895, ainda muito utilizado para a degradação de matéria orgânica particulada em áreas sem redes coletoras de esgotos, e o “Tanque Imhoff”, na Alemanha, em 1905. No entanto, esses sistemas não eram providos de agitação, sendo operados basicamente como sedimentadores e apresentando baixa eficiência de remoção de matéria orgânica; os Tanques Imhoff apresentavam o tanque de digestão diretamente ligado ao tanque de sedimentação, tornando sua construção complexa, uma vez que para tratar grandes volumes de lodo eram necessários grandes alturas para o tanque. Sendo assim, em 1927, foi desenvolvido, na Alemanha, o primeiro sistema de aquecimento e digestão de lodo em tanque separado, que atingiu eficiências superiores aquelas até então apresentadas pelos tanques únicos e, como isso, todo tratamento de sólidos em suspensão passou a ser realizado nesses sistemas.

Bach¹ (1931) apud Ndon & Dague (1997) relatou que o tratamento anaeróbio poderia ser aplicado somente para digestão de lodo e não para tratamento de resíduos líquidos. Entretanto, Fullen² (1953) apud Ndon & Dague (1997) obteve bons resultados no tratamento anaeróbio de resíduo líquido de fábrica de alimentos e, desde então, o processo anaeróbio passou também a ser utilizado para o tratamento de resíduos líquidos.

A partir da década de 50, a necessidade da manutenção de altas concentrações de microrganismos nos digestores, a qual não era possível nos processos convencionais de crescimento suspenso de biomassa, e a necessidade de um contato mais eficiente entre a água residuária e a biomassa, de modo a compensar os vários problemas associados aos processos anaeróbios, como baixa velocidade de crescimento da biomassa, foi reconhecida, havendo assim um desenvolvimento mais significativo da tecnologia anaeróbia.

Um dos primeiros estudos sobre retenção de biomassa em reator anaeróbio foi realizado por Stander³ (1950) apud Ndon & Dague (1997). O pesquisador, tratando vários tipos de águas residuárias de indústrias de fermentação, verificou que a separação da biomassa do efluente e seu retorno para o reator foi útil na manutenção de elevada quantidade de microrganismos no interior do reator, aumentando consideravelmente a eficiência do processo.

Ao final da década de 60, Young e McCarty desenvolveram o sistema de tratamento conhecido como filtro anaeróbio ascendente, onde a biomassa ficava aderida a um suporte inerte, evitando assim sua lavagem para fora do reator enquanto o esgoto era percolado ao longo do reator no sentido vertical. Este sistema de tratamento obteve grande sucesso na época, uma vez que promoveu a separação do tempo de detenção hidráulica (TDH) do tempo de residência celular (TRC), permitindo assim a manutenção de altas concentrações de biomassa no reator e, portanto, um maior contato entre o esgoto e a biomassa, aumentando a eficiência de remoção de matéria orgânica.

¹ Bach, H. (1931). The cardinal points in the art of sludge digestion: a compressed summary of a quarter century of experience. *Sewage Works Journal*, v.3, p.562-69.

² Fullen, W. J. (1953). Anaerobic digestion of packing plant wastes. *Sewage Industry Wastes*, v.25, p. 576-85.

Desde então, novas configurações de reatores foram constantemente propostas, sempre visando a máxima retenção de elevadas concentrações de biomassa no reator, podendo-se, assim, obter eficiências de remoção de matéria orgânica maiores com tempos de detenção hidráulica menores e, portanto, com menores volumes de reator. Estes reatores, capazes de desvincular o tempo de detenção hidráulica do tempo de residência celular, foram chamados de “reatores de alta taxa”.

O maior responsável pelo crescimento da aplicação dos reatores anaeróbios como unidade principal de tratamento foi o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo. Esse reator foi consagrado no mundo todo como UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) e possui certa semelhança com o filtro anaeróbio, sendo a principal diferença o fato de não possuir material de enchimento para servir de suporte para a biomassa, além de apresentar um sistema interno de separação de gases e sólidos. Nesse sistema, a biomassa suspensa no reator sob a forma de flocos ou grânulos densos é separada e reciclada, permitindo assim a sua retenção no reator por longos períodos. Um decantador na parte superior do reator e um dispositivo de separação de gases e sólidos localizado abaixo desse decantador garante as condições ótimas de sedimentação das partículas que se separam da manta de lodo, permitindo seu retorno à câmara de digestão.

As mais diversificadas configurações de reatores anaeróbios vêm sendo desenvolvidas e estudadas atualmente. Dentre estas configurações de reatores aplicados ao tratamento de águas residuárias, tem-se o reator anaeróbio operado em bateladas seqüenciais (ASBR), foco de estudo do presente trabalho.

3.2. Reator Anaeróbio Operado em Bateladas Seqüenciais

Ao final dos anos 60, McKinney, Pfeffer e Dague notaram que a floculação da biomassa anaeróbia acontecia de maneira análoga àquela observada nos processos de lodos ativados. Operando reatores em batelada, os pesquisadores verificaram que no fim do ciclo, em condições de escassez de substrato (baixa relação F/M), a biomassa

³ Stander, G. L. (1950). Effluents from fermentation industries. Part IV. A new method for increasing and maintaining efficiency in the anaerobic digestion of fermentation effluent. *Journal Institute Sewage Purification*, v.4, p.438-46.

floculava bem e sedimentava rápido. A partir desta observação, propôs-se que a separação de sólidos poderia ser feita por sedimentação interna no próprio reator, antes da descarga do sobrenadante. O procedimento proposto obteve grande êxito, uma vez que foi possível atingir altos tempos de residência celular e baixos tempos de detenção hidráulica e, ao mesmo tempo, um efluente de baixa concentração de sólidos suspensos. Na época, o processo foi chamado de “lodo ativado anaeróbio”. A partir desses resultados, Dague e seus colaboradores patentearam, em 1993, o processo denominado “Reator Anaeróbio Operado em Bateladas Seqüenciais” (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor - ASBR*). Segundo Dague et al. (1992), a configuração do ASBR surgiu como alternativa ao processo anaeróbio de contato (mistura completa-alimentação contínua), devido à flotação da biomassa causada pelo biogás gerado, tornando necessário a presença de decantador externo para separação dos sólidos.

3.2.1. Princípio de Funcionamento

A característica básica do reator operado em bateladas seqüenciais é ser preenchido com água residuária no início e esvaziado ao final do tratamento, repetindo-se a operação com nova batelada. O conteúdo do reator é misturado, permitindo um bom contato esgoto/biomassa. O tratamento é efetuado em tanque único, em uma seqüência operacional que compreende basicamente as seguintes fases: (a) enchimento com água residuária; (b) tratamento propriamente dito, por meio das reações ou transformações dos constituintes da água residuária por microrganismos; (c) sedimentação final do lodo biológico, após a finalização das reações; (d) esvaziamento do tanque.

A concentração de substrato é maior logo após a alimentação, diminuindo com o tempo de reação. Portanto, a operação desse reator resulta em baixa relação substrato/microrganismos e baixa produção de biogás ao final do ciclo (favorecendo a floculação biológica e a sedimentação) e, ao mesmo tempo, em altas velocidades de reação e de produção de biogás logo após a etapa de alimentação (ANGENENT & DAGUE, 1995; DAGUE et al., 1992; SCHMIDT & DAGUE, 1993; SUNG & DAGUE, 1995).

O tempo requerido para a etapa de sedimentação depende da concentração de

biomassa e de sua sedimentabilidade. Este tempo tem de ser baixo o suficiente de modo a promover o arraste pelo efluente da biomassa inativa de baixa sedimentabilidade, e alto o suficiente de maneira a manter a biomassa granular ativa, responsável pela remoção da matéria orgânica, no interior do reator (ANGENENT & DAGUE, 1995).

Dessa forma, em reatores operados em batelada, a formação de grânulos, a biodegradação e a capacidade de sedimentação podem ser eficientes.

3.2.2. Vantagens e Aplicações

Os reatores anaeróbios operados em batelada vêm recebendo maior atenção nos últimos anos, estando o seu uso prático voltado para o tratamento de águas residuárias em geral.

Comparado com um reator semelhante de alimentação contínua, esse tipo de reator oferece atrativas vantagens, como a não ocorrência de curto-circuitos devido ao reator ser alimentado em batelada, a não necessidade de mecanismos de distribuição no fundo do sistema, e a ausência de sistema de sedimentação e recirculação externa de lodo biológico, quando comparado ao processo anaeróbio de contato, neste último caso (SUNG & DAGUE, 1995).

A operação do ASBR é simples e exige pouca manutenção. Sua característica única é a habilidade para desenvolver e reter biomassa em seu interior por meio de um processo de seleção natural, em que a biomassa de baixa sedimentabilidade e de pouca ou nenhuma atividade metabólica é carregada com o sobrenadante no momento da descarga, e a biomassa ativa, de melhor sedimentabilidade, permanece no interior do reator, mantendo longos tempos de residência celular e aumentando o desempenho do reator (ZHANG et al., 1996).

Ruiz et al. (2001), utilizando um ASBR em escala laboratorial para o tratamento de água residuária de vinícola, verificaram que a concentração residual de matéria orgânica no efluente, em termos de DQO solúvel, ficou muito próxima daquela obtida em tratamento aeróbio, tais como lodos ativados contínuos e descontínuos, evidenciando que, para este tipo de água residuária, o tratamento anaeróbio pode ser tão eficiente quanto o aeróbio, reduzindo o consumo de energia, uma vez que no tratamento

anaeróbico não há a necessidade de fornecer oxigênio ao meio.

A aplicação de processos descontínuos em tratamento anaeróbico de águas residuárias pode ser apropriada nos seguintes casos (ZAIAT et al., 2001):

- a) Indústrias que lançam efluentes de forma intermitente ou atividades que geram efluentes apenas em algumas épocas do mês ou do ano;
- b) Indústrias que trabalham com padrões de lançamento muito restritivos ou com compostos de difícil degradação; neste caso, a qualidade do efluente pode ser controlada lançando-o no ambiente apenas quando os padrões forem atingidos ou quando o composto tóxico tiver sido satisfatoriamente degradado;
- c) Sistemas que visam o reuso de águas residuárias ou de substâncias nelas dissolvidas. O controle sobre a reutilização das águas pode ser maior e melhor do que em sistemas contínuos;
- d) Em trabalhos fundamentais que visem a elucidação de alguns fenômenos da degradação anaeróbia, devido à facilidade de instrumentação e controle.

Quando existe o interesse em manter a concentração do substrato no reator em valores baixos, tanto devido ao efluente possuir uma elevada carga orgânica, como devido à presença de alguma substância tóxica na água residuária, uma alternativa que pode ser empregada é variar a estratégia de enchimento do reator de modo que a etapa de alimentação tenha um período maior que aquele convencionalmente utilizado, caracterizando a operação em batelada alimentada.

A utilização de uma etapa de alimentação mais longa, além de evitar a ocorrência de valores elevados da concentração de ácidos voláteis, favorecendo assim a estabilidade do reator, resulta em menores concentrações de matéria orgânica no reator ao longo de todo o ciclo, o que acarreta uma velocidade média de reação menor comparada com aquela obtida para o sistema operado em batelada convencional, podendo diminuir a eficiência global do processo. Entretanto, o efeito de cargas de choque iniciais pode ser minimizado pelo uso desta estratégia de alimentação em batelada alimentada, conferindo ao sistema maior estabilidade e flexibilidade operacional (ZAIAT et al., 2001).

A utilização de uma etapa de alimentação mais longa para cargas de choque garante que a concentração de ácidos voláteis, intermediários do metabolismo anaeróbico, não alcance valores elevados, o que poderia ser prejudicial à biomassa, uma vez que os microrganismos acidogênicos produzem ácidos voláteis com velocidade geralmente superior à velocidade de consumo desses ácidos pelos microrganismos

acetogênicos e metanogênicos. Este fato é importante principalmente no caso do tratamento de águas residuárias de rápida degradação, caso em que a utilização de uma fase de alimentação relativamente longa limita o fornecimento de substrato primário, minimizando assim a acidificação e conseqüente queda de desempenho do reator (ANGENENT & DAGUE, 1995; BAGLEY & BRODKORB, 1999).

Pesquisas sobre a influência de algumas variáveis como estratégia de alimentação e carga orgânica volumétrica contribuirão para um melhor entendimento do processo.

3.2.3. Biomassa Imobilizada em Espuma de Poliuretano

Tecnologias empregando lodo granular e biofilme aderido vêm sendo muito estudadas atualmente, mas parâmetros fundamentais para projeto, otimização e aumento de escala de tais reatores anaeróbios com biomassa imobilizada em suporte inerte são ainda raros na literatura. Na verdade, a maior parte dos reatores biológicos tem sido projetada com base em critérios empíricos. Desta forma, a aplicação de tais critérios resulta, na maior parte dos casos, em unidades não otimizadas, e até mesmo inadequadas para se atingir o objetivo proposto. Portanto, o desenvolvimento de critérios racionais de projeto é de extrema importância para o desenvolvimento deste tipo de processo.

A utilização de reatores contendo biomassa imobilizada é uma alternativa a biotecnologia de processos anaeróbios para tratamento de águas residuárias. Essa imobilização ocorre ou através da formação de um biofilme aderido a um material suporte, ou pela formação de lodo granular. Para reatores contínuos, a principal diferença desses reatores em relação aos convencionais é a de propiciarem operação com elevados tempos de residência celular, mesmo quando operando com baixos tempos de detenção hidráulica, resultando em diminuição do volume reacional e tornando-os economicamente mais vantajosos (SPEECE, 1996). Considerando os reatores descontínuos, a utilização de suportes inertes permite melhor retenção de biomassa, assim como eliminação da fase de sedimentação, proporcionando redução de tempo no ciclo total.

Varesche et al. (1997) realizaram a caracterização da biomassa anaeróbia e da

estrutura microbiana no interior de matrizes de espuma de poliuretano retiradas de um reator anaeróbio de fluxo horizontal e de leito fixo, tratando água residuária sintética à base de glicose. Os resultados mostraram três diferentes tipos de imobilização da biomassa no material suporte: micro-grânulos de tamanho entre 270 e 470 μm mecanicamente retidos no interior dos poros da espuma, pequenas estruturas multicelulares aderidas à superfície interna dos poros da espuma, e células individuais aderidas ao suporte. Os pesquisadores concluíram que a espuma de poliuretano ofereceu excelentes condições para o crescimento da biomassa anaeróbia e sua retenção, favorecendo o fluxo de substrato primário e de produtos intermediários entre as espécies.

A configuração do ASBR contendo biomassa imobilizada em cubos de espuma de poliuretano foi proposta por Ratusznei et al. (2000). O reator, agitado magneticamente e mantido a 30 °C, obteve estabilidade operacional após 10 dias de operação, tratando 0,5 l de água residuária sintética (480 mgDQO. l^{-1}) a cada ciclo de 8 horas. Em 36 dias de operação, o reator atingiu eficiências de remoção de DQO de até 86 % em apenas 3 horas de ciclo. A utilização do suporte inerte, além de melhorar a retenção da biomassa, eliminou a etapa de sedimentação, com conseqüente redução do tempo total de ciclo.

No entanto, a imobilização introduz também resistência à transferência de massa da fase líquida para a biomassa, o que pode reduzir a velocidade global da reação, diminuindo o desempenho do reator. Desta forma, a agitação do meio torna-se importante desde que por meio desta aumenta-se o contato substrato/biomassa, reduzindo a resistência à transferência de massa, aumentando a velocidade global da reação e, portanto, aumentando o desempenho do reator.

A agitação do meio por recirculação da fase líquida pode ser uma alternativa interessante, uma vez que o consumo de energia para agitação utilizando-se bombas é menor do que a necessária para alcançar os mesmos resultados utilizando-se agitadores mecânicos. Outra vantagem da agitação por recirculação da fase líquida é a grande flexibilidade operacional com relação ao volume de meio a ser tratado, podendo este último variar de acordo com a capacidade do reservatório paralelo.

Os avanços conseguidos com a utilização de reatores em batelada contendo biomassa imobilizada em matrizes de espuma de poliuretano (BORGES, 2003; CAMARGO et al., 2001; CAMARGO et al., 2002; CUBAS et al., 2001; ORRA et al., 2003; RAMOS et al., 2003a; RAMOS et al., 2003b; SIMAN, 2003) permitem

vislumbrar a aplicação para vários tipos de águas residuárias.

Estudos mais aprofundados, porém, devem ser realizados com a finalidade de avaliar a real aplicabilidade deste tipo de reator.

3.2.4. Variáveis de Influência no Desempenho do ASBR

Diversas são as variáveis que influenciam no desempenho do ASBR, tais como a intensidade e a frequência de agitação do meio reacional, a carga orgânica volumétrica e específica aplicada, o tempo de granulação, a temperatura e a relação tempo de alimentação/tempo de ciclo. São apresentados, a seguir, alguns estudos da literatura enfocando a influência de tais variáveis sobre o desempenho do reator tratando vários tipos de águas residuárias, bem como outros trabalhos enfocando o uso de diferentes configurações para o ASBR.

3.2.4.1. Agitação

A agitação do ASBR pode ser feita por recirculação da fase líquida, agitação mecânica, ou agitação por reciclo do biogás gerado no processo. No entanto, de acordo com Brito et al. (1997), muitas vezes a produção de biogás é insuficiente para promover a turbulência necessária para minimizar a ocorrência de possíveis zonas de estagnação e resistência à transferência de massa, principalmente em reatores tratando águas residuárias de baixa concentração de matéria orgânica e, portanto, a agitação mecânica ou por recirculação da fase líquida são geralmente as mais utilizadas.

Angenent & Dague (1995) também afirmam que a produção de gás em reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais (ASBRs) tratando águas residuárias de baixa concentração de matéria orgânica é insuficiente para realizar agitação no reator, sendo necessário um sistema de agitação para distribuir uniformemente o substrato

durante a fase de reação. Entretanto, segundo Dague et al.⁴ (1970) apud Angenent & Dague (1995), se a agitação for muito intensa, esta pode causar a destruição de grânulos, resultando em baixa eficiência de separação de sólidos.

Dague et al.⁴ (1970) apud Angenent & Dague (2001) mostraram que a agitação intermitente de ASBRs, em relação à contínua, otimizou o processo de biofloculação e sedimentação, resultando em aumento na produção de biogás e na eficiência de remoção de DQO e sólidos. Sung & Dague (1992) mostraram que o uso de agitação contínua ou intermitente não influenciou no desempenho do reator em termos de remoção de DQO e produção de metano.

Angenent et al. (2001), avaliando o efeito da duração e da intensidade de agitação sobre o desempenho de ASBRs de 5 l de volume útil tratando resíduo suíno, verificaram que o uso de agitação suave e intermitente permitiu um maior desempenho do reator quando comparada à agitação suave e contínua, resultando em maiores eficiências de remoção de sólidos voláteis e maior produção de metano. Segundo os autores, a agitação contínua resulta no desenvolvimento de uma biomassa com más características de sedimentação, a qual é lavada mais facilmente com o efluente durante a descarga diminuindo, assim, o desempenho do reator. Os pesquisadores observaram também que o aumento da intensidade de agitação diminuiu severamente o desempenho do reator e a quantidade total de biomassa metanogênica.

Camargo et al. (2001, 2002), utilizando um ASBR com biomassa imobilizada e recirculação da fase líquida para o tratamento de água residuária sintética a base de glicose (500 mgDQO.l⁻¹), estudaram a influência da velocidade de recirculação da fase líquida sobre o desempenho do reator e verificaram que a eficiência de remoção de matéria orgânica não filtrada (em termos de DQO) aumentou de 83 % (sem recirculação) para 95 % quando a recirculação foi implementada, indicando uma melhora no contato substrato/biomassa com o uso da recirculação, ou seja, o uso da recirculação resultou em diminuição da resistência à transferência de massa, com aumento da velocidade global da reação e possibilidade de redução do tempo de ciclo.

Ramos et al. (2003a, 2003b), tratando água residuária sintética com concentração de 500 mgDQO.l⁻¹, obtiveram um incremento do desempenho de um ASBR com biomassa imobilizada por implantação de recirculação da fase líquida. A

⁴ DAGUE, R. R.; MCKINNEY, R. E.; PFEFFER, J. T. (1970). Solids retention in anaerobic waste treatment systems. *Journal Water Pollution Control Federation*, v.42, p.29-46.

eficiência de remoção de matéria orgânica não filtrada (em termos de DQO) aumentou de 72 para 87 % depois da implantação da recirculação. Estudos cinéticos indicaram, também, que a constante cinética de primeira ordem da reação aumentou (de 1,19 a 2,00 h⁻¹) com o aumento da velocidade superficial (de 0,032 a 0,191 cm.s⁻¹) até um valor estável (1,90 h⁻¹) para valores maiores de velocidade superficial (de 0,191 a 0,467 cm.s⁻¹). Além disso, utilizando velocidade de recirculação de 0,191 cm.s⁻¹, também verificaram aumento da velocidade global da reação com possibilidade de redução do tempo de ciclo.

3.2.4.2. Carga Orgânica Volumétrica e Relação F/M

A carga orgânica volumétrica é definida como sendo a quantidade de matéria orgânica aplicada ao reator por unidade de tempo e por volume de meio do reator, por exemplo, gDQO.l⁻¹.d⁻¹. O exemplo de cálculo da carga orgânica volumétrica é apresentado no item 4.4.2.

Dague et al. (1992), tratando água residuária a base de leite desnatado em ASBRs de 13 l de volume útil, numa faixa de COV de 0,5 a 5,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹ para vários tempos de tratamento, verificaram que para tempos de tratamento de 1,08 e 2,17 dias, a eficiência de remoção de DQO ficou em torno de 80 % para COV até 4 gDQO.l⁻¹.d⁻¹, diminuindo a partir desta carga. Para tempo de tratamento de 0,54 dias, a eficiência de remoção de DQO foi de aproximadamente 80 % para cargas orgânicas volumétricas (COVs) menores que 2 gDQO.l⁻¹.d⁻¹, diminuindo para 70 % em COVs maiores que 3 gDQO.l⁻¹.d⁻¹. O tempo de tratamento citado foi calculado dividindo-se o tempo de ciclo pela relação entre o volume renovado a cada ciclo e o volume de meio reacional do reator.

Schmit & Dague (1993), utilizando ASBRs de 12 l para o tratamento de resíduo suíno, numa faixa de COV aplicada variando de 0,9 a 5 gSV.l⁻¹.d⁻¹, para vários tempos de tratamento, verificaram que a eficiência de remoção de DQO diminuiu com o aumento da COV para todos os tempos de tratamento utilizados, sendo que esta diminuição foi mais significativa para tempo de tratamento de 6 dias do que para tempo de tratamento de 9 e 12 dias.

Reyes III & Dague (1995) utilizaram dois ASBRs de 10 l de volume útil cada operados a 35 °C em ciclos de 6 horas para o tratamento de água residuária composta de leite desnatado, visando estudar os efeitos de diferentes concentrações iniciais de células (biomassa) sobre o desempenho do reator. Foram estudadas seis diferentes concentrações de células, variando entre 1500 a 21800 mgSSV. l^{-1} . Os autores observaram que menores tempos de partida foram atingidos com baixas relações F/M, ou seja, com maiores concentrações iniciais de células. Para relações substrato/microrganismo (F/M) variando de 0,09 a 0,40 mgDQO.mgSSV $^{-1}.d^{-1}$, as eficiências de remoção de DQO solúvel e total foram de 90 e 80 %, respectivamente. Para relações F/M de 1,00 e 1,33 gDQO.gSSV $^{-1}.d^{-1}$, as eficiências de remoção de DQO solúvel permaneceram em torno de 90 % e as eficiências de remoção de DQO total foram menores que 80 %. Segundo os autores, a diminuição da eficiência de remoção de DQO total nas condições de maior relação F/M ocorreu pois a produção de biogás durante a etapa de sedimentação foi maior, dificultando assim a separação da biomassa, na qual era arrastada junto com o efluente aumentando sua DQO total.

Timur & Öztürk (1999) avaliaram o desempenho de seis ASBRs em escala laboratorial operados a 35 °C, tratando chorume de aterro sanitário. Os estudos experimentais foram feitos com cargas orgânicas volumétricas (COVs) variando de 0,4 a 9,4 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e cargas orgânicas específicas (COEs) variando de 0,2 a 1,9 gDQO.gSSV $^{-1}.d^{-1}$ através da aplicação de tempos de tratamento situados na faixa de 10 a 1,5 dias e concentrações afluentes de 3800 a 15900 mgDQO. l^{-1} . Os autores verificaram que aumentos da carga orgânica volumétrica e específica resultaram em maiores velocidades de degradação de matéria orgânica, maior produção de metano e menores eficiências de remoção de DQO, que mantiveram-se no intervalo de 64 a 85 %.

Dugba et al. (1999) utilizando um sistema composto de dois ASBRs operando em dois estágios de temperatura (termofílica-mesofílica) para o tratamento de estrume bovino, verificaram que o tempo de residência celular decresceu quando cargas orgânicas volumétricas acima de 4 gSV. $l^{-1}.d^{-1}$ foram aplicadas. Segundo os autores, maiores cargas orgânicas volumétricas levam a maiores concentrações de sólidos suspensos no reator, aumentando a dificuldade e o impedimento da sedimentação da biomassa e, conseqüentemente, diminuindo o tempo de residência celular.

3.2.4.3. Granulação da Biomassa

O fenômeno da granulação ocorre por meio da aderência de microrganismos uns aos outros ou à partículas orgânicas e/ou inorgânicas para formar grânulos firmes e densos. Algumas das forças motoras responsáveis pelo processo de granulação é a variação cíclica das condições de fartura e escassez de substrato (variação da relação F/M) durante a operação do ASBR, e as condições hidrodinâmicas do reator. No fim da etapa de reação, a relação F/M atinge o valor mais baixo, criando condições favoráveis para sedimentação. A biomassa de baixa sedimentabilidade tende a ser carregada junto com o efluente no momento da descarga, enquanto a biomassa granular ativa de rápida velocidade de sedimentação é retida no interior do reator, permitindo assim maior eficiência de retenção de sólidos voláteis em seu interior (ZHANG et al., 1996).

Segundo Bhatti et al. (1993) e Nishio et al. (1993), a distribuição das diversas populações de microrganismos nos grânulos varia amplamente dependendo da composição química da água residuária e das condições de operação do reator.

A formação de biomassa granular é importante uma vez que esta permite ao reator tratar grandes cargas orgânicas volumétricas com maior estabilidade e eficiência, quando comparado à sistemas sem granulação desenvolvida (SUNG & DAGUE, 1995; WIRTZ & DAGUE, 1996).

Além da maior velocidade de sedimentação, outra vantagem da biomassa granular em relação à floculenta é a alta atividade específica que aquela apresenta, permitindo ao processo atingir maiores velocidades de estabilização de matéria orgânica (WIRTZ & DAGUE, 1996).

Wirtz & Dague (1996), usando quatro ASBRs de 12 l de volume útil, operados a 35 °C e com ciclos de 6 horas para o tratamento de água residuária sintética à base de sacarose, estudaram o fenômeno da granulação, com o objetivo de minimizar o tempo necessário para formar grânulos (tempo de partida do reator). Pela adição de polímero catiônico ao reator, os pesquisadores observaram que o tempo para formação dos grânulos foi reduzido de 4 a 5 meses para 1 a 2 meses, atingindo após 2 meses eficiências de remoção de DQO de aproximadamente 95 % para uma COV de

6 gDQO. l^{-1} .d $^{-1}$.

Wirtz & Dague (1997), objetivando estudar métodos para minimizar o tempo geralmente requerido para formação de grânulos, adicionaram polímeros catiônicos a ASBRs de 12 l de volume útil operados a 35 °C tratando água residuária sintética à base de sacarose e verificaram que o tempo requerido para formação de grânulos e tratamento estável foi reduzido a aproximadamente 75 % comparado a um ASBR sem adição de polímero.

3.2.4.4. Temperatura

Dague et al. (1992), tratando resíduo de suínocultura em ASBRs de 12 l de volume útil, operados a 35 °C com COV variando de 1,09 a 5,38 gSV. l^{-1} .d $^{-1}$, e a 25 °C com COV variando de 1,04 a 6,82 gSV. l^{-1} .d $^{-1}$, verificaram que, na faixa de COV aplicada e para um mesmo tempo de tratamento, a eficiência de remoção de sólidos voláteis não foi afetada pela temperatura. Além disso, notaram que na faixa de COV aplicada, a retenção de sólidos no reator foi maior a 25 °C do que a 35 °C. Segundo os autores, o ASBR foi capaz de compensar a diminuição da velocidade de reação a baixas temperaturas pelo aumento da concentração de biomassa no interior do reator.

Resultados e conclusões semelhantes foram relatadas por Schmit & Dague (1993). Os pesquisadores notaram que à medida que a temperatura do reator foi reduzida, a velocidade de remoção de matéria orgânica pelos microrganismos diminuiu; entretanto, a retenção de sólidos melhorou e a produção de biogás permaneceu constante, mostrando que, quando a temperatura decresce, o tempo de residência celular tende a crescer, compensando a queda na velocidade de remoção de matéria orgânica causada pela diminuição da temperatura e, portanto, mantendo-se a eficiência do sistema. Além disso, os autores afirmam que o aumento do tempo de residência celular ocorre pois a velocidade de decaimento endógeno dos microrganismos é menor em temperaturas mais baixas.

Welper et al. (1997) criaram um sistema composto por dois ASBRs operados em série e em diferentes temperaturas para o tratamento de água residuária sintética composta de leite desnatado. O primeiro reator operou a 55 °C e o segundo a 35 °C, sob

COVs de até $22 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. O sistema proposto minimizou desvantagens tais como a geração de odores desagradáveis (comumente associados ao tratamento termofílico) e menores velocidades de degradação (comumente associadas ao tratamento mesofílico), atingindo eficiência de remoção de DQO solúvel e total de, respectivamente, 95 e 90 %.

Banik et al. (1997) estudaram a estrutura e a atividade metanogênica de grânulos formados em um ASBR operando na faixa psicrofílica de temperaturas tratando água residuária sintética diluída a base de leite desnatado e verificaram que as baixas temperaturas não causaram efeitos significativos na estrutura dos grânulos e na atividade de bactérias mesofílicas, que mantiveram sua capacidade de degradar acetato e propionato.

Bodik et al. (2001) estudaram o efeito da temperatura e do tempo de detenção hidráulica no desempenho de um filtro anaeróbio e de um ASBR tratando uma mistura de substrato sintético (glicose e sacarose) e água residuária municipal real, com concentração média de 300 mgDQO.l^{-1} . Para o ASBR, a eficiência média de remoção de DQO variou de 56 a 88 %, dependendo da temperatura e do tempo de detenção hidráulica. Para um mesmo tempo de detenção hidráulica, temperaturas mais baixas resultaram em menores eficiências de remoção de DQO. No entanto, esse decréscimo de eficiência foi menor para tempos de detenção hidráulica maiores, mostrando que o efeito da temperatura sobre o desempenho do reator pode ser minimizado pela utilização de maiores tempos de detenção hidráulica, promovendo um maior contato entre o substrato e a biomassa.

Massé et al. (1996), operando vários ASBRs a temperatura de 20°C para o tratamento de estrume suíno, observaram que o processo se manteve estável e que a eficiência de remoção de DQO solúvel permaneceu na faixa de 84 a 93 %.

Massé et al. (1997), utilizando ASBRs em escala laboratorial operados a temperatura de 20°C , trataram estrume suíno com concentração de DQO solúvel e total de, respectivamente, 39 e 84 gDQO.l^{-1} . Os resultados indicaram que o processo promoveu a redução de odores desagradáveis e manteve sua estabilidade, apresentando eficiências de remoção de DQO solúvel e total na faixa de 85 a 96 % e 58 a 73 %, respectivamente.

Dague et al. (1998), tratando água residuária sintética à base de leite desnatado (600 mgDQO.l^{-1}), estudaram a influência da temperatura e do tempo de detenção hidráulica no desempenho de um ASBR. Foram estudadas temperaturas de 5 a 25°C e tempos de detenção hidráulica de 24, 16, 12, 8 e 6 horas, correspondendo a cargas

orgânicas volumétricas de 0,6, 0,9, 1,2, 1,8 e 2,4 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, respectivamente. Eficiências de remoção de DQO solúvel de 90% foram atingidas em temperaturas de 20 e 25 °C em todos os tempos de detenção hidráulica estudados. Mesmo com o reator operando na menor temperatura (5 °C) e no menor tempo de detenção hidráulica (6 h), foram obtidas eficiências de remoção de DQO solúvel de até 62 %. Além disso, os autores estimaram o valor da velocidade específica máxima de consumo de substrato para todas as temperaturas estudadas e verificaram um aumento dessa grandeza com a temperatura.

3.2.4.5. Estratégia de Alimentação

Como já citado anteriormente, mudanças nas condições de operação do ASBR, tais como o uso de um tempo de alimentação maior, resultam em menores concentrações de matéria orgânica no reator ao longo de todo o ciclo, o que acarreta em uma menor velocidade média de reação, podendo diminuir a eficiência global do processo. Entretanto, esta estratégia de operação pode conferir ao sistema maior estabilidade e flexibilidade operacional, incorporando vantagens ao processo, como minimização do acúmulo de ácidos voláteis intermediários, quando o reator for operado sob altas cargas orgânicas volumétricas, e a não necessidade de tanques de equalização.

Suthaker et al. (1991), utilizando 5 ASBRs em escala laboratorial para o tratamento de substrato sintético à base de glicose com concentração de 35000 mgDQO. l^{-1} , estudaram a influência da relação tempo de alimentação/tempo de reação e do tempo de ciclo sobre o desempenho dos reatores. Os pesquisadores verificaram que, para um mesmo tempo de ciclo, o aumento da relação tempo de alimentação/tempo de reação resultou em aumento na eficiência de remoção de DQO solúvel. Mantendo-se constante a relação tempo de alimentação/tempo de reação, foi verificado que o aumento do tempo de ciclo resultou em aumento na eficiência de remoção de DQO solúvel. Os pesquisadores ressaltam que o desempenho do reator foi mais influenciado pelo tempo de ciclo do que pela relação tempo de alimentação/tempo

de reação.

Massé et al. (1996) estudaram a influência do tempo de enchimento e de reação sobre o desempenho de ASBRs de 40 l de volume útil operados à 20 °C sob agitação intermitente para o tratamento de estrume de suíno. Foram utilizados tempos de enchimento e de reação de 1, 2 e 4 semanas e, portanto, tempos de ciclo de 2, 4 e 8 semanas, respectivamente, mantendo a COV constante e igual a 6 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. Os pesquisadores verificaram que a variação do tempo de ciclo não influenciou significativamente no desempenho dos reatores, que atingiram eficiências de remoção de DQO solúvel maiores que 84 % e produção de metano a partir de 0,48 l.gSV $^{-1}$.

Massé et al. (1997) avaliaram o desempenho de oito ASBRs de 25 l operados a temperatura de 35 °C, em função do tipo de inóculo e da COV aplicada para o tratamento de estrume suíno com DQO total e solúvel de, respectivamente, 84 e 39 gDQO. l^{-1} . Foram aplicadas COVs variando de 0,7 a 1,2 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e os tempos de alimentação e de reação dos reatores foram de 4 semanas cada. Foi observado um rápido crescimento da concentração de ácidos voláteis durante o período de alimentação. No entanto, segundo os autores, os microrganismos não foram inibidos pelo aumento da concentração de ácidos, uma vez que a produção de metano durante este período também aumentou. Durante a etapa de reação houve rápida utilização de ácido acético e butírico, com simultâneo aumento do pH e da alcalinidade.

Bagley & Brodkorb (1999) estudaram a degradação de glicose em um ASBR em escala laboratorial, aplicando COVs de 1 e 2 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. Os autores verificaram que, para tempos de alimentação curtos, houve acúmulo de ácidos voláteis no reator, especialmente o propiônico. Para COV de 1 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, porém com um tempo de alimentação maior, verificaram que, embora a concentração de matéria orgânica no reator tenha sido menor ao longo do ciclo, resultando em menores velocidades de reação, as concentrações de ácidos voláteis no reator e no efluente foram menores e a estabilidade do reator foi atingida mais rapidamente.

Shizas & Bagley (2002), utilizando um ASBR de 12 l de volume útil para o tratamento de água residuária sintética a base de glicose, estudaram a influência da relação tempo de alimentação/tempo de ciclo e da concentração inicial do afluente sobre o desempenho do reator. Os pesquisadores verificaram que, para uma mesma COV de 3,2 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e mesma relação tempo de alimentação/tempo de ciclo, uma diminuição da concentração do afluente proporcional a uma diminuição do tempo de ciclo resultou num menor acúmulo de ácidos durante o ciclo. Para uma mesma COV de

3,2 gDQO. l^{-1} .d $^{-1}$, o aumento da relação tempo de alimentação/tempo de ciclo resultou na diminuição do acúmulo de ácidos ao longo do ciclo.

Orra et al. (2003), estudando a influência da estratégia de alimentação no desempenho de um ASBR com biomassa imobilizada em cubos de espuma de poliuretano e recirculação da fase líquida, para o tratamento de água residuária sintética (500 mgDQO. l^{-1}), observaram uma ligeira queda na eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (em termos de DQO) de 85 % para 81 %, quando o tempo de alimentação foi aumentado de 6 minutos para 360 minutos.

Borges (2003) utilizou um ASBR contendo biomassa imobilizada em cubos de espuma de poliuretano com o objetivo de estudar a influência do tempo de alimentação sobre a estabilidade e a eficiência do sistema. O reator, provido de agitação mecânica (500 rpm) e mantido a temperatura de 30 °C, tratou 2,5 l de água residuária sintética a cada ciclo de 8 horas. O pesquisador verificou que, para valores da razão tempo de alimentação/tempo de ciclo menores que 0,5, o sistema atingiu eficiências de remoção de matéria orgânica filtrada e não filtrada maiores que 75 e 70 %, respectivamente; entretanto, para as demais condições em que os valores da razão tempo de alimentação/tempo de ciclo foram maiores que 0,5, registrou-se queda na eficiência do sistema e formação de polímeros extracelulares.

3.3. Soro de Queijo

O soro de queijo é um subproduto da fabricação de queijos em indústrias de laticínios. Ele é um líquido verde amarelado gerado após o processo de coagulação do leite, em que ocorre a precipitação da caseína e a formação de um sobrenadante (soro), o qual retém os componentes solúveis do leite, e é drenado do tanque antes de sua lavagem para outros processamentos.

Além do soro de queijo, há outros subprodutos na forma líquida gerados pela indústria de laticínios, tais como o leitelho, resultante da produção de manteiga, e o leite ácido. Destes, o soro é o de maior importância, devido ao volume em que é produzido, ao amplo espectro de reutilização e, principalmente, pelo seu alto poder poluente, devido à grande quantidade de carboidratos, proteínas e gorduras provenientes do leite (MARTINS et al., 2000).

As características das águas residuárias geradas por indústrias de laticínios podem variar significativamente, dependendo do tipo de produto produzido, tais como iogurte, manteiga, leite, queijo, sorvete, sobremesas diversas (DEMIREL et al., 2005). Quando a diversidade de produtos é grande, o que normalmente se tem é um efluente final composto pela soma das vazões de várias correntes, gerando um efluente final com concentração de matéria orgânica, em termos de DQO, de 2000 a 5000 mgDQO. l^{-1} . No entanto, no caso da produção de queijos, a presença de soro no efluente pode aumentar significativamente a sua carga orgânica. Nestes casos, o efluente normalmente apresenta uma concentração de, aproximadamente, 70000 mgDQO. l^{-1} (OMIL et al., 2003).

No processo de fabricação de queijos, de cada 10 kg de leite *in natura*, são obtidos aproximadamente 9 kg de soro líquido e 1 kg de queijo, razão essa pela qual se explica o grande volume de soro gerado em indústrias de queijos. Segundo Ghaly et al. (2000), em 1997, a produção mundial de queijos foi de 15,5 milhões de toneladas, o qual resultou numa produção de soro estimada em 137,5 milhões de toneladas. Não obstante, em países em desenvolvimento, como no Brasil, a tendência geral das indústrias de laticínios é a sua expansão e o aumento de sua produção, com conseqüente aumento do volume de soro gerado, o qual é em grande parte descartado diretamente nos corpos d'água, sem nenhum tipo de aproveitamento ou tratamento, agravando ainda mais o problema ambiental pelo lançamento de grandes vazões de efluentes contendo alta carga orgânica (GARCÍA et al., 1991).

Além dos problemas ambientais que a descarga de soro em corpos d'água pode causar, a introdução de nutrientes presentes no soro, nestes corpos d'água, representam a perda de produtos do leite (lactose, proteínas, etc) que poderiam ser reaproveitados (DEMIREL et al., 2005).

3.3.1. Aproveitamento e Utilização

O soro de queijo não deve ser considerado resíduo, uma vez que contém importantes constituintes, tais como proteínas, lactose, e minerais, os quais podem ser separados do soro e propiciar propriedades funcionais e nutricionais importantes ao serem usados como ingredientes alimentares (ERGÜDER et al., 2000; SCOTT et al., 1998).

O soro de queijo pode também ser utilizado diretamente como alimento para animais (BRAILE & CAVALCANTI, 1993; ERGÜDER et al., 2000). Em indústrias de sorvetes, é utilizado para adocicar e evitar a cristalização de sorvete (KOSARIC & ASHER, 1982) e, na agricultura, usado como fertilizante e recondicionador de solos, por meio da aplicação direta e controlada (JONES et al., 1993).

O soro em pó, fonte de proteínas, carboidratos e minerais, usado para aumentar o nível de nutrientes em sobremesas, sorvetes, pães, e outros alimentos em geral, pode ser obtido do soro líquido por microfiltração deste último em membranas porosas, ocorrendo a separação da gordura dos demais constituintes do soro fluído, seguida de concentração e secagem dos sólidos restantes.

Caso o interesse seja a separação das proteínas do soro, utiliza-se a ultrafiltração, em que são empregadas membranas de porosidade ainda menor, permitindo que moléculas menores de lactose e minerais passem através da membrana. O método de osmose reversa, por sua vez, utiliza membranas de menor porosidade possível, para separar a água e concentrar todos os outros componentes do soro. Utilizando estes sistemas de membranas em combinação com outros processos, como eletrodiálise, cristalização, troca iônica, etc, os processadores de soro podem elaborar produtos dentro de uma ampla faixa de teores de proteínas, minerais, lactose e gordura.

Entretanto, a grande maioria das indústrias produtoras de queijos, principalmente as de pequeno e médio porte, não possuem recursos e capital suficiente para

investimentos em tecnologias para o reaproveitamento de soro de queijo, e acabam por descartar seus efluentes nos cursos d'água (MALASPINA et al., 1995).

No Brasil, o soro tem três destinações principais: (1) utilizado na fabricação de ricota fresca; (2) utilizado como ração animal; e (3) descartado direta ou indiretamente nos cursos dos rios sem qualquer tipo de tratamento. Este descarte gera um grande problema ambiental, pois o potencial poluidor do soro de queijo, em termos de concentração de matéria orgânica, é aproximadamente cem vezes maior que o do esgoto doméstico (MARTINS et al., 2000).

O problema de disposição do soro pode ser minimizado por meio do seu tratamento biológico anaeróbio, reduzindo seu potencial poluidor e, ao mesmo tempo, gerando metano, que pode ser aproveitado na própria indústria de queijos como fonte de energia para aquecimento de caldeiras, etc, em substituição a outros combustíveis comumente utilizados em seus processos, diminuindo, assim, custos operacionais (MALASPINA et al., 1996). Entretanto, efluentes de sistemas anaeróbios de tratamento geralmente não estão aptos para serem lançados diretamente nos cursos d'água, necessitando, em alguns casos, de uma etapa de pós-tratamento (MAWSON, 1994).

O soro também pode ser tratado por processos físico-químicos. No entanto, devido ao alto custo dos reagentes e à baixa eficiência de remoção de matéria orgânica observada nestes processos, o tratamento biológico é geralmente o mais viável e utilizado (DEMIREL et al., 2005).

O processo de tratamento biológico aeróbio requer a introdução de oxigênio no meio, o que aumenta consideravelmente os custos com energia para o tratamento. Além disso, a grande geração de lodo no processo aeróbio e o conseqüente aumento de custos relativos ao tratamento, transporte e disposição desse lodo também são algumas das desvantagens do processo biológico aeróbio de tratamento. Por outro lado, o processo anaeróbio não requer a introdução de oxigênio no meio, diminuindo custos com fornecimento de energia. Outras vantagens do processo anaeróbio são a baixa produção de lodo (estimada como sendo de aproximadamente 20 % daquela observada no processo aeróbio) e, como já dito anteriormente, a possibilidade de aproveitamento do metano gerado no processo como fonte de energia (DEMIREL et al., 2005).

3.3.2. Características e Classificação

O soro de queijo líquido, *in natura*, se apresenta como uma solução contendo em torno de 7 % de sólidos, o qual inclui aproximadamente metade dos nutrientes originais do leite. Caracteriza-se por ser muito biodegradável ($\cong 99\%$), possuir alta carga orgânica ($\cong 70 \text{ gDQO.l}^{-1}$) e baixa alcalinidade (ERGÜDER et al., 2000).

Dos efluentes de indústrias de laticínios, o soro pode ser considerado como o mais concentrado e o de maior potencial poluidor, sendo que os principais constituintes que contribuem para sua alta carga orgânica são os carboidratos, as proteínas, e as gorduras provenientes do leite (DEMIREL et al., 2005).

De acordo com o tipo de queijo produzido, o soro pode ser classificado como ácido ou doce. O soro doce tem pH em torno de 6,3 e é obtido no processo de produção de queijos por coagulação enzimática, como, por exemplo, na fabricação de queijos mozzarella, cheddar, suíço e similares, em que mais da metade do cálcio e do fósforo existente no leite ficam retidos no queijo. Sendo assim, o soro doce contém menos ácidos, maior teor de lactose e menor teor de cálcio em relação ao soro ácido. O soro ácido, por sua vez, tem pH em torno de 4,6 e é obtido por coagulação ácida, na fabricação de queijos cottage e ricota. Durante a fabricação de queijo cottage, grande parte da lactose é convertida à ácido láctico antes que o soro seja separado da coalhada. Com o aumento da acidez, ocorre maior dissociação dos sais de cálcio no leite, ocorrendo solubilização do cálcio. O soro ácido apresenta, portanto, maior acidez, menor teor de lactose, maior teor de cálcio e um perfil de minerais diferente do soro doce (OLIVEIRA et al., 1986). A Tabela 4.1 apresenta a porcentagem média dos constituintes presentes no soro doce e ácido.

TABELA 3.1: Porcentagem média dos constituintes do soro doce e ácido.

Componente	Soro Doce (%)	Soro Ácido (%)
Água	93 – 94	94 – 95
Gordura	0,3 – 0,5	0,3 – 0,6
Proteína	0,8 – 1,0	0,8 – 1,0
Lactose	4,5 – 5,0	3,8 – 4,2
Minerais	0,5 – 0,7	0,7 – 0,8
Ácido Láctico e Outros Produtos	0,1 – 0,4	0,1 – 0,8

Fonte: García et al. (1991).

3.3.3. Aspectos Relacionados ao Tratamento Anaeróbio

O tratamento anaeróbio do soro é uma das alternativas mais interessantes que pode ser empregada para se resolver o problema de poluição por disposição de soro sem tratamento em corpos d'água. Entretanto, algumas características do soro como altíssima biodegradabilidade, deficiência de alcalinidade e alta carga orgânica, fazem com que o tratamento anaeróbio desse tipo de substrato em reatores de alta taxa, embora possível, se torne difícil (MALASPINA et al., 1995). Devido à sua elevada biodegradabilidade, o soro tende a acidificar-se rapidamente, dificultando a manutenção da estabilidade do processo quando o reator é operado sob a aplicação de altas cargas orgânicas volumétricas. De acordo com Hill et al. (1987), concentrações de ácidos voláteis totais menores que $1000 \text{ mgHAc.l}^{-1}$ são recomendáveis para manutenção da estabilidade do processo.

Problemas como dificuldade de granulação da biomassa e tendência para formação de material polimérico viscoso de provável origem biológica, o qual reduz a sedimentabilidade do lodo e pode causar perda de biomassa do sistema, também têm sido registrados quando do tratamento anaeróbio de soro de queijo, podendo inviabilizar o uso de reatores UASB para o tratamento deste tipo de substrato (MALASPINA et al., 1995; HICKEY et al., 1991).

Malaspina et al. (1995), operando um reator anaeróbio híbrido para o tratamento de soro de queijo, observaram alta produção de polímeros extracelulares de provável origem biológica no interior do reator, sendo que a formação desse material foi mais relevante durante a aplicação de maiores cargas orgânicas volumétricas, em torno de $10 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, diminuindo a capacidade de sedimentação da biomassa e causando o seu arraste. Segundo Sutherland (1985), a formação desse material polimérico é favorecida quando do tratamento de águas residuárias contendo alta concentração de açúcar e alta relação C/N.

Alguns trabalhos da literatura mostram que a ausência de micronutrientes e de um sistema de controle de pH também tornam difícil a manutenção da estabilidade do processo em reatores anaeróbios de alta taxa tratando soro de queijo (BOENING & LARSEN, 1982; LO & LIAO, 1986; MARSHALL & TIMBERS, 1982; KELLY & SWITZENBAUM, 1984). Em grande parte dos casos, torna-se necessária então a adição

de alguma fonte externa de alcalinidade, na forma de bicarbonato, carbonato ou algum hidróxido (YAN et al., 1992; LO & LIAO, 1986). Além disso, de acordo com Omil et al. (2003), a adição de fonte externa de alcalinidade não somente aumenta a capacidade tampão do meio, como também facilita a degradação anaeróbia de lipídeos presentes no soro. No entanto, o uso de bicarbonato de sódio para o controle do pH pode resultar em efeitos tóxicos aos microrganismos quando a concentração de sódio passa a ser maior que 8000 ppm (McCARTY, 1964; GRADY & LIM, 1980).

Segundo Demirel et al. (2005), a concentração de matéria orgânica, de sólidos suspensos e a alcalinidade disponível são os principais fatores que influenciam na estabilidade do processo, na eficiência de remoção de matéria orgânica e na máxima carga orgânica volumétrica que pode ser aplicada no tratamento anaeróbio de soro. De acordo com os autores, o efeito de aumentos na carga orgânica volumétrica aplicada sobre a estabilidade de reatores anaeróbios tratando efluentes de indústria de laticínios é um dos principais parâmetros que merecem atenção e que devem ser estudados atualmente. Além disso, a maioria dos estudos sobre tratamento anaeróbio de soro de queijo foi realizado utilizando soro diluído, em baixas concentrações, o que diminui significativamente o risco de perda de estabilidade do processo (ERGÜDER et al., 2000).

Portanto, é importante o desenvolvimento de estratégias de controle com o objetivo de manter estável a operação de reatores anaeróbios de alta taxa, quando estes são utilizados para o tratamento de soro. Estas estratégias de controle colaboram para uma minimização do acúmulo de ácidos voláteis no reator (YAN et al., 1992; DEMIREL et al., 2005). Por exemplo, estratégias como recirculação do efluente, ajudam na diluição do afluente e, ao mesmo tempo, aumentam a sua alcalinidade disponível, diminuindo ou eliminando a necessidade de adição de fonte externa de alcalinidade.

Borja e Banks (1995) utilizaram um reator anaeróbio de leito fluidizado com reciclo do efluente, em escala laboratorial, para o tratamento de água residuária de indústria de sorvetes. Durante o primeiro mês de operação, a carga orgânica volumétrica foi aumentada gradualmente de 3,2 a 15,6 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, não causando variação significativa na eficiência de remoção de matéria orgânica, na produção de metano e na concentração de ácidos voláteis totais. A cada aumento na carga orgânica volumétrica era verificado um pequeno aumento da concentração de ácidos voláteis totais, a qual diminuía em seguida e voltava a apresentar seus valores originais depois de 14 horas.

Para cargas orgânicas volumétricas acima de $15,6 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a eficiência de remoção de matéria orgânica foi de 94,4 %. Os autores citam que a estabilidade do sistema e o alto valor obtido para a eficiência de remoção de matéria orgânica podem estar relacionados à recirculação do efluente e à adição de metanol ao afluente durante o primeiro mês de operação, o qual favoreceram o crescimento de biomassa metanogênica.

Bermúdez et al. (1988) utilizaram um filtro anaeróbio com recirculação, em escala de bancada, para o tratamento de soro de queijo, e verificaram uma ligeira queda na eficiência de remoção de matéria orgânica (de 69 para 63 %) com o aumento da carga orgânica volumétrica (de 3,85 para $7,70 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$). O aumento na carga orgânica volumétrica não causou variação na concentração de ácidos voláteis totais e no pH do reator, o qual manteve sua estabilidade sem a necessidade de suplementação de alcalinidade.

Outra estratégia de controle do processo registrada em alguns trabalhos da literatura é a utilização de sistemas de duas fases (reator acidogênico seguido de reator metanogênico), o qual pode permitir uma operação estável sem a necessidade de adição de alcalinidade. Yilmazer & Yenigün (1999) utilizaram um sistema de duas fases para o tratamento de soro de queijo. No referido trabalho, foi determinado o tempo de detenção hidráulica no qual resultou em maior eficiência de remoção de matéria orgânica, para cada um dos reatores do sistema de duas fases. O primeiro reator (acidogênico) consistiu de um CSTR, e foi operado sob diversos tempos de detenção hidráulica (de 18 horas a 4 dias), apresentando maior eficiência de acidificação (50 %) para o tempo de detenção hidráulica de 24 horas. O reator metanogênico, um filtro anaeróbio de fluxo ascendente, apresentou maior eficiência de remoção de matéria orgânica (90 %) para o tempo de detenção hidráulica de 4 dias, dentre os tempos de detenção hidráulica testados (3, 4, 5 e 6 dias).

García et al. (1991) utilizaram um sistema de duas fases em escala laboratorial para o tratamento de soro de queijo. A recirculação do efluente do reator metanogênico para o reator acidogênico causou uma diluição do afluente do reator acidogênico, permitindo maior estabilidade e eficiência (99 %) do sistema sem a necessidade de adição de fonte externa de alcalinidade, e permitindo a aplicação de cargas orgânicas volumétricas de até 30 e $15 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ no reator acidogênico e metanogênico, respectivamente.

Alguns trabalhos mostram que a eficiência e a estabilidade do reator podem

também ser função da imobilização da biomassa em algum suporte inerte. Zellner et al. (1987) realizaram a comparação entre dois reatores de fluxo ascendente, um com biomassa imobilizada em cerâmica porosa e outro contendo células livres, para o tratamento de soro de queijo. Os autores verificaram que ambos os reatores atingiram eficiências de remoção de matéria orgânica de 95 %, no entanto, a máxima carga orgânica volumétrica que pôde ser aplicada no reator com células livres e com células imobilizadas foi de, respectivamente, 8 e 24 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, indicando que o reator com biomassa imobilizada apresentou maior velocidade de remoção de matéria orgânica. Além disso, a concentração de ácidos voláteis e o tempo de partida foram menores no reator com biomassa imobilizada.

Como já citado anteriormente, a aplicação de altas cargas orgânicas volumétricas em reatores anaeróbios tratando soro de queijo pode levar à perda da estabilidade do processo. Ademais, vale ressaltar que, como no caso dos esgotos domésticos, os efluentes de indústrias de laticínios, como o soro de queijo, estão sujeitos a grandes variações não somente na sua vazão, como principalmente em sua concentração. O impacto e o efeito dessas variações, na estabilidade e eficiência dos sistemas anaeróbios de tratamento, devem ser considerados em todo o projeto e operação como fator preponderante no dimensionamento das unidades (NACHAIYASIT & STUCKEY, 1997).

Yan et al. (1992), operando um UASB de 14,3 l de volume útil, para o tratamento de soro de queijo, estudaram o efeito do aumento da carga orgânica volumétrica sobre a estabilidade e o desempenho do reator. Os autores verificaram que cargas orgânicas volumétricas acima de 5,96 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ resultaram em queda de desempenho do reator e perda de estabilidade.

Gavala et al. (1998) utilizaram um UASB de 10 l de volume útil para o tratamento de água residuária de indústria de laticínios composta basicamente de soro de queijo. Visando fornecer nutrientes e manter o controle do pH, foram adicionados soluções de $(NH_4)_2HPO_4$ e NaOH, respectivamente, à água residuária. Os autores verificaram que para as concentrações de 37 gDQO. l^{-1} (COV = 6,2 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$) e 42 gDQO. l^{-1} (COV = 7,5 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$), as eficiências de remoção de matéria orgânica foram de 98 e 85 %, respectivamente, sendo que maiores valores na concentração do afluente resultaram em menores eficiências de remoção de matéria orgânica, baixa produção de biogás e queda no pH.

Mockaitis et al. (2004) utilizaram um reator anaeróbio operado em bateladas

seqüenciais e contendo biomassa granulada para o tratamento de soro de queijo. O reator, de 5 l de volume útil e com agitação mecânica de 50 rpm, tratou 2 l de soro a cada ciclo de 8 horas, sob a aplicação de cargas orgânicas volumétricas de 0,59; 1,15; 2,50 e 4,79 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, correspondendo à cargas orgânicas específicas de 42,4; 44,3; 76,4 e 137,8 mgDQO.gSVT $^{-1}.d^{-1}$. O reator mostrou-se estável e eficiente para todas as cargas orgânicas volumétricas estudadas, apresentando eficiência de remoção de matéria orgânica próxima de 90 % para amostras filtradas. Vale ressaltar que houve suplementação de alcalinidade ao afluente com NaHCO₃, nas relações de 0,5; 0,5; 0,25 e 0,25 gNaHCO₃.gDQO $^{-1}$ para as cargas orgânicas volumétricas de 0,59; 1,15; 2,50 e 4,79 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, respectivamente. Para carga orgânica volumétrica de 9,6 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o reator mostrou perda de estabilidade e queda na eficiência de remoção de matéria orgânica. Além disso, para cargas orgânicas volumétricas de 2,5; 4,79 e 9,6 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, houve problemas de flotação de biomassa, provavelmente devido à liberação de gás carbônico, uma vez que a quantidade de biomassa flotada aumentou com o aumento da suplementação de alcalinidade.

Damasceno et al. (2004) avaliaram o desempenho de um reator anaeróbio operado em bateladas seqüenciais contendo biomassa imobilizada em cubos de espuma de poliuretano para o tratamento de soro de queijo reconstituído, em função da carga orgânica volumétrica aplicada e do tempo de alimentação. O reator, com agitação mecânica (500 rpm), possuiu volume útil de 3 l e tratou 2 l de soro por ciclo de 8 horas. O afluente foi suplementado com bicarbonato de sódio numa relação de 0,5 gNaHCO₃.gDQO $^{-1}$. Foram estudados três tempos de alimentação (10 minutos, 2 horas e 4 horas) para quatro valores de carga orgânica volumétrica (2, 4, 8 e 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$). Os autores verificaram que tempos de alimentação de 10 minutos e 2 horas resultaram em maiores eficiências de remoção de matéria orgânica para cargas orgânicas volumétricas menores (2 e 4 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$). Para o tempo de alimentação de 4 horas, o reator se mostrou mais eficiente para cargas orgânicas volumétricas maiores (8 e 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$). O aumento do tempo de alimentação permitiu a redução da concentração de ácido propiônico ao longo do ciclo.

Grande parte dos trabalhos da literatura enfocando tratamento anaeróbio de soro de queijo em reatores de alta taxa mostram que, na ausência de algumas das estratégias de controle do processo já citadas, como recirculação do efluente, utilização de sistema de duas fases, ou uso de um tempo de alimentação maior quando o reator é operado em bateladas seqüenciais, a adição de fonte externa de alcalinidade é essencial para

manutenção da estabilidade do processo, evidenciando a importância de maiores estudos enfocando a otimização da suplementação de alcalinidade nestes sistemas.

García et al. (1989), utilizando um UASB em escala laboratorial para o tratamento de soro de queijo, verificaram que a principal limitação operacional esteve relacionada à falta de alcalinidade no afluente, o que diminuiu significativamente a capacidade tampão do meio e facilitou sua rápida acidificação. Quando cargas orgânicas volumétricas maiores que $5 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ foram aplicadas, houve tendência de acidificação e perda de estabilidade do reator. Depois da acidificação, a retomada do processo e sua recuperação foi bastante lenta e teve de ser auxiliada pela adição de fonte externa de alcalinidade para aumentar o pH.

Malaspina et al. (1996), aplicando um reator anaeróbio híbrido de fluxo ascendente, de 107,5 l de volume útil, para o tratamento de soro de queijo, verificaram que a aplicação de cargas orgânicas volumétricas acima de $10 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ levaram à um rápido aumento na concentração de ácidos voláteis totais e conseqüente queda do pH. A partir daí, a recuperação do sistema foi prejudicada e a eficiência de 90 % de remoção de matéria orgânica somente foi mantida por meio da adição de fonte externa de alcalinidade e aplicação de cargas orgânicas volumétricas menores que $1 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Ghaly et al. (2000) utilizaram um sistema anaeróbio de duas fases para o tratamento de soro de queijo de indústria de laticínios. A carga orgânica volumétrica aplicada foi de $4,8 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Em uma das etapas de operação não houve suplementação de NaHCO_3 no segundo reator (metanogênico). Nesta etapa, o pH caiu até 3,3 em ambos reatores levando o sistema à falência. Em seguida, foi realizado o aumento do pH no segundo reator até 7,0 pela adição de NaHCO_3 , na tentativa de se recuperar o sistema. No entanto, a inibição da biomassa foi irreversível e a retomada do processo não foi possível, frente aos baixos valores de eficiência de remoção de matéria orgânica observados. Em outra etapa, em que houve a reinoculação do sistema, e o controle do pH em 7,0, no segundo reator (metanogênico), pela adição de NaHCO_3 , o sistema manteve-se estável. Nesta etapa, embora a concentração de ácidos voláteis totais no segundo reator tenha sido de $1640 \text{ mgHAc.l}^{-1}$, não houve inibição da biomassa, fato comprovado pela manutenção da produção de biogás e da eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada e não filtrada, que permaneceram em torno de 66,8 e 59,9 %, respectivamente.

Özturk et al. (1993), utilizando um reator anaeróbio híbrido de fluxo ascendente

e de 8 l de volume útil, para o tratamento de soro de queijo proveniente de indústria de laticínios, verificaram que o reator apresentou eficiência de remoção de matéria orgânica de 87 % para cargas orgânicas volumétricas de até $8,5 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, correspondendo à uma carga orgânica específica de aproximadamente $0,70 \text{ gDQO.gSVT}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Para cargas de choque de $17 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a eficiência de remoção de matéria orgânica ficou em torno de 75 %. Vale ressaltar que, no referido trabalho, a alcalinidade do meio foi mantida em torno de $1500 \text{ mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$ pela adição de solução de NaOH e/ou NaHCO_3 .

Ergüder et al. (2000) utilizaram um UASB em escala laboratorial para o tratamento de soro de queijo de indústria de queijos e verificaram que a eficiência de remoção de matéria orgânica permaneceu praticamente a mesma, entre 95,3 e 97 %, para cargas orgânicas volumétricas de 22,6 a $24,6 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, e entre 94,7 e 95,7 %, para cargas orgânicas volumétricas de 10,4 a $14,6 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. O afluente era suplementado com nutrientes, metais traços e NaHCO_3 ($6000 \text{ mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$). A concentração de sólidos suspensos voláteis no UASB era de aproximadamente 100 gSSV.l^{-1} .

3.4. Considerações Finais

Devido ao alto investimento necessário à instalação de sistemas para o reaproveitamento do soro de queijo gerado em indústrias de laticínios, uma alternativa que pode ser interessante e economicamente viável para a minimização dos problemas ambientais causados pela disposição de soro em corpos d'água ainda é seu tratamento por processo anaeróbio.

Diferentes configurações de reatores anaeróbios têm sido utilizadas para o tratamento de soro e outros efluentes de indústria de laticínios, apresentando bons resultados. Tais configurações compreendem filtros anaeróbios, reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente, reatores híbridos, e reatores de duas fases, sendo os filtros anaeróbios e os reatores UASB as configurações mais utilizadas atualmente. No entanto, nas indústrias de queijos, o descarte do soro é normalmente realizado de maneira intermitente, tornando atrativa a utilização de unidades de tratamento operadas em bateladas sequenciais. Porém, estudos enfocando o uso do ASBR para o tratamento de soro de queijo e outros efluentes de indústrias de laticínios são raros na literatura e pouco se conhece ainda sobre o comportamento deste tipo de sistema quando submetido a aumentos da carga orgânica volumétrica aplicada, os quais seriam comuns durante o tratamento, devido às freqüentes variações observadas na concentração dos efluentes dessas indústrias.

Grande parte dos trabalhos da literatura mostra que, devido à altíssima biodegradabilidade do soro e sua tendência de rápida acidificação, muitos pesquisadores, independente do tipo de configuração utilizada, têm encontrado dificuldades em manter o processo estável quando o sistema é operado sob altas cargas orgânicas volumétricas, sendo que a principal limitação operacional está relacionada à escassez de alcalinidade no soro, o qual diminui significativamente a capacidade tampão do meio. Sendo assim, torna-se essencial a suplementação de um alcalinizante e/ou a adoção de estratégias de operação mais seguras que possibilitem a viabilização do tratamento.

Considerando o reator operado em bateladas sequenciais, o uso de um tempo de alimentação maior, por exemplo, torna-se uma importante ferramenta para se obter maior controle do processo sob diferentes condições de operação. No entanto, poucos

trabalhos têm sido relatados visando esclarecer o comportamento deste tipo de sistema quando submetido a diferentes tempos de enchimento. Além disso, a otimização da quantidade de alcalinizante adicionada também é de fundamental importância para a minimização de custos de operação do sistema.

Sendo assim, com a finalidade de contribuir para a resolução desses problemas de aspecto tecnológico que esse tipo de sistema ainda apresenta, no tratamento de soro de queijo, o presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação da influência da carga orgânica volumétrica aplicada, do tempo de alimentação, da carga de choque e da suplementação de alcalinidade sobre a eficiência e a estabilidade de um ASBBR com recirculação da fase líquida para o tratamento de soro de queijo, no intuito de colaborar para a correta operação deste tipo de reator.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

4.1.1. Configuração do Reator

O reator anaeróbio operado em bateladas seqüenciais contendo biomassa imobilizada em espuma de poliuretano e com mistura do meio realizada por recirculação da fase líquida foi inicialmente proposto por Camargo et al. (2001).

O reator, com capacidade para 1,0 l de meio, foi constituído por um frasco de acrílico, cilíndrico, com as seguintes dimensões: 540 mm de altura, 100 mm de diâmetro externo e 3,5 mm de espessura de parede. Foi utilizada uma unidade de controle para automatizar as operações de carga, descarga e recirculação da fase líquida.

O suporte de imobilização da biomassa foi acondicionado entre placas perfuradas de aço Inox – 316, dividindo a altura de 540 mm do reator em 5 estágios para evitar a compactação do leito. Na parte inferior do reator houve um compartimento de 20 mm de altura destinado a favorecer a distribuição da água residuária e, na parte superior, uma região com 40 mm de altura que funcionou como câmara coletora de biogás (CH_4 e CO_2).

O sistema de recirculação foi composto (1) por um reservatório lateral, o qual possui um volume de meio de 1,5 l, constituído por um frasco de acrílico, cilíndrico, com as seguintes dimensões: 300 mm de altura, 100 mm de diâmetro externo e 3,5 mm de espessura de parede; e (2) de uma bomba peristáltica marca Ismatec[®] modelo MCP, com capacidade de até 30 l.h⁻¹. Uma bureta de 100 ml foi interligada ao sistema de recirculação para medidas da vazão de recirculação. A alimentação e descarga foram realizadas por bombas tipo diafragma marca Prominente[®], modelos Beta/5 e Concept 0232 (equipada com amortecedor de pulso), respectivamente, auxiliadas por um sistema de automação composto por temporizadores marca Grasslin[®], modelo Lógica 500. Para manter sua temperatura aproximadamente constante, o reator foi colocado numa câmara

mantida à 30 ± 1 °C, onde a manutenção da temperatura foi realizada por um sistema composto de sensor, controlador (Novus®, modelo N480), ventilador e resistência elétrica.

O volume total de meio reacional, resultante da soma do volume de meio contido no reator e no reservatório paralelo, foi de 2,5 l. O esquema do sistema utilizado é apresentado na Figura 4.1.

FIGURA 4.1: Esquema do sistema utilizado para tratamento do soro de queijo
 [Notação: 1 – reator contendo biomassa imobilizada; 2 – reservatório lateral; 3 – bomba de reciclo; 4 – medidor de vazão; 5 – válvula; 6 – bombas de alimentação; 7 – reservatório de água residuária; 8 – válvulas de descarga; 9 – bomba de descarga; 10 – saída do efluente; 11 – saída de biogás; 12 – unidade de controle; — ligações hidráulicas; ---- ligações elétricas].

As fotografias da montagem experimental completa e do reator em operação são apresentadas nas Figuras 4.2 e 4.3, respectivamente.

FIGURA 4.2: Fotografia da montagem experimental.

FIGURA 4.3: Fotografia do reator em funcionamento.

4.1.2. Suporte de Imobilização da Biomassa Anaeróbia

Como suporte de imobilização da biomassa foi utilizada espuma de poliuretano na forma de cubos de 1 cm de aresta, confeccionada sem adição de corantes ou aditivos e produzida pela empresa Edmil Indústria e Comércio, localizada em Elói Mendes – MG. A espuma possuía densidade aparente de 23 kg.m^{-3} e porosidade próxima a 95 %.

4.1.3. Inóculo

O inóculo utilizado foi proveniente de reator anaeróbio de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB), operando com bons resultados e tratando água residuária de abatedouro de aves da avícola Dacar Industrial S.A., sediada em Tietê – SP.

4.1.4. Água Residuária

O biorreator foi alimentado com soro de queijo reconstituído, obtido a partir de soro de queijo desidratado da marca Vigor®, com umidade de 2 %. O afluente do reator foi preparado dissolvendo-se o soro desidratado em água de torneira, sendo que 1g de soro desidratado correspondeu, experimentalmente, à 1g de DQO. Além de soro de queijo, o afluente foi suplementado com alguns sais e bicarbonato de sódio. A composição média do soro desidratado e da água residuária sintética utilizada são apresentadas nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

TABELA 4.1: Composição do soro de queijo desidratado.

Composto	Composição (%)
Proteínas	11
Carboidratos	79
Lipídios	1
Sais minerais	7

TABELA 4.2: Composição da água residuária sintética utilizada.

Composto	Composição (mg. l^{-1})
Soro de queijo – como DQO	1000
Sulfato de níquel	0,500
Sulfato ferroso	2,50
Cloreto férrico	0,250
Cloreto de cálcio	23,5
Cloreto de cobalto	0,040
Óxido de selênio	0,035
Fosfato de potássio monobásico	42,5
Fosfato de potássio dibásico	10,8
Fosfato de sódio dibásico	16,7
Bicarbonato de sódio *	-

Fonte: Del Nery (1987)

* Concentração otimizada ao longo da condição operacional.

Os valores apresentados na Tabela 4.2 são baseados em concentração de soro de queijo de 1000 mgDQO. l^{-1} . Vale ressaltar que a concentração de soro de queijo na água residuária variou de 500 a 16000 mgDQO. l^{-1} , sendo a concentração dos demais compostos variada proporcionalmente.

Ao longo do experimento foram realizados alguns ensaios extras, os quais não haviam sido previstos no cronograma do projeto, na tentativa de aumentar o desempenho do reator. Em uma das etapas destes ensaios (*Etapa C*), cuja metodologia de operação do reator e seus resultados são apresentados no presente Capítulo e no Capítulo 5, respectivamente, a suplementação de sais no afluente foi substituída por esgoto sintético, o qual resultou em uma água residuária cuja composição média é dada pela Tabela 4.3.

TABELA 4.3: Composição da água residuária sintética utilizada na *Etapa C* dos ensaios extras realizados.

Composto	Composição (mg.l ⁻¹)
Soro de queijo – como DQO	4000
Sacarose	85,2
Amido	278
Celulose	82,8
Extrato de carne	507
Óleo de soja	124
NaCl	609
MgCl ₂ .6H ₂ O	16,8
CaCl ₂ .2H ₂ O	10,8
Bicarbonato de sódio	2000

4.2. Métodos

4.2.1. Análises Físico-Químicas

O monitoramento do reator foi efetuado medindo-se, em amostras do afluente e do efluente, as concentrações de matéria orgânica nas formas não filtrada (C_{ST}) e filtrada (C_{SF}) (como demanda química de oxigênio – DQO), de alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI), alcalinidade total (AT), alcalinidade a bicarbonato (AB), ácidos voláteis totais (AVT), nitrogênio amoniacal (N_{amon}), nitrogênio orgânico (N_{org}), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV), além da medida do pH e do volume de meio descarregado. As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995), considerando também o método proposto por Dilallo e Albertson (1961), a qual foi modificado por Ripley et al. (1986), na determinação da alcalinidade.

Essas variáveis foram monitoradas com uma frequência de, pelo menos, duas vezes por semana. Os ácidos voláteis intermediários foram analisados por cromatografia em fase gasosa, durante a realização de perfis, utilizando-se um cromatógrafo Hewlett Packard® modelo 6890 equipado com detector de ionização de chama e coluna Hewlett Packard® Innowax com 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm de espessura do filme. O gás de

arraste utilizado foi o hidrogênio, numa vazão de $2,0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, a temperatura do injetor foi igual a $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$, a razão de “*split*” de 20 e o volume de injeção de $1,0 \mu\text{L}$. A temperatura do forno foi de $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 minutos, sendo a rampa de aquecimento de $5 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ até $180 \text{ }^{\circ}\text{C}$, permanecendo por 5 minutos, e seguido de “*Postrun*” de $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 minutos. A temperatura do detector foi de $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com fluxo de ar sintético ($300 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e hidrogênio ($30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e vazão de “*make up*” de nitrogênio de $35 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

4.2.2. Exames Microbiológicos

Ao final de cada condição operacional foram retiradas do reator amostras de espuma de poliuretano com a biomassa imobilizada para exame microbiológico. As biopartículas foram retiradas em diferentes cotas ao longo da altura do reator e lavadas com água destilada, sendo o líquido resultante examinado em lâminas de vidro cobertas com filme de Ágar a 2 %, por microscopia óptica comum e de contraste de fase por fluorescência, utilizando microscópio Olympus® modelo BX41, com sistema de câmera digital *Optronics* e aquisição de imagens feita pelo software *Image Pro-Plus*® versão 4.5.0.

Os exames microbiológicos foram úteis para avaliação de possíveis mudanças na ecologia microbiana, à medida que se variava a carga orgânica volumétrica e o tempo de alimentação.

4.2.3. Produção de Metano e Composição do Biogás

A produção de metano e a composição do biogás gerado pela degradação anaeróbia foram analisadas durante a realização de perfis, respectivamente, por gasômetro de deslocamento de solução de NaOH (concentração $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) para absorção do CO_2 , e por cromatografia em fase gasosa utilizando-se um cromatógrafo Hewlett Packard® modelo 6890 equipado com detector de condutividade térmica e coluna Porapak Q® ($2 \times 1/4''$ – 80 a 100 mesh). O gás de arraste utilizado foi o hidrogênio, numa vazão de $50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. A temperatura da coluna, do injetor e do detector foram,

respectivamente, 35, 60 e 160 °C e o volume de cada amostra coletada foi de 1 ml.

4.3. Procedimento Experimental

4.3.1. Imobilização da Biomassa Anaeróbia

O lodo anaeróbio foi imobilizado em partículas cúbicas de espuma de poliuretano, conforme metodologia proposta por Zaiat et al. (1994). A espuma foi colocada em um béquer e o lodo, depois de batido no liquidificador por quatro segundos, foi adicionado ao béquer até que toda a espuma ficasse em contato com a suspensão. Decorrido um período de contato de 2 horas, as matrizes com as células aderidas foram colocadas em meio (o mesmo utilizado no experimento) para lavagem dos sólidos fracamente aderidos. O meio foi drenado e a biomassa imobilizada colocada nos diversos estágios ao longo da altura do reator. A porosidade do leito foi de 26 %. A massa total de espuma seca no interior do reator foi de 55 g. A Figura 4.4 apresenta uma fotografia dos cubos de espuma de poliuretano antes e depois da imobilização da biomassa.

FIGURA 4.4: Fotografia dos cubos de espuma de poliuretano antes (esquerda) e depois (direita) da imobilização.

4.3.2. Operação do Reator

4.3.2.1. Influência da Carga Orgânica, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade (Subprojeto 1)

O reator foi operado à temperatura de aproximadamente 30°C, em ciclos de operação de 8 horas, perfazendo 3 ciclos diários. No início de cada ciclo, o reator foi alimentado com um volume igual a 2,5 l durante aproximadamente 10 minutos. Em seguida iniciou-se a recirculação do meio, com velocidade de 0,19 cm.s⁻¹, valor este definido a partir de ensaios já realizados (RAMOS et al., 2003a, 2003b), durante um intervalo de tempo de 460 minutos. Após este período, no final do ciclo, a recirculação era interrompida e o reator descarregado durante um intervalo de tempo de 10 minutos.

Após o esvaziamento do reator, era estabelecido um intervalo de tempo de aproximadamente 1 minuto, como segurança no sincronismo de operação das bombas usadas na alimentação e na descarga, controladas por temporizadores para, então, iniciar-se o próximo ciclo.

O estudo da influência da carga orgânica volumétrica sobre a eficiência e a estabilidade do processo foi realizado operando-se o reator com concentrações crescentes do afluente. Ao todo foram estudadas três condições no Subprojeto 1, sendo que as concentrações do afluente na primeira, segunda e terceira condições operacionais foram, respectivamente, 1, 2 e 4 gDQO.l⁻¹, que corresponderam a cargas orgânicas volumétricas de, respectivamente, 3, 6 e 12 gDQO.l⁻¹.d⁻¹.

O estudo da influência da suplementação de alcalinidade sobre a eficiência e a estabilidade do sistema foi realizado da seguinte forma: Para cada condição estudada, a operação do reator iniciou-se com uma suplementação de alcalinidade no afluente numa relação gNaHCO₃.gDQO_{alimentada}⁻¹ não inferior a 1,0 e, à medida em que o sistema foi apresentando estabilidade nos valores de concentração de matéria orgânica, de ácidos voláteis totais e de alcalinidade a bicarbonato, diminuiu-se a relação gNaHCO₃.gDQO_{alimentada}⁻¹ no afluente, de modo a otimizar essa relação necessária para conferir estabilidade operacional ao sistema, ou seja, de modo a determinar a quantidade mínima de alcalinizante adicionada, de tal forma que o reator ainda operasse estável.

Atingida a estabilidade, ou seja, a obtenção de valores aproximadamente

constantes para essas variáveis operacionais monitoradas, e estabelecida a quantidade ótima de alcalinidade adicionada, foi levantado, para cada condição operacional, o perfil ao longo do ciclo de operação de algumas destas variáveis monitoradas. Este perfil foi obtido pela retirada de amostras do reator ao longo do período de operação de um ciclo. As variáveis de interesse nos perfis foram: concentração de matéria orgânica na forma filtrada, produção de metano, alcalinidade a bicarbonato, composição do biogás e concentração de ácidos voláteis totais e intermediários, além do pH. Estes perfis possibilitaram uma melhor compreensão das rotas de degradação ao longo de um ciclo, e permitiram a obtenção de parâmetros cinéticos (k) de degradação da matéria orgânica, a partir do ajuste de um modelo cinético de primeira ordem aos dados experimentais de perfil de concentração de matéria orgânica na forma filtrada. A contagem do tempo do perfil e retirada da primeira amostra foi iniciada após 3 minutos do término da alimentação, tempo necessário para uma melhor homogeneização do meio reacional.

Nos perfis de concentração de matéria orgânica filtrada e de ácidos voláteis intermediários, o volume de cada amostra coletada foi de 5 mL, e nos perfis de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, feitas por titulometria, o volume de cada amostra coletada foi de 20 mL, seguindo-se o seguinte intervalo de tempo de retirada de amostras: 30 minutos até a 1ª hora do ciclo, 40 minutos até a 3ª hora e, a partir de então, em intervalos de 60 minutos. O cálculo das eficiências de remoção de matéria orgânica filtrada, nos perfis, foi feito sempre em relação à concentração de matéria orgânica filtrada no reator no início do ciclo (C_{SAFLO}) (primeira amostra do perfil), sendo esta última menor que a concentração de matéria orgânica no afluente (C_{SAFL}) devido ao efeito da diluição inicial do afluente.

Em todos os perfis realizados, o volume total das amostras coletadas foi de aproximadamente 300 mL (em torno de 12 % do volume de meio reacional).

Na obtenção dos perfis de produção de metano e composição de biogás, foi realizada, inicialmente, uma injeção de nitrogênio gasoso na atmosfera do reator durante 3 minutos, contados imediatamente após o término da alimentação, a fim de garantir que exatamente no início do ciclo (tempo zero) houvesse somente nitrogênio na atmosfera do reator, garantindo que quantidades remanescentes de biogás geradas no ciclo anterior fossem expulsas. Decorrido os 3 minutos, o reator era completamente vedado para evitar vazamentos e iniciava-se o perfil. A retirada de amostras de biogás (para medida da composição do biogás), e a medida do volume de soda deslocado na bureta do gasômetro (para medida da produção de metano), foram realizadas em

intervalos de tempo iguais a 30 minutos (caso o volume de soda deslocado na bureta fosse de até 10 ml) ou em intervalos de tempo menores que 30 minutos (caso o volume de soda deslocado na bureta passasse a ser maior que 10 ml em menos de 30 minutos), evitando-se, assim, pressurização do reator. A retirada de biogás foi realizada utilizando-se uma seringa Supelco[®] e o volume de cada amostra coletada foi de 1 ml, sendo em seguida injetada no cromatógrafo.

Após a obtenção destes perfis, o reator era submetido a cargas de choque orgânicas de duração de um ciclo (8h), com o afluente numa concentração igual ao dobro da concentração do afluente utilizada na condição operacional em questão. Com o objetivo de se avaliar o efeito da aplicação das cargas de choque sobre o desempenho do reator, e seu comportamento após tal perturbação, foram levantados perfis (de concentração de matéria orgânica na forma filtrada, alcalinidade a bicarbonato, e de concentração de ácidos voláteis totais e intermediários), também, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque.

Os resultados dos perfis realizados para a primeira, segunda e terceira condições operacionais do Subprojeto 1, com o reator operando antes da aplicação da carga de choque, e no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

Os valores da concentração do afluente e da carga orgânica volumétrica correspondente, para cada condição operacional estudada, com o reator operando sob condições normais e sob aplicação de cargas de choque, estão apresentados na Tabela 4.4.

Para cada condição operacional, monitorou-se atentamente o sistema nos ciclos seguintes à aplicação da carga de choque, no intuito de se verificar se o reator manteria sua eficiência e estabilidade após a perturbação, como também verificar o tempo de recuperação e retomada do processo, caso houvesse algum tipo de desestabilização do sistema. Com o sistema estável, iniciava-se nova condição de operação, ou seja, a concentração do afluente era aumentada. Ao final de cada condição operacional, foram retiradas amostras de biopartículas de espuma de poliuretano para análise microbiológica e para a análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada.

TABELA 4.4: Concentração do afluente e carga orgânica volumétrica aplicada para cada condição operacional do Subprojeto 1.

Condição Operacional	C_{SAFL} (gDQO. l^{-1})	CC_{SAFL} (gDQO. l^{-1})	COV (gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)	COV_{CC} (gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)
1 ^a	1	2	3	6
2 ^a	2	4	6	12
3 ^a	4	8	12	24

Notação: C_{SAFL} – Concentração do afluente em condições normais; CC_{SAFL} – Concentração do afluente em condições de carga de choque; COV – Carga orgânica volumétrica em condições normais; COV_{CC} – Carga orgânica volumétrica em condições de carga de choque.

4.3.2.2. Ensaios Extras com Carregamento Orgânico Volumétrico de 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

Ao finalizar a terceira condição operacional do Subprojeto 1, decidiu-se, na tentativa de aumentar o desempenho do reator, realizar alguns ensaios extras ao projeto de pesquisa inicial, mantendo-se o carregamento orgânico volumétrico em 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, a suplementação de bicarbonato de sódio, já otimizada, em 50 % (conforme resultados apresentados no Capítulo 5), e alterando-se algumas variáveis, tais como velocidade de recirculação da fase líquida (*Etapa A*), não suplementação de sais ao afluente (*Etapa B*), substituição da suplementação de sais pela suplementação de esgoto sintético ao afluente (*Etapa C*), e operação do reator renovando-se apenas parte de seu volume de meio reacional a cada ciclo, os quais são descritos a seguir:

- *Etapa A – Operação do Reator com Velocidade de Recirculação da Fase Líquida de 0,14 cm.s⁻¹*

A operação do reator nesta etapa foi muito semelhante àquela realizada na terceira condição operacional do Subprojeto 1. Na referida etapa, o reator foi operado em bateladas sequenciais, tratando 2,5 l de soro de queijo a cada ciclo de 8 horas. A concentração de matéria orgânica no afluente foi de 4000 mgDQO. l^{-1} , a qual correspondeu à uma carga orgânica volumétrica de 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. Conforme foi realizado durante todo Subprojeto 1, o afluente continuou sendo suplementado com sais, o qual gerou uma água residuária cuja composição é dada pela Tabela 4.2. A suplementação de bicarbonato de sódio ao afluente (50 %) foi igual àquela

otimizada na terceira condição operacional do Subprojeto 1. O que diferenciou esta etapa da terceira condição operacional, em termos de operação, foi a utilização de uma menor velocidade de recirculação da fase líquida, a qual foi de $0,14 \text{ cm.s}^{-1}$. A realização deste ensaio com menor velocidade de recirculação da fase líquida foi motivada pela hipótese de que aumentando-se o tempo de passagem da água residuária ao longo do leito do reator poderia-se aumentar também a eficiência daquele em termos de remoção de matéria orgânica, sem causar diminuição significativa na velocidade de transferência de massa externa. Os resultados da referida etapa são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

- *Etapa B – Operação do Reator sem Suplementação de Sais no Afluente*

Nesta etapa o reator foi operado conforme a terceira condição operacional do Subprojeto 1, ou seja, em bateladas seqüenciais, tratando 2,5 l de soro de queijo a cada ciclo de 8 horas, com concentração de matéria orgânica no afluente igual a $4000 \text{ mgDQO.l}^{-1}$ (a qual correspondeu à uma carga orgânica volumétrica de $12 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$), velocidade de recirculação da fase líquida de $0,19 \text{ cm.s}^{-1}$ e suplementação de bicarbonato de sódio no afluente otimizada em 50 %. No entanto, nesta etapa, o afluente foi composto apenas por soro de queijo e bicarbonato de sódio, ou seja, o que diferenciou esta etapa daquela da terceira condição operacional do Subprojeto 1, em termos de operação, foi a ausência da suplementação de sais ao afluente. Esta etapa foi realizada visando-se verificar se a escassez de sais no soro de queijo poderia causar uma possível queda no desempenho do reator em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica. Os resultados da referida etapa são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

- *Etapa C – Operação do Reator com Suplementação de Esgoto Sintético no Afluente*

A operação do reator nesta etapa seguiu praticamente a mesma metodologia daquela apresentada na terceira condição operacional do Subprojeto 1, ou seja, operação do reator em bateladas seqüenciais, tratando 2,5 l de água residuária a cada ciclo de 8 horas, carregamento orgânico volumétrico de aproximadamente $12 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, velocidade de recirculação da fase líquida de $0,19 \text{ cm.s}^{-1}$ e

suplementação de bicarbonato de sódio no afluente otimizada em 50 %. O que diferenciou esta etapa da terceira condição operacional do Subprojeto 1 foi a substituição da suplementação de sais pela suplementação de esgoto sintético ao afluente, com o objetivo de verificar se tal mudança na composição do afluente poderia causar alguma diferença de desempenho do reator em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica. Além disso, levando em consideração a possibilidade de aplicação dessa tecnologia em escala plena no futuro, o custo de operação pela adição de esgoto ao afluente é menor em relação àquele pela adição de sais. É importante ressaltar que a adição de esgoto sintético aumentou a concentração de matéria orgânica no afluente em torno de $1000 \text{ mgDQO.l}^{-1}$, o que resultou em um afluente com concentração de matéria orgânica de aproximadamente $5000 \text{ mgDQO.l}^{-1}$. A composição média da água residuária utilizada nesta etapa é apresentada na Tabela 4.3. Os resultados da referida etapa são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

- *Operação do Reator em Batelada com Renovação Parcial de seu Volume de Meio Reacional por Ciclo*

Este ensaio foi realizado com o objetivo de se verificar a influência da diluição inicial do afluente sobre a eficiência e a estabilidade do reator, para o tratamento de soro de queijo, conforme sugerido por Bezerra Junior (2004), mantendo-se praticamente as mesmas condições de operação adotadas na terceira condição operacional do Subprojeto 1, ou seja, carregamento orgânico volumétrico de $12 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, suplementação de sais e bicarbonato de sódio ao afluente (já otimizada em 50 %), velocidade de recirculação da fase líquida de $0,19 \text{ cm.s}^{-1}$ e tempo de ciclo de 8 horas. O que diferenciou este ensaio da terceira condição operacional do Subprojeto 1 foi o volume tratado a cada ciclo, o qual foi menor que $2,5 \text{ l}$, e a concentração de matéria orgânica no afluente, a qual foi maior que $4000 \text{ mgDQO.l}^{-1}$. Para o estudo da influência da diluição inicial do afluente, ou seja, da relação entre o volume alimentado (V_A) e o volume de meio reacional (V_u) contido no reator, sobre a sua eficiência e estabilidade, a concentração de matéria orgânica no afluente foi variada conforme a relação entre o volume alimentado (ou renovado) e o volume de meio reacional contido no reator (razão V_A/V_u), de modo a manter constante a carga orgânica volumétrica em, aproximadamente, $12 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. As condições estudadas foram: (1) volume

alimentado de 1,75 l com volume residual de 0,75 l e concentração de matéria orgânica no afluente em torno de 5700 mgDQO. l^{-1} ; (2) volume alimentado de 1,25 l com volume residual de 1,25 l e concentração de matéria orgânica no afluente em torno de 8000 mgDQO. l^{-1} ; e (3) volume alimentado de 0,63 l com volume residual de 1,87 l e concentração de matéria orgânica no afluente em torno de 16000 mgDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. Os resultados das três condições estudadas neste ensaio são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

4.3.2.3. Influência do Tempo de Enchimento, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade sob Diferentes Cargas Orgânicas Volumétricas (Subprojeto 2)

Os resultados acerca da influência do tempo de enchimento, da carga de choque e da suplementação de alcalinidade sobre a estabilidade e a eficiência do reator, com este operando sob diferentes cargas orgânicas volumétricas (Subprojeto 2), são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

No Subprojeto 2, o reator também foi operado à temperatura de 30 ± 1 °C, em ciclos de operação de 8 horas. O estudo sobre a influência do tempo de alimentação sobre a estabilidade e a eficiência do reator seria realizado, conforme previsto no plano de pesquisa de doutorado, operando-se o reator com renovação de todo volume de meio reacional (2,5 l) a cada ciclo, sendo que, no início de um ciclo de operação, o reator seria alimentado com um volume de soro de queijo igual à metade do volume de meio a ser tratado (1,25 l) durante um período de, aproximadamente, 10 minutos, e em seguida seria iniciada a alimentação da outra metade do volume de meio a ser tratado, durante um período variado, no qual seria estabelecida a estratégia de alimentação. No entanto, os ensaios extras (item 4.3.2.2), realizados após a finalização do Subprojeto 1, mostraram que a operação do reator renovando-se 70 % de seu volume de meio reacional a cada ciclo, para carga orgânica volumétrica de 12 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, foi a condição operacional que se mostrou mais vantajosa dentre todas as outras condições de renovação parcial de volume estudadas, sendo seus resultados apresentados e discutidos no Capítulo 5. A partir desta observação, foi estabelecido que o estudo da influência do tempo de enchimento, da carga de choque e da suplementação de alcalinidade, sob

diferentes cargas orgânicas volumétricas, seria realizado operando-se o reator com renovação de 60 a 70 % de seu volume de meio reacional a cada ciclo, sendo de 30 a 40 % de seu volume (volume residual) mantido no interior do reator de um ciclo à outro. Sendo assim, a operação do reator no Subprojeto 2 foi realizada da seguinte maneira: Para uma dada carga orgânica volumétrica, no início de um ciclo de operação, era iniciada a recirculação do meio ($0,19 \text{ cm.s}^{-1}$, durante 470 minutos). Simultaneamente à recirculação, era iniciada a alimentação de um volume de soro de queijo a ser tratado aproximadamente igual à $1,50 \text{ l}$ (60 % do volume de meio reacional) durante um período variado, utilizando-se vazão constante, no qual era estabelecida a estratégia de alimentação. Ao término do ciclo, o efluente (60 % do volume de meio reacional) era descarregado durante, aproximadamente, 10 minutos, sendo o restante de meio, denominado de volume residual (40 % do volume de meio reacional), mantido no reator. Após o esvaziamento de parte do reator, era estabelecido um intervalo de tempo de 1 minuto como segurança no sincronismo de operação das bombas usadas na alimentação e na descarga, controladas por temporizadores para, então, o próximo ciclo ser iniciado.

A estratégia de alimentação foi estabelecida pelo tempo de carga do reator nas seguintes condições: (a) período de alimentação de 2 horas, caracterizando a operação em batelada alimentada durante 25 % do ciclo; (b) período de alimentação de 4 horas, caracterizando a operação em batelada alimentada durante 50 % do ciclo; e (c) período de alimentação de 6 horas, caracterizando a operação em batelada alimentada durante 75 % do ciclo. Para cada condição operacional, atingida a estabilidade operacional, era levantado o perfil ao longo do ciclo de operação de algumas das variáveis monitoradas, conforme já mencionado no item 4.3.2.1, com a diferença de que, neste caso, a retirada de amostras do perfil era iniciada 3 minutos após o início da batelada alimentada. No perfil de composição de biogás, a injeção de nitrogênio no “head space” do reator era feita durante 3 minutos, contados a partir do início da batelada alimentada. Quanto aos perfis de produção de metano, estes últimos não foram possíveis de serem realizados para operação em batelada alimentada (Subprojeto 2), uma vez que, durante a realização destes perfis, o reator era vedado, e a variação do volume de meio reacional no interior do reator, durante a batelada alimentada, causou erros grosseiros na medida da produção de metano.

Após a obtenção dos perfis, o reator era submetido a cargas de choque orgânicas de $24 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, de duração de um ciclo (8h). Também foram levantados perfis no

ciclo seguinte à aplicação da carga de choque.

Conforme realizado no Subprojeto 1, o sistema foi monitorado nos ciclos seguintes à aplicação da carga de choque, no intuito de se verificar se o reator mantinha sua eficiência e estabilidade após a perturbação, como também verificar o tempo de recuperação e retomada do processo, caso houvesse algum tipo de desestabilização do sistema. Com o sistema estável, iniciava-se nova estratégia de alimentação, ou seja, o tempo de enchimento era alterado.

O estudo sobre a influência do tempo de alimentação e da suplementação de alcalinidade sobre a estabilidade e eficiência do reator foi realizado para três valores de concentração do afluente: 1,67, 3,34 e 6,68 gDQO.l^{-1} , a qual corresponderam à cargas orgânicas volumétricas de 3, 6 e 12 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Com relação à otimização da suplementação de alcalinidade, foi adotado o mesmo procedimento de estratégia de partida exposto no item 4.3.2.1, na qual a operação do reator iniciava-se com uma suplementação de alcalinidade no afluente de, no mínimo, $1,0 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}_{\text{alimentada}}^{-1}$, e a medida em que o sistema fosse apresentando estabilidade, essa relação ia sendo reduzida até se conseguir uma suplementação ótima de alcalinidade.

Depois de realizados todos os ensaios de estratégia de alimentação para a primeira concentração de afluente ($1,67 \text{ gDQO.l}^{-1}$), a concentração do afluente foi aumentada para $3,34 \text{ gDQO.l}^{-1}$ e, novamente, foram realizados os mesmos ensaios de estratégia de alimentação para esta última concentração. Finalmente, terminado os ensaios de estratégia de alimentação para concentração de $3,34 \text{ gDQO.l}^{-1}$, a concentração do afluente foi aumentada para $6,68 \text{ gDQO.l}^{-1}$ e, mais uma vez, ensaios de estratégia de alimentação foram realizados para esta concentração de afluente.

No Subprojeto 2 foram avaliadas ao todo, portanto, 9 condições operacionais (3 diferentes tempos de alimentação para 3 diferentes cargas orgânicas volumétricas). Ao final de cada condição operacional, foram também retiradas amostras de biopartículas de espuma de poliuretano para exame microbiológico e para a análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada.

Na Tabela 4.5 estão apresentados, para cada condição operacional sob uma dada concentração de afluente, os tempos de duração da batelada alimentada, a concentração do afluente em condições de carga de choque, a carga orgânica volumétrica em condições normais e em condições de carga de choque.

TABELA 4.5: Tempos de alimentação, concentrações do afluente em condições de carga de choque e cargas orgânicas volumétricas em condições normais e em condições de carga de choque.

C_{SAFL} (gDQO. l^{-1})	t_A (h)	CC_{SAFL} (gDQO. l^{-1})	COV (gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$)	COV _{CC} (gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$)
1,67	2	13,36	3	24
	4	13,36	3	24
	6	13,36	3	24
3,34	2	13,36	6	24
	4	13,36	6	24
	6	13,36	6	24
6,68	2	13,36	12	24
	4	13,36	12	24
	6	13,36	12	24

Notação: C_{SAFL} – Concentração afluente em condições normais; t_A – Tempo alimentação; CC_{SAFL} – Concentração afluente em condições de carga de choque; COV – Carga orgânica volumétrica em condições normais; COV_{CC} – Carga orgânica volumétrica em condições de carga de choque.

4.3.3. Análise de Sólidos na Espuma de Poliuretano

Ao final de cada condição operacional, o sistema era desmontando e eram retiradas amostras de biopartículas do reator para a análise dos sólidos presentes na espuma de poliuretano imobilizada. Esta análise teve como objetivo determinar as concentrações de sólidos totais (S_{ST}) e sólidos totais voláteis (S_{STV}) relativos à biomassa imobilizada presente no reator em cada condição operacional estudada, podendo-se ter, assim, uma estimativa da concentração de biomassa no reator, na forma de sólidos totais voláteis (S_{STV}).

A análise foi realizada seguindo-se o seguinte procedimento: Desmontado o sistema, a massa total de espuma imobilizada (M_{imob}) foi medida e desse total foram retirados aproximadamente 4 cubos de espuma imobilizada, na qual a massa também foi medida (m_{imob}). Em seguida, com auxílio de uma pinça, foi realizada a lavagem dos 4 cubos de espuma imobilizada com água destilada para separação de toda biomassa da espuma. A água de lavagem, juntamente com a biomassa retirada da espuma, foram coletadas em uma cápsula de porcelana de 50 ml que foi em seguida levada à estufa a

105 °C por 24 horas e depois pesada para determinar a massa de sólidos totais (m_{ST}), por diferença, conhecendo-se a massa da cápsula de porcelana seca (m_{cap}) e a massa da cápsula contendo os sólidos totais (m_{cap+ST}), conforme a Equação (4.1):

$$m_{ST} = m_{cap+ST} - m_{cap} \quad (4.1)$$

Em seguida, a cápsula foi colocada em mufla a 550 °C durante 2 horas e depois pesada para obter a massa de sólidos totais fixos (m_{STF}), por diferença, conhecendo-se a massa da cápsula seca (m_{cap}) e a massa da cápsula contendo os sólidos totais fixos ($m_{cap+STF}$), de acordo com a Equação (4.2):

$$m_{STF} = m_{cap+STF} - m_{cap} \quad (4.2)$$

A diferença entre a massa de sólidos totais (m_{ST}) e a massa de sólidos totais fixos (m_{STF}) forneceu a massa de sólidos totais voláteis (m_{STV}), conforme a Equação (4.3):

$$m_{STV} = m_{ST} - m_{STF} \quad (4.3)$$

Os 4 cubos de espuma de poliuretano limpos também foram colocados em outra cápsula de porcelana e levados à estufa a 105 °C durante 24 horas, sendo em seguida pesada para obter a massa de espuma limpa (m_{esp}), por diferença, conhecendo-se a massa da cápsula seca (m_{cap}) e a massa da cápsula contendo os cubos de espuma seca ($m_{cap+esp}$), de acordo com a Equação (4.4):

$$m_{esp} = m_{cap+esp} - m_{cap} \quad (4.4)$$

Tendo posse destes valores, pôde-se calcular a relação entre a massa de sólidos totais e sólidos totais voláteis por massa de espuma limpa (m_{ST}/m_{esp} e m_{STV}/m_{esp} , respectivamente), como também a relação entre a massa de espuma limpa e a massa de espuma imobilizada (m_{esp}/m_{imob}), conforme as Equações (4.5), (4.6) e (4.7):

$$m_{ST} / m_{esp} = \frac{m_{ST}}{m_{esp}} \quad (4.5)$$

$$m_{STV} / m_{esp} = \frac{m_{STV}}{m_{esp}} \quad (4.6)$$

$$m_{esp} / m_{imob} = \frac{m_{esp}}{m_{imob}} \quad (4.7)$$

Finalmente, multiplicando-se a relação m_{esp}/m_{imob} (massa de espuma limpa por massa de espuma imobilizada) pela relação m_{STV}/m_{esp} (massa de sólidos totais voláteis por massa de espuma limpa), e esta por M_{imob} (massa total de espuma imobilizada no reator), obteve-se a massa de sólidos totais voláteis em todo reator (M_{STV}) que, dividida pelo volume de meio reacional (V_u – a qual foi considerado como sendo igual à 2,5 l, ou seja, igual ao volume de meio no reator somado ao volume de meio no reservatório paralelo), forneceu a concentração de sólidos totais voláteis no reator (S_{STV}), de acordo com as Equações (4.8) e (4.9):

$$M_{STV} = \frac{m_{esp}}{m_{imob}} \cdot \frac{m_{STV}}{m_{esp}} \cdot M_{imob} \quad (4.8)$$

$$S_{STV} = \frac{M_{STV}}{V_u} \quad (4.9)$$

Da mesma maneira, a concentração de sólidos totais no reator (S_{ST}) foi obtida dividindo-se a massa de sólidos totais no reator (M_{ST}) pelo volume de meio reacional ($V_u - 2,5$ l), sendo a massa de sólidos totais no reator determinada multiplicando-se a relação m_{esp}/m_{imob} (massa de espuma limpa/massa de espuma imobilizada) pela relação m_{ST}/m_{esp} (massa de sólidos totais/massa de espuma limpa), e esta por M_{imob} (massa total de espuma imobilizada no reator), conforme as Equações (4.10) e (4.11), respectivamente:

$$S_{ST} = \frac{M_{ST}}{V_u} \quad (4.10)$$

$$M_{ST} = \frac{m_{esp}}{m_{imob}} \cdot \frac{m_{ST}}{m_{esp}} \cdot M_{imob} \quad (4.11)$$

4.4. Fundamentos Teóricos

4.4.1. Eficiência de Remoção de Matéria Orgânica

A eficiência de remoção de matéria orgânica total (ϵ_{ST}) no sistema foi calculada considerando-se a seguinte Equação (4.12):

$$\epsilon_{ST}(\%) = \frac{C_{SAFL} - C_{ST}}{C_{SAFL}} \cdot 100 \quad (4.12)$$

Onde C_{SAFL} é a concentração de matéria orgânica total no afluente e C_{ST} é a concentração de matéria orgânica total no efluente.

A eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (ϵ_{SF}) foi calculada pela seguinte Equação (4.13):

$$\epsilon_{SF}(\%) = \frac{C_{SAFL} - C_{SF}}{C_{SAFL}} \cdot 100 \quad (4.13)$$

Onde C_{SF} é a concentração de matéria orgânica filtrada no efluente.

4.4.2. Carga Orgânica Volumétrica

A carga orgânica volumétrica (COV) foi definida como sendo a quantidade de matéria orgânica aplicada ao reator por unidade de tempo e por volume de meio do reator, por exemplo, $\text{gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, ou $\text{gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Para reatores operados em batelada e batelada alimentada, a carga orgânica volumétrica pode ser calculada pela Equação (4.14):

$$\text{COV} = \frac{(V_A \cdot n) \cdot C_{\text{SAFL}}}{V_u} \quad (4.14)$$

Onde V_A é o volume de água residuária alimentada no ciclo, n é o número de ciclos por unidade de tempo, C_{SAFL} é a concentração de matéria orgânica no afluente e V_u é o volume de água residuária no reator.

4.4.3. Carga Orgânica Específica

A carga orgânica específica (COE) foi definida como sendo a quantidade de matéria orgânica aplicada ao reator por unidade de tempo e por massa de sólidos totais voláteis no reator, por exemplo, $\text{gDQO} \cdot \text{gSVT}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, ou $\text{gDQO} \cdot \text{gSVT}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Para reatores operados em batelada, a carga orgânica específica pode ser calculada pela Equação (4.15):

$$\text{COE} = \frac{(V_A \cdot n) \cdot C_{\text{SAFL}}}{M_{\text{STV}}} \quad (4.15)$$

Onde V_A é o volume de água residuária alimentada no ciclo, n é o número de ciclos por unidade de tempo, C_{SAFL} é a concentração de matéria orgânica no afluente e M_{STV} é a massa de sólidos totais voláteis no interior do reator.

4.4.4. Carga Orgânica Removida

A carga orgânica removida (COR) foi definida como sendo a quantidade de matéria orgânica removida pelo reator por unidade de tempo e por volume de meio do reator, por exemplo, $\text{gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, ou $\text{gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Para reatores operados em batelada, a carga orgânica removida, para amostras de efluente filtradas, pode ser calculada pela Equação (4.16):

$$\text{COR}_{\text{SF}} = \frac{(C_{\text{SAFL}} - C_{\text{SF}}) \cdot V_{\text{A}}}{V_{\text{u}} \cdot t_{\text{c}}} \quad (4.16)$$

Onde C_{SAFL} é a concentração de matéria orgânica no afluente, C_{SF} é a concentração de matéria orgânica filtrada no efluente, V_{A} é o volume de água residuária alimentada no ciclo, V_{u} é o volume de água residuária no reator e t_{c} é o tempo de ciclo.

A carga orgânica removida, para amostras não filtradas de efluente, pode ser calculada pela Equação (4.17):

$$\text{COR}_{\text{ST}} = \frac{(C_{\text{SAFL}} - C_{\text{ST}}) \cdot V_{\text{A}}}{V_{\text{u}} \cdot t_{\text{c}}} \quad (4.17)$$

Onde C_{SAFL} é a concentração de matéria orgânica no afluente, C_{ST} é a concentração de matéria orgânica não filtrada no efluente, V_{A} é o volume de água residuária alimentada no ciclo, V_{u} é o volume de água residuária no reator e t_{c} é o tempo de ciclo.

Neste trabalho foi realizado, para todas as condições operacionais estudadas, o cálculo da carga orgânica removida pelo reator, para amostras de efluente filtradas e não filtradas. Os valores de carga orgânica removida são apresentados e discutidos no Capítulo 5.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Operação do Reator em Batelada com Aplicação de Carga Orgânica Volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$

Nessa primeira condição operacional, cujo período correspondeu à 35 dias, o reator foi operado em bateladas sequenciais em ciclos de 8 horas e tempos de alimentação e descarga de 10 minutos cada, sendo o carregamento orgânico volumétrico igual a $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, com aplicação de carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ao final do ensaio.

Após a inoculação, o reator teve seu início de operação com concentração de matéria orgânica no afluente de $0,500 \text{ gDQO.l}^{-1}$ (o que correspondeu à uma carga orgânica volumétrica de $1,50 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$) e velocidade de recirculação da fase líquida de $0,09 \text{ cm.s}^{-1}$, a fim de que a biomassa pudesse se adaptar à essa nova condição ambiental a qual estava sendo submetida.

Decorrido dois dias de operação, a concentração de matéria orgânica no afluente e a velocidade de recirculação da fase líquida foram alteradas para, respectivamente, $1,00 \text{ gDQO.l}^{-1}$ (o que correspondeu à uma carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$) e $0,19 \text{ cm.s}^{-1}$ e, a partir daí, iniciou-se o monitoramento do reator. A suplementação de alcalinidade no início do ensaio foi de 1 grama de bicarbonato de sódio para cada grama de DQO alimentada ($1,00 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}_{\text{alimentada}}^{-1}$), ou seja, suplementação de 100 %.

Foi previsto um período de operação de 45 dias para realização da condição operacional, levando-se em consideração que, após a aplicação da carga de choque, pudesse haver algum tipo de desestabilização do sistema, o qual demandaria um certo tempo para a recuperação da estabilidade do sistema e retomada do processo. No entanto, foi verificado que, mesmo após a aplicação da carga de choque, o sistema manteve sua estabilidade, colaborando para que o período de operação para essa condição operacional (35 dias) fosse menor do que o previsto.

Os valores médios das variáveis monitoradas para essa condição são apresentados na Tabela 5.1. É importante ressaltar que, para o cálculo da média, foram considerados apenas os dados a partir da qual a suplementação de alcalinidade já encontrava-se otimizada. A Tabela 5.2 apresenta os valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator, sendo estes expressos em massa de sólidos por massa de espuma, e massa de sólidos por volume de meio reacional. A carga orgânica volumétrica e específica, calculadas a partir do valor médio da concentração de matéria orgânica no afluente, foram de, respectivamente, $2,96 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $100 \text{ mgDQO.gSTV}^{-1}.\text{d}^{-1}$. A carga orgânica removida, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, foram de, respectivamente, $2,85$ e $2,70 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Os dados de operação para essa condição estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente.

TABELA 5.1: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada com COV de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Variável	Afluente ^(a)	Efluente ^(a)
$C_{ST} \text{ (mgDQO.l}^{-1}\text{)}$	$988 \pm 17^{(23)}$	$88 \pm 18^{(7)}$
$C_{SF} \text{ (mgDQO.l}^{-1}\text{)}$	-	$37 \pm 15^{(7)}$
$\epsilon_{ST} \text{ (\%)}$	-	$91 \pm 2^{(7)}$
$\epsilon_{SF} \text{ (\%)}$	-	$96 \pm 2^{(7)}$
$AVT \text{ (mgHAc.l}^{-1}\text{)}$	$47 \pm 5^{(11)}$	$34 \pm 11^{(11)}$
$AB \text{ (mgCaCO}_3\text{.l}^{-1}\text{)}$	$182 \pm 15^{(11)}$	$215 \pm 20^{(11)}$
pH	$8,2 \pm 0,2^{(11)}$	$6,5 \pm 0,1^{(11)}$
$V_{\text{Descarregado}} \text{ (l)}$	-	$2,50 \pm 0,02^{(25)}$
$ST \text{ (mg.l}^{-1}\text{)}$	$1324 \pm 24^{(6)}$	$612 \pm 35^{(6)}$
$STV \text{ (mg.l}^{-1}\text{)}$	$1113 \pm 31^{(6)}$	$404 \pm 43^{(6)}$
$SST \text{ (mg.l}^{-1}\text{)}$	$41 \pm 19^{(6)}$	$62 \pm 21^{(6)}$
$SSV \text{ (mg.l}^{-1}\text{)}$	$24 \pm 10^{(6)}$	$38 \pm 9^{(6)}$

^(a) Número de amostras utilizadas no cálculo da média.

TABELA 5.2: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para a operação em batelada com COV de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Variável	Biomassa
$S_{ST}^{(a)}$	1753
$S_{STV}^{(a)}$	1482
$S_{ST}^{(b)}$	34,8
$S_{STV}^{(b)}$	29,5
S_{STV}/S_{ST}	0,85

^(a) (mg de sólidos. g de espuma⁻¹).

^(b) (g de sólidos. l de meio reacional⁻¹).

Na Figura 5.1 são apresentados os valores de concentração de matéria orgânica no efluente para amostras filtradas (média de 37 mgDQO. l^{-1}) e não filtradas (média de 88 mgDQO. l^{-1}) ao longo do período dessa condição operacional, enquanto a Figura 5.2 mostra as eficiências de remoção de matéria orgânica, a qual mantiveram-se em torno de 96 e 91 % para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente, indicando bom desempenho do reator durante praticamente todo o período de ensaio.

A comparação entre os valores médios de concentração de sólidos totais voláteis e sólidos totais no afluente e no efluente, contidos na Tabela 5.1, mostram que não houve perda de sólidos pelo reator. No entanto, houve formação de um material viscoso de aparência polimérica e provável origem microbiológica entre os cubos de espuma de poliuretano com a biomassa imobilizada, tornando as concentrações de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis no efluente maiores do que aquelas no afluente (Tabela 5.1), pois parte desse material era descarregado com o efluente no momento da descarga do reator.

A análise da Tabela 5.2 mostra que a relação entre a concentração de sólidos totais voláteis e sólidos totais, relativos à biomassa imobilizada presente no reator, foi igual a 0,85. Este resultado é positivo, uma vez que a concentração de microrganismos decompositores de matéria orgânica no interior do reator pode ser estimada considerando aquela como sendo igual ao valor da concentração de sólidos totais voláteis presentes no reator e, sendo esta igual a 85 % da concentração de sólidos totais, isto significa que 85 % da massa de sólidos totais contidos no reator podem ser considerados, a grosso modo, como massa de microrganismos. Entretanto, é importante

ressaltar que parte desses sólidos totais voláteis relativos à biomassa imobilizada podem ser também constituídos, além de biomassa, por material polimérico formado, dando assim uma falsa idéia sobre a quantidade de biomassa presente no reator. No intuito de minimizar esse erro, foi feita a retirada desse material polimérico da superfície dos cubos coletados antes que a análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada fosse realizada. A retirada do material foi feita cautelosamente e com o auxílio de uma pinça, a fim de evitar a perda de biomassa contida no suporte.

FIGURA 5.1: Concentração de matéria orgânica no efluente para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$].

FIGURA 5.2: Eficiência de remoção de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$; (II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$].

As Figuras 5.3 e 5.4 ilustram os valores de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, respectivamente. A análise da Figura 5.3 mostra que a alcalinidade a bicarbonato no efluente se manteve maior do que aquela no afluente durante boa parte do período de ensaio, indicando que houve produção de alcalinidade a bicarbonato. Pela Figura 5.4, observa-se que a concentração de ácidos voláteis totais no efluente variou de $15,4$ a $64,8 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$, apresentando valores mais estáveis (em torno de $34 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$) e menores do que aqueles no afluente a partir do vigésimo quinto dia de operação.

O pH se manteve em valores próximos ao neutro durante todo o período, indicando que a alcalinidade adicionada ao afluente foi capaz de neutralizar os ácidos presentes e proporcionar o tamponamento do meio. Todos esses fatores, em conjunto, comprovaram a estabilidade do sistema e o auto-controle do processo para essa primeira condição operacional.

FIGURA 5.3: Alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com

$COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$;
(II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$].

FIGURA 5.4: Concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com

$COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$;
(II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$].

A suplementação de alcalinidade do afluente pôde ser otimizada em 25 %, mantendo a estabilidade e a eficiência do sistema. A análise da Figura 5.2 mostra que o sistema foi capaz de manter sua eficiência após a diminuição da suplementação de

bicarbonato de sódio de 100 para 50 % (décimo primeiro dia de operação). Nesse período de transição, foram detectadas baixas concentrações de ácidos voláteis totais no efluente, em torno de 16 mgHAc.l^{-1} (Figura 5.4), concomitantemente à manutenção da produção de alcalinidade a bicarbonato no efluente (Figura 5.3). Sendo assim, no décimo quarto dia de operação, a suplementação de bicarbonato de sódio foi reduzida para 25 %. Nesse período, foi verificado uma ligeira queda na eficiência de remoção de matéria orgânica (Figura 5.2) para amostras filtradas (de 94 para 91 %) e não filtradas (de 91 para 85 %), simultaneamente à um progressivo aumento na concentração de ácidos voláteis no efluente, de 16,1 para $44,7 \text{ mgHAc.l}^{-1}$, e então de $44,7$ para $64,0 \text{ mgHAc.l}^{-1}$, no décimo quinto dia de operação (Figura 5.4), ou seja, houve um acúmulo de ácidos voláteis totais nesse período, indicando um possível início de desestabilização do sistema. No entanto, a partir do décimo oitavo dia de operação, foi verificado recuperação da eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas (de 91 para 94 %) e não filtradas (de 85 para 89 %), o qual estabilizaram-se em, respectivamente, 96 e 91 %, a partir do vigésimo quinto dia de operação (Figura 5.2). Pela Figura 5.4 verifica-se, nesse mesmo período, a partir do décimo oitavo dia de operação, a queda na concentração de ácidos voláteis totais no efluente, de $64,0$ para $40,8 \text{ mgHAc.l}^{-1}$, e então de $40,8$ para $22,0 \text{ mgHAc.l}^{-1}$, estabilizando-se em torno de 34 mgHAc.l^{-1} , a partir do vigésimo quinto dia de operação.

No entanto, Mockaitis et al. (2004) citam que a diminuição da suplementação de alcalinidade no afluente, durante a otimização, pode causar desestabilização do reator, e sugerem a realização de períodos experimentais mais longos com a finalidade de se verificar se o sistema atinge alguma estabilidade aparente, pois no trabalho citado, em algumas estratégias de suplementação, após otimização da suplementação de alcalinidade, quando o reator mostrou aparente estabilidade, os autores constataram um decaimento da mesma após alguns dias de operação, obrigando uma suplementação um pouco maior do que aquela otimizada, para garantir assim segurança operacional.

Portanto, considerou-se a sugestão de Mockaitis et al. (2004) e, neste trabalho, decidiu-se pela operação do reator por mais oito dias, a partir do vigésimo quinto dia, a fim de se verificar uma possível desestabilização do sistema. No entanto, foi verificado manutenção da estabilidade e da eficiência do sistema nesse período, sendo realizado perfis no vigésimo nono dia de operação, e no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, realizada no trigésimo quarto dia de operação.

Os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, e intermediários, antes da aplicação da carga de choque, podem ser visualizados nas Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8, respectivamente. Os perfis de concentração de metano e gás carbônico, porcentagem molar de metano e gás carbônico, e produção de metano, são apresentados nas Figuras 5.9, 5.10 e 5.11, respectivamente.

FIGURA 5.5: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.6: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.7: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.8: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.9: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.10: Perfil de percentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.11: Produção de metano ao longo do ciclo para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

A Figura 5.5 mostra que, a partir de 6,00 horas de tempo no ciclo, a concentração de matéria orgânica filtrada residual manteve-se praticamente estável. O aumento na concentração de ácidos voláteis totais ocorreu até aproximadamente 1,50 horas de tempo no ciclo (Figura 5.7), caracterizando assim a etapa acidogênica do processo de digestão anaeróbia. A partir daí, a concentração de ácidos voláteis totais começou a cair até atingir valores praticamente constantes a partir de 6,00 horas de tempo no ciclo. Pela Figura 5.6, observa-se que a maior produção de alcalinidade a bicarbonato ocorreu entre 1,50 e 6,00 horas de tempo no ciclo, período esse em que ocorreu o consumo dos ácidos voláteis, caracterizando assim a etapa acetogênica e metanogênica, com consumo de ácidos voláteis e formação de alcalinidade a bicarbonato e metano. A Figura 5.8 mostra que os principais ácidos voláteis identificados ao longo do ciclo foram o acético, o propiônico e o butírico. Outros ácidos voláteis, tais como o isobutírico e o isovalérico, foram observados em baixas concentrações (menores que $5,65 \text{ mg} \cdot l^{-1}$) ao longo de todo o ciclo. A partir de 5,00 horas de tempo de ciclo nenhum ácido foi detectado, indicando que a sua concentração permaneceu abaixo do limite de detecção do método.

A análise da Figura 5.9 permite verificar que as condições impostas foram favoráveis à conversão da matéria orgânica presente por vias anaeróbias, com formação de metano durante todo o tempo de ciclo, ou seja, o processo aconteceu de forma completa. A Figura 5.10 mostra que a porcentagem molar de gás carbônico na atmosfera do reator foi maior do que àquela de metano até 2,50 horas de tempo no ciclo,

possivelmente devido à maior velocidade de formação de gás carbônico, em relação àquela de metano, ocorrida durante a etapa acidogênica (produção de ácidos voláteis, H_2 e CO_2) do processo de digestão anaeróbia. A partir de 2,50 horas de tempo no ciclo, a porcentagem de metano passa a ser maior do que a de gás carbônico, possivelmente devido à maior produção de metano em relação àquela de gás carbônico ocorrida nesse período, com predominância da metanogênese acetoclástica (consumo de acetato e formação de metano) e hidrogenotrófica (consumo de CO_2 e H_2 com formação de metano). Outra hipótese que explicaria o fato da ocorrência de maior porcentagem de gás carbônico em relação àquela de metano, até 2,50 horas de tempo no ciclo, é a grande formação de gás carbônico e alcalinidade a ácidos voláteis durante a neutralização dos ácidos voláteis inicialmente formados pela alcalinidade a bicarbonato adicionada ao afluente.

Nas Figuras 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15 são apresentados, respectivamente, os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, alcalinidade a bicarbonato e concentração de ácidos voláteis totais e intermediários, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Verificou-se que o aumento repentino da carga orgânica volumétrica para $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ não foi prejudicial à biomassa, fato esse que pode ser comprovado pela manutenção das rotas de degradação ao longo do ciclo (Figuras 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15) e pelo estabelecimento de eficiências de remoção de matéria orgânica filtrada e não filtrada de, respectivamente, 98 e 93 %, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, além da manutenção de concentrações de ácidos voláteis totais e alcalinidade a bicarbonato no efluente próximas àsquelas anteriores ao choque. Os dados referentes aos perfis obtidos estão tabulados no Apêndice III.

FIGURA 5.12: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.13: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.14: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.15: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

5.2. Operação do Reator em Batelada com Aplicação de Carga Orgânica Volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$

Encerrada a primeira condição operacional, o sistema foi desmontado para limpeza e iniciou-se a segunda condição, cujo período correspondeu a 66 dias, sendo o carregamento orgânico volumétrico igual a $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, com aplicação de carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ao final do ensaio.

Analogamente à primeira condição operacional, nos primeiros dois dias de operação, o reator foi operado com suplementação de alcalinidade de 100 % e carga orgânica volumétrica de $1,50 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a fim de que a biomassa, a qual acabara de ser exposta ao oxigênio do ar durante a limpeza do reator, pudesse se adaptar à nova condição ambiental a qual estava sendo submetida. No entanto, ao contrário da primeira condição operacional, o carregamento orgânico volumétrico de $1,50 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ nos primeiros dois dias de operação não foi obtido pela operação do reator com concentração de matéria orgânica no afluente menor do que aquela utilizada na condição operacional em questão, e sim pela operação do reator com um tempo de ciclo maior (32 horas), ou seja, a concentração de matéria orgânica no afluente foi de $2,00 \text{ gDQO.l}^{-1}$ e o tempo de ciclo igual a 32 horas, o que correspondeu à uma carga orgânica volumétrica de $1,50 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Decorrido aproximadamente dois dias de operação, a suplementação de alcalinidade e a concentração de matéria orgânica no afluente foram mantidas e o tempo de ciclo foi ajustado para 8 horas (o que correspondeu à uma carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$) e, a partir daí, iniciou-se o monitoramento do reator.

No decorrer da condição operacional, o reator mostrou início de desestabilização durante a otimização da suplementação de alcalinidade, levando à operação do reator por um período maior (66 dias) do que o previsto (45 dias), conforme exposto a seguir.

Os valores médios das variáveis monitoradas para essa condição operacional são apresentados na Tabela 5.3. Analogamente à primeira condição operacional, o cálculo da média foi realizado considerando-se apenas os dados a partir das quais a suplementação de alcalinidade já encontrava-se otimizada. A Tabela 5.4 mostra os valores de concentração de sólidos relativos à biomassa

imobilizada presente no reator, sendo estes expressos em massa de sólidos por massa de espuma, e massa de sólidos por volume de meio reacional.

TABELA 5.3: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada com COV de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Variável	Afluente ^(a)	Efluente ^(a)
C_{ST} (mgDQO. l^{-1})	2001 ± 14 ⁽⁴¹⁾	471 ± 43 ⁽⁹⁾
C_{SF} (mgDQO. l^{-1})	-	350 ± 36 ⁽⁹⁾
ϵ_{ST} (%)	-	77 ± 2 ⁽⁹⁾
ϵ_{SF} (%)	-	83 ± 2 ⁽⁹⁾
AVT (mgHAc. l^{-1})	116 ± 7 ⁽¹⁰⁾	219 ± 19 ⁽⁹⁾
AB (mgCaCO ₃ . l^{-1})	600 ± 17 ⁽¹⁰⁾	613 ± 58 ⁽⁹⁾
pH	$7,8 \pm 0,1$ ⁽¹⁰⁾	$6,9 \pm 0,1$ ⁽⁹⁾
$V_{Descarregado}$ (l)	-	$2,50 \pm 0,04$ ⁽⁴⁴⁾
ST (mg. l^{-1})	2811 ± 164 ⁽⁴⁾	1480 ± 74 ⁽³⁾
STV (mg. l^{-1})	1976 ± 81 ⁽⁴⁾	654 ± 40 ⁽³⁾
SST (mg. l^{-1})	84 ± 28 ⁽⁴⁾	109 ± 21 ⁽³⁾
SSV (mg. l^{-1})	54 ± 17 ⁽⁴⁾	76 ± 19 ⁽³⁾

^(a) Número de amostras utilizadas no cálculo da média.

A carga orgânica volumétrica e específica, calculadas a partir do valor médio da concentração de matéria orgânica no afluente, foram de, respectivamente, 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e 180 mgDQO.gSTV⁻¹. d^{-1} . A carga orgânica removida, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, foram de, respectivamente, 4,95 e 4,59 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. Os dados de operação para essa condição estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente.

TABELA 5.4: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para a operação em batelada com COV de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Variável	Biomassa
$S_{ST}^{(a)}$	1334
$S_{STV}^{(a)}$	1148
$S_{ST}^{(b)}$	37,9
$S_{STV}^{(b)}$	32,6
S_{STV}/S_{ST}	0,86

^(a) (mg de sólidos. g de espuma⁻¹).

^(b) (g de sólidos. l de meio reacional⁻¹).

A Figura 5.16 mostra os valores de concentração de matéria orgânica para amostras filtradas e não filtradas do efluente durante todo o período do ensaio, os quais mantiveram-se, respectivamente, em torno de 350 e 471 mgDQO. l^{-1} ao final do período, enquanto na Figura 5.17 são apresentados os valores de eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas e não filtradas do efluente. Verificou-se que o aumento da carga orgânica volumétrica na condição proposta diminuiu o desempenho do reator em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (média de 83 %) e não filtrada (média de 77 %).

No oitavo dia de operação, uma das telas de aço inox que dividem o leito do reator em diversos estágios deslocou-se para cima, provavelmente devido à colmatagem do leito, causando assim a separação de parte do leito, conforme mostrado nas Figuras 5.18 e 5.19. Visando evitar que esse problema ocorresse novamente, o sistema foi desmontado e todas as telas de aço inox foram soldadas aos suportes dos estágios.

Outro problema ocorrido nessa condição, a exemplo da primeira, foi a formação de material viscoso de aparência polimérica entre os cubos de espuma de poliuretano com a biomassa imobilizada. Porém, no caso dessa condição, a velocidade de formação do material foi muito alta, havendo a necessidade de limpeza do reator uma vez a cada 10 dias, a fim de retirar o material polimérico que acumulava-se no interior do reator, causando aumentos repentinos na concentração de matéria orgânica não filtrada no efluente (Figura 5.16) e tornando a concentração de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis no efluente maiores

do que aqueles do afluente (Tabela 5.3), pois parte do material acumulado no reator era descarregado junto com o efluente no momento da descarga. Na Figura 5.20 e 5.21 são mostradas duas fotografias do leito do reator ao final da condição operacional, em que observa-se claramente a grande quantidade de material polimérico formado.

FIGURA 5.16: Concentração de matéria orgânica no efluente para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$].

FIGURA 5.17: Eficiência de remoção de matéria orgânica para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$].

FIGURA 5.18: Fotografia do reator no oitavo dia de operação – Problema de separação do leito

FIGURA 5.19: Fotografia de parte do leito do reator (em detalhe) no oitavo dia de operação – Problema de separação do leito

FIGURA 5.20: Fotografia do leito do reator ao final do ensaio – Problema de formação de material polimérico

FIGURA 5.21: Fotografia de parte do leito do reator (em detalhe) ao final do ensaio – Problema de formação de material polimérico

A análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada (Tabela 5.4) mostrou que a relação entre a concentração de sólidos totais voláteis e sólidos totais (S_{SVT}/S_{ST}) foi de 0,86, ou seja, praticamente igual a relação obtida na condição anterior em que o reator operou sob carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Além disso, o valor da massa de sólidos totais voláteis por grama de espuma ($1148 \text{ mg de sólidos} \cdot \text{g de espuma}^{-1}$), bem como o valor da concentração de sólidos totais voláteis no reator ($32,6 \text{ g de sólidos} \cdot \text{l de meio reacional}^{-1}$), mantiveram-se, também, próximos aos valores obtidos na condição anterior, comprovando que a imobilização da biomassa na espuma de poliuretano foi efetiva e que a biomassa foi mantida no reator. Do mesmo modo que na condição anterior, a análise dos sólidos relativos à biomassa imobilizada foi realizada somente após a retirada do material polimérico presente na espuma, no intuito de minimizar o erro que o material polimérico poderia fornecer sobre a quantidade de biomassa presente no reator.

As Figuras 5.22 e 5.23 ilustram os valores de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, respectivamente. Durante todo o período de ensaio foram verificados valores de alcalinidade a bicarbonato no efluente muito próximos àqueles do afluente (Figura 5.22). A análise da Figura 5.23 mostra que a concentração de ácidos voláteis totais no efluente foi maior do que aquela no afluente durante todo o ensaio, apresentando valor máximo e mínimo de, respectivamente, 570 e $77,6 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$. Pelas Figuras 5.17, 5.22 e 5.23, verifica-se que o sistema foi capaz de manter sua eficiência e estabilidade após a diminuição da suplementação de alcalinidade de 100 para 50 % (décimo primeiro dia de ensaio). Neste período, verificou-se manutenção da eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada e não filtrada, em torno de 90 e 87 %, respectivamente, e estabilidade nos valores de concentração de ácidos voláteis totais no efluente (em torno de $80 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$), os quais mantiveram-se próximos àqueles do afluente. A partir destes resultados, e visando otimização da quantidade de bicarbonato de sódio adicionada, reduziu-se a suplementação de alcalinidade de 50 para 25 %, no décimo quinto dia de operação. A partir daí, verificou-se queda na eficiência de remoção de matéria orgânica (Figura 5.17) para amostras filtradas (de 90,6 para 86,1 %) e não filtradas (de 87,6 para 84,6 %) do efluente, concomitante à um aumento progressivo na concentração de ácidos voláteis totais, a qual atingiu o valor de $142 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$ no décimo nono dia de operação, e então $248 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$,

no vigésimo sétimo dia, mostrando início de perda da estabilidade do sistema. Sendo assim, decidiu-se aumentar a suplementação de alcalinidade de 25 para 50 % (trigésimo dia de operação), no intuito de evitar a perda de estabilidade do sistema e diminuir a concentração de ácidos voláteis totais no efluente. No entanto, mesmo após o aumento da suplementação de alcalinidade para 50 %, verificou-se que a concentração de ácidos voláteis totais no efluente continuou aumentando com o tempo, atingindo o valor de 241 mgHAc.l^{-1} no trigésimo segundo dia de operação, 267 mgHAc.l^{-1} no trigésimo quinto dia, e então 316 mgHAc.l^{-1} no trigésimo sexto dia de ensaio. A partir destas observações, decidiu-se, no trigésimo sexto dia, aumentar a suplementação de alcalinidade no afluente para 100 %, com o propósito de eliminar o acúmulo de ácidos voláteis totais e evitar herdar a instabilidade gerada pela escassez de alcalinidade durante a tentativa de otimização de suplementação mal sucedida. Pela Figura 5.23 observa-se a queda na concentração de ácidos voláteis totais nesse período, de 312 mgHAc.l^{-1} , no trigésimo sexto dia de operação, para 203 mgHAc.l^{-1} , no quadragésimo sétimo dia de operação, estabilizando-se em torno de 219 mgHAc.l^{-1} a partir do quinquagésimo quarto dia de operação, em que a suplementação já era de 50 % novamente.

FIGURA 5.22: Alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com

$\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$;

(II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$].

FIGURA 5.23: Concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com

$COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$;

(II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$; (III) $0,25 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$].

Conforme já citado nas discussões da condição anterior, considerou-se a sugestão de Mockaitis et al. (2004), e decidiu-se pela operação do reator por mais quatro dias, a partir do quinquagésimo quarto dia, a fim de se verificar uma possível desestabilização do sistema com o tempo. No entanto, foi verificado manutenção da estabilidade e da eficiência do sistema nesse período, sendo portanto a suplementação de alcalinidade otimizada em 50 % e os perfis realizados no quinquagésimo oitavo dia de operação, e no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, realizada no sexagésimo segundo dia de operação.

Os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, e intermediários, antes da aplicação da carga de choque de $12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, são ilustrados nas Figuras 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27, respectivamente. Os perfis de concentração de metano e gás carbônico, porcentagem molar de metano e gás carbônico, e produção de metano, podem ser visualizados nas Figuras 5.28, 5.29 e 5.30, respectivamente.

FIGURA 5.24: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.25: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.26: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.27: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.28: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.29: Perfil de percentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.30: Produção de metano ao longo do ciclo para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

A Figura 5.26 mostra que a concentração máxima de ácidos voláteis totais ($391 \text{ mgHAc} \cdot l^{-1}$) ocorreu em 1,67 horas de tempo no ciclo e foi maior do que aquela observada no perfil da condição anterior ($105 \text{ mgHAc} \cdot l^{-1}$), provavelmente devido à maior oferta de substrato primário aos microrganismos acidogênicos imposta nesta condição em relação à condição de carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$. A Tabela 5.3 mostra que o valor médio da concentração de ácidos voláteis totais no efluente ($219 \text{ mgHAc} \cdot l^{-1}$) também foi maior do que aquele na condição anterior ($34,0 \text{ mgHAc} \cdot l^{-1}$). Isso faz supor que na condição proposta o tempo de ciclo não foi suficiente para que houvesse um maior consumo dos ácidos produzidos, fato esse que pode ser claramente observado pela ausência de patamar nos perfis de concentração de matéria orgânica filtrada (Figura 5.24), ou seja, a maior concentração de ácidos na condição proposta acabou por se refletir nos valores de concentração de matéria orgânica filtrada no efluente (média de $350 \text{ mgDQO} \cdot l^{-1}$), os quais foram também maiores do que aqueles observados na condição anterior ($37 \text{ mgDQO} \cdot l^{-1}$). No entanto, verificou-se que a suplementação de alcalinidade de 50 % fornecida ao afluente foi suficiente para tamponar o meio e manter o pH do efluente muito próximo ao valor neutro (Tabela 5.3). Além disso, a Figura 5.25 mostra que o valor da alcalinidade a bicarbonato no final do ciclo ($602 \text{ mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$) foi maior do que aquele no início do ciclo ($572 \text{ mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$), ou seja, o sistema foi capaz de produzir alcalinidade durante o ciclo. Todos esses fatores, em conjunto, comprovam a estabilidade e o auto controle do processo para

a condição proposta, mostrando que apesar da deficiência de alcalinidade que o soro de queijo apresenta, o sistema respondeu bem ao aumento da carga orgânica volumétrica e à diminuição da suplementação de bicarbonato de sódio, a qual pôde ser otimizada em 50 %.

A análise da Figura 5.28 permite verificar que houve formação de metano durante todo o tempo de ciclo, confirmando os resultados de eficiência de remoção de matéria orgânica e comprovando que o reator não estava simplesmente retendo ou acumulando matéria orgânica, e sim degradando o substrato presente por vias anaeróbias. Verifica-se pela Figura 5.30 que o volume total de metano produzido por ciclo na condição proposta (189 ml) foi maior do que aquele da condição anterior (137 ml) de menor carregamento orgânico volumétrico. Esta observação pode estar relacionada ao fato de que, na presente condição, a quantidade de substrato primário (carboidratos, proteínas) fornecida por ciclo foi maior em relação à condição anterior, levando à um maior acúmulo de ácidos no início do ciclo (Figura 5.26), aumentando a oferta de substrato aos microrganismos acetogênicos e, conseqüentemente, aumentando a oferta de acetato aos microrganismos metanogênicos, havendo finalmente uma maior produção de metano, podendo-se este último ser utilizado como fonte de energia oriunda do processo, quando do tratamento anaeróbio de águas residuárias deste tipo mais concentradas.

Os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, alcalinidade a bicarbonato e concentração de ácidos voláteis totais e intermediários, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, são apresentados nas Figuras 5.31, 5.32, 5.33 e 5.34, respectivamente. Verificou-se que os perfis citados apresentaram, em geral, o mesmo comportamento daqueles realizados anteriormente ao choque, mostrando que o aumento repentino da carga orgânica volumétrica não causou inibição à biomassa. A eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas e não filtradas do efluente foram de, respectivamente, 84,6 e 77,6 %, valores esses ligeiramente maiores que aqueles verificados anteriormente ao choque. Por sua vez, a concentração de ácidos voláteis totais no efluente, no ciclo seguinte à carga de choque (195 mgHAc.l^{-1}), foi ligeiramente menor do que a média observada antes da carga de choque (219 mgHAc.l^{-1}). Os dados referentes aos perfis obtidos encontram-se tabulados no Apêndice III.

FIGURA 5.31: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.32: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.33: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.34: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

5.3. Operação do Reator em Batelada com Aplicação de Carga Orgânica Volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$

A terceira condição operacional (última condição do Subprojeto 1), cujo período correspondeu à 47 dias, foi aquela de maior carregamento orgânico

volumétrico, sendo este último igual a $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, com aplicação de carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ao final do ensaio.

Conforme realizado na primeira e segunda condição operacional, nesta condição, o reator também foi operado com carga orgânica volumétrica de $1,50 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ nos primeiros dois dias de operação, com suplementação de alcalinidade no afluente de 100 % e velocidade de recirculação da fase líquida de $0,09 \text{ cm.s}^{-1}$. A carga orgânica volumétrica de $1,50 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ foi obtida operando-se o reator com tempo de ciclo de 8 horas e concentração de matéria orgânica no afluente igual a $0,500 \text{ gDQO.l}^{-1}$. Após dois dias de operação nessas condições, a concentração de matéria orgânica no afluente foi alterada para $4,00 \text{ gDQO.l}^{-1}$ (o que correspondeu à uma carga orgânica volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$) e a velocidade de recirculação da fase líquida foi ajustada para $0,19 \text{ cm.s}^{-1}$ e, a partir daí, iniciou-se o monitoramento do reator.

Os valores médios das variáveis monitoradas para essa condição operacional são apresentados na Tabela 5.5. Analogamente aos ensaios anteriores, o cálculo da média foi realizado considerando-se apenas os dados a partir da qual a suplementação de alcalinidade no afluente já encontrava-se otimizada. A Tabela 5.6 apresenta os valores da concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator, sendo estes expressos em massa de sólidos por massa de espuma, e massa de sólidos por volume de meio reacional.

A carga orgânica volumétrica e específica, calculadas a partir do valor médio da concentração de matéria orgânica no afluente, foram de, respectivamente, $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $295 \text{ mgDQO.gSTV}^{-1}.\text{d}^{-1}$. A carga orgânica removida, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, foram de, respectivamente, 9,32 e 7,97 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Nesta condição não foram feitas análises de nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio orgânico e amoniacal, devido a problemas no destilador de nitrogênio. Os dados de operação para essa condição estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente.

A velocidade de formação de material viscoso de aparência polimérica entre os cubos de espuma de poliuretano, nessa condição, foi tão alta quanto aquela observada no ensaio anterior, sendo necessário a limpeza do reator uma vez a cada 10 dias com o objetivo de retirar esse material que acumulava-se no reator, tornando a concentração de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis no

efluente superiores aqueles do afluente (Tabela 5.5), devido à presença desse material que era descarregado junto com o efluente durante a descarga do reator.

O valor da relação entre a concentração de sólidos totais voláteis e sólidos totais, relativos à biomassa imobilizada na espuma de poliuretano, foi de 0,88 (Tabela 5.6), valor este próximo e ligeiramente maior que aqueles observados nas condições anteriores. Os valores de concentração de sólidos totais voláteis por grama de espuma (1467 mg de sólidos.g de espuma⁻¹) e sólidos totais voláteis no reator (40,7 g de sólidos.l de meio reacional⁻¹) indicam aumento da concentração de sólidos totais voláteis nesta condição, em relação à condição anterior, bem como manutenção da biomassa no reator na presente condição.

TABELA 5.5: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada com COV de 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹.

Variável	Afluente ^(a)	Efluente ^(a)
C _{ST} (mgDQO.l ⁻¹)	4010 ± 71 ⁽³⁰⁾	1352 ± 87 ⁽¹¹⁾
C _{SF} (mgDQO.l ⁻¹)	-	904 ± 50 ⁽¹¹⁾
ε _{ST} (%)	-	66 ± 2 ⁽¹¹⁾
ε _{SF} (%)	-	78 ± 1 ⁽¹¹⁾
AVT (mgHAc.l ⁻¹)	204 ± 15 ⁽²²⁾	512 ± 31 ⁽¹⁵⁾
AB (mgCaCO ₃ .l ⁻¹)	1161 ± 55 ⁽²²⁾	1294 ± 76 ⁽¹⁵⁾
pH	7,8 ± 0,1 ⁽²²⁾	7,3 ± 0,1 ⁽¹⁵⁾
V _{Descarregado} (l)	-	2,48 ± 0,09 ⁽³³⁾
ST (mg.l ⁻¹)	5539 ± 101 ⁽¹⁰⁾	2791 ± 76 ⁽¹⁰⁾
STV (mg.l ⁻¹)	3728 ± 208 ⁽¹⁰⁾	1086 ± 79 ⁽¹⁰⁾
SST (mg.l ⁻¹)	177 ± 29 ⁽¹⁰⁾	217 ± 36 ⁽¹⁰⁾
SSV (mg.l ⁻¹)	135 ± 26 ⁽¹⁰⁾	175 ± 45 ⁽¹⁰⁾

^(a) Número de amostras utilizadas no cálculo da média.

A Figura 5.35 ilustra os valores de concentração de matéria orgânica para amostras filtradas e não filtradas do efluente durante todo o período da presente

condição, os quais mantiveram-se em torno de 904 e 1352 mgDQO.l^{-1} , enquanto a Figura 5.36 mostra os valores de eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas e não filtradas do efluente, os quais permaneceram em torno de 78 e 66 %, respectivamente, indicando queda no desempenho do reator, em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica, com o aumento da carga orgânica volumétrica para $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA 5.6: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para a operação em batelada com COV de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Variável	Biomassa
$S_{ST}^{(a)}$	1659
$S_{STV}^{(a)}$	1467
$S_{ST}^{(b)}$	46,0
$S_{STV}^{(b)}$	40,7
S_{STV}/S_{ST}	0,88

^(a) (mg de sólidos. g de espuma⁻¹).

^(b) (g de sólidos. l de meio reacional⁻¹).

FIGURA 5.35: Concentração de matéria orgânica no efluente para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$; (II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3.\text{gDQO}^{-1}$].

FIGURA 5.36: Eficiência de remoção de matéria orgânica para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [Notação: (I) $1,00 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$; (II) $0,50 \text{ gNaHCO}_3 \cdot \text{gDQO}^{-1}$].

As Figuras 5.37 e 5.38 ilustram os valores de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, respectivamente. Uma observação interessante, a partir da Figura 5.37, é que os valores de alcalinidade a bicarbonato do efluente foram ligeiramente menores do que aqueles do afluente até o décimo primeiro dia de operação, em que a suplementação de alcalinidade era de 100 %. A partir daí, diminuiu-se a suplementação de alcalinidade no afluente para 50 %, e então verificou-se que a alcalinidade do efluente passou a apresentar valores ligeiramente maiores do que aqueles do afluente, indicando uma maior capacidade de produção de alcalinidade do sistema quando a suplementação de bicarbonato de sódio passou de 100 para 50 %. A análise da Figura 5.38 mostra que a concentração de ácidos voláteis totais no efluente (média de $512 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$) se manteve maior do que aquela no afluente (média de $204 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$) durante todo o ensaio, no entanto, não foi verificado acúmulo de ácidos com o tempo, sendo o pH do efluente mantido em torno de 7,3, indicando que, apesar da alta concentração de ácidos voláteis totais no efluente, a alcalinidade fornecida ao afluente foi suficiente para neutralizar os ácidos formados, tamponar o meio e garantir a manutenção da estabilidade do processo nessa condição.

FIGURA 5.37: Alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com

COV = 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹ [Notação: (I) 1,00 gNaHCO₃.gDQO⁻¹;

(II) 0,50 gNaHCO₃.gDQO⁻¹].

FIGURA 5.38: Concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com

COV = 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹ [Notação: (I) 1,00 gNaHCO₃.gDQO⁻¹;

(II) 0,50 gNaHCO₃.gDQO⁻¹].

Nas Figuras 5.39 a 5.44 são ilustrados os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, de alcalinidade a bicarbonato, de concentração de ácidos voláteis totais e intermediários, de porcentagem molar de metano e gás carbônico e produção de metano. Os dados referentes aos perfis dessa condição estão tabulados no Apêndice III.

Conforme verificado na condição anterior, na condição proposta o tempo de ciclo também foi insuficiente para que houvesse um maior consumo dos ácidos voláteis formados, fato esse que pode ser comprovado pela Figura 5.41, em que observa-se um maior valor na concentração de ácidos voláteis totais no final do ciclo (510 mgHAc.l^{-1}) em relação aquele no início do ciclo (280 mgHAc.l^{-1}), e pela Figura 5.39, em que verifica-se ausência de patamar no perfil de concentração de matéria orgânica filtrada. Este resultado já era esperado, uma vez que, na presente condição, a quantidade de substrato primário alimentado ao reator foi igual ao dobro daquela da condição anterior e, portanto, já era previsto que o tempo de ciclo seria mais uma vez insuficiente para prover estabilidade nos valores de concentração de matéria orgânica filtrada no final do ciclo.

A maior produção de metano ocorreu no início do ciclo, permanecendo praticamente constante até 1,50 hora de tempo no ciclo, diminuindo, a partir daí, com o tempo no ciclo (Figura 5.44). O volume total de metano produzido por ciclo foi de 305 ml, volume esse maior do que aqueles observados nas condições anteriores de menor carregamento orgânico volumétrico, devido à maior oferta de substrato primário aos microrganismos acidogênicos e, portanto, maior oferta de acetato aos microrganismos metanogênicos, levando à uma maior produção total de metano.

Em geral, os perfis realizados possibilitaram verificar a manutenção das rotas de degradação da matéria orgânica ao longo do ciclo, com formação de gás metano durante todo o ciclo, sendo este último um dos produtos finais do processo de digestão anaeróbia, ou seja, o processo aconteceu de forma completa.

FIGURA 5.39: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.40: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.41: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.42: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.43: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.44: Produção de metano ao longo do ciclo para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

A carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, aplicada no quadragésimo terceiro dia de operação, não causou inibição à biomassa, fato esse que pode ser comprovado pelo estabelecimento de eficiências de remoção de matéria orgânica filtrada (79,3 %) e não filtrada (65,2 %), no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, próximas àquelas anteriores ao choque (Figuras 5.35 e 5.36). Além disso, os perfis realizados no ciclo seguinte à carga de choque (Figuras 5.45 a 5.48) apresentaram a mesma tendência geral daqueles realizados anteriormente ao choque. A comparação entre os perfis de ácidos voláteis totais, antes e no ciclo seguinte à carga de choque, permite verificar que as concentrações máxima e

inicial de ácidos voláteis totais no ciclo seguinte a carga de choque (918 e 341 mgHAc. l^{-1} , respectivamente) foram maiores do que aquelas observadas antes do choque (754 e 280 mgHAc. l^{-1} , respectivamente), provavelmente devido à grande quantidade de ácidos remanescentes formados durante a carga de choque. No entanto, verificou-se que, apesar da concentração de ácidos voláteis totais no efluente ter apresentado valores maiores em relação aqueles no início do ciclo em ambos os perfis (devido ao tempo de ciclo insuficiente para o consumo desses ácidos), o valor da concentração de ácidos voláteis totais no efluente do ciclo seguinte à carga de choque (478 mgHAc. l^{-1}) foi menor do que aquele apresentado no perfil realizado anteriormente ao choque (510 mgHAc. l^{-1}), comprovando que a carga de choque aplicada não alterou a capacidade de consumo dos ácidos formados, ou seja, não causou inibição à biomassa acetogênica e metanogênica. Conforme verificado nas condições anteriores, os principais ácidos voláteis identificados nos perfis de ácidos voláteis intermediários foram o isobutírico, isovalérico, valérico, capróico, acético, propiônico e butírico, com maior predominância destes três últimos (Tabelas III.23 e III.24).

FIGURA 5.45: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$).

FIGURA 5.46: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.47: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.48: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

5.3.1. Ensaios Extras – Operação do Reator:

- Com Velocidade de Recirculação da Fase Líquida de $0,14 \text{ cm.s}^{-1}$ (Etapa A)
- Sem Suplementação de Sais no Afluente (Etapa B)
- Com Suplementação de Esgoto Sintético no Afluente (Etapa C)

Terminada a terceira condição operacional do Subprojeto 1, foi realizada a limpeza do reator para a retirada do material polimérico formado e iniciou-se os ensaios extras, também com carregamento orgânico volumétrico de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, com o objetivo de verificar o comportamento da estabilidade do reator e de seu desempenho, em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica, sob algumas condições particulares, impostas nas *Etapas A, B e C*, conforme descrito no item 4.3.2.2. Estes ensaios levaram um tempo total de 22 dias, distribuídos em 8 dias para a *Etapa A*, 3 dias para a *Etapa B*, e 11 dias para a *Etapa C*. É importante ressaltar que as três etapas foram realizadas com suplementação de bicarbonato de sódio no afluente de 50 % e concentração de soro de queijo no afluente de $4000 \text{ mgDQO.l}^{-1}$. Outra observação importante diz respeito à concentração total de matéria orgânica no afluente durante a *Etapa C*, a qual foi um pouco maior do que $4000 \text{ mgDQO.l}^{-1}$, uma vez que, na referida etapa, o afluente foi suplementado com esgoto sintético, o qual contribuiu para elevar em

torno de 1000 mgDQO. l^{-1} a concentração total de matéria orgânica no afluente. Para fins de comparação, a Tabela 5.7 apresenta, para as três etapas realizadas, os valores médios das variáveis monitoradas. Os valores monitorados de concentração de matéria orgânica no efluente, eficiência de remoção de matéria orgânica, de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, ao longo dos 22 dias de ensaios, são ilustrados nas Figuras 5.49 à 5.52. Os dados de operação para esses ensaios extras estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente.

TABELA 5.7: Valores médios das variáveis monitoradas para as três etapas realizadas.*

Variável	Afluente ^(a)	Efluente		
		<i>Etapa A</i>	<i>Etapa B</i>	<i>Etapa C</i>
C_{ST} (mgDQO. l^{-1})	4534 ± 533 ⁽¹⁴⁾	1153 ± 50 ⁽⁴⁾	1464 ± 54 ⁽³⁾	1647 ± 161 ⁽⁵⁾
ϵ_{ST} (%)	-	72 ± 1 ⁽⁴⁾	64 ± 1 ⁽³⁾	68 ± 3 ⁽⁵⁾
C_{SF} (mgDQO. l^{-1})	-	996 ± 47 ⁽⁴⁾	1138 ± 19 ⁽³⁾	1362 ± 83 ⁽⁵⁾
ϵ_{SF} (%)	-	76 ± 1 ⁽⁴⁾	72 ± 1 ⁽³⁾	73 ± 2 ⁽⁵⁾
AVT (mgHAc. l^{-1})	184 ± 21 ⁽¹¹⁾	532 ± 38 ⁽⁴⁾	610 ± 19 ⁽³⁾	535 ± 70 ⁽⁵⁾
AB (mgCaCO ₃ . l^{-1})	1178 ± 38 ⁽¹¹⁾	1317 ± 62 ⁽⁴⁾	937 ± 68 ⁽³⁾	1052 ± 82 ⁽⁵⁾
pH	$8,0 \pm 0,1$ ⁽¹¹⁾	$7,2 \pm 0,1$ ⁽⁴⁾	$7,2 \pm 0,1$ ⁽³⁾	$7,1 \pm 0,1$ ⁽⁵⁾
ST (mg. l^{-1})	5975 ± 1166 ⁽⁵⁾	2870 ⁽¹⁾	2575 ± 52 ⁽²⁾	3279 ± 166 ⁽³⁾
STV (mg. l^{-1})	4154 ± 833 ⁽⁵⁾	1056 ⁽¹⁾	1126 ± 99 ⁽²⁾	1224 ± 87 ⁽³⁾
SST (mg. l^{-1})	168 ± 36 ⁽⁵⁾	176 ⁽¹⁾	197 ± 89 ⁽²⁾	177 ± 33 ⁽³⁾
SSV (mg. l^{-1})	132 ± 43 ⁽⁵⁾	134 ⁽¹⁾	157 ± 66 ⁽²⁾	146 ± 32 ⁽³⁾

* Entre parenteses o número de amostras consideradas para o cálculo da média.

^(a) Média observada nas três etapas realizadas.

Dentre as três etapas consideradas, a *Etapa A*, em que o reator foi operado com velocidade de recirculação da fase líquida de $0,14 \text{ cm.s}^{-1}$, foi aquela que mostrou maior desempenho do reator em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, os quais foram de, respectivamente, 76 e 72 % (Tabela 5.7). Além disso, na referida etapa, os valores médios da concentração de matéria orgânica no efluente, para amostras filtradas e não filtradas, foram de, respectivamente, 996 e 1153 mgDQO.l^{-1} , contra 1138 e 1464 mgDQO.l^{-1} na *Etapa B* (operação do reator sem suplementação de sais), e 1362 e 1647 mgDQO.l^{-1} , para a *Etapa C* (operação do reator com suplementação de esgoto sintético ao afluente). No entanto, a terceira condição operacional do Subprojeto 1, realizada anteriormente à estes ensaios, condição esta em que o reator operou com velocidade de recirculação da fase líquida de $0,19 \text{ cm.s}^{-1}$ e com suplementação de sais no afluente, apresentou valores de concentração de matéria orgânica filtrada no efluente ainda menores (em torno de 904 mgDQO.l^{-1} , Tabela 5.5) do que aqueles observados durante a *Etapa A* destes ensaios. Com relação à concentração de matéria orgânica não filtrada no efluente, a *Etapa A* apresentou valor médio menor (1153 mgDQO.l^{-1}) do que aquele observado na terceira condição operacional do Subprojeto 1 (1352 mgDQO.l^{-1}). No entanto, deve-se levar em consideração que antes de iniciar a *Etapa A*, o reator acabara de ser limpo sendo o material polimérico formado retirado, e o tempo de operação da *Etapa A* (8 dias) não foi suficiente para que houvesse grande formação de material polimérico no reator, o que colaborou para que na *Etapa A* a concentração de matéria orgânica no efluente fosse menor do que aquela na terceira condição operacional do Subprojeto 1.

Com respeito à alcalinidade a bicarbonato no efluente, verificou-se maior quantidade desta na *Etapa A*, dentre as três etapas estudadas, com decaimento daquela com a suspensão da suplementação de sais no afluente (*Etapa B*), e com um ligeiro aumento daquela a partir do início da suplementação de esgoto sintético ao afluente (*Etapa C*), fato esse que pode ser claramente observado pela análise da Figura 5.51. Com relação à concentração de ácidos voláteis totais no efluente, verificou-se que esta permaneceu em torno de 532, 610 e 535 mgHAc.l^{-1} (Tabela 5.7), nas *Etapas A, B e C*, respectivamente, valores estes maiores do que o valor médio observado na terceira condição operacional do Subprojeto 1, o qual foi de 512 mgHAc.l^{-1} (Tabela 5.5), ratificando os resultados obtidos quanto à

concentração de matéria orgânica filtrada no efluente para terceira condição operacional do Subprojeto 1, a qual, como já foi citado, permaneceu menor do que aquela obtida nas três etapas testadas. Sendo assim, decidiu-se que as próximas condições operacionais continuariam a ser realizadas com velocidade de recirculação da fase líquida de $0,19 \text{ cm.s}^{-1}$ e com suplementação de sais no afluente, uma vez que não foi verificado aumento do desempenho do reator nas *Etapas A, B e C* dos ensaios extras realizados, em relação à terceira condição operacional do Subprojeto 1.

FIGURA 5.49: Concentração de matéria orgânica no efluente durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados.

FIGURA 5.50: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados.

FIGURA 5.51: Alcalinidade a bicarbonato durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados.

FIGURA 5.52: Concentração de ácidos voláteis totais durante as etapas A, B e C dos ensaios extras realizados.

5.3.2. Ensaios Extras – Operação do Reator em Batelada com Renovação Parcial do Volume de Meio Reacional por Ciclo

Levando-se em consideração o fato de que não houve aumento significativo no desempenho do reator nas *Etapas A* (operação do reator com velocidade de recirculação da fase líquida de $0,14 \text{ cm.s}^{-1}$), *B* (operação do reator sem

suplementação de sais no afluente) e C (operação do reator com suplementação de esgoto sintético ao afluente), em relação à terceira condição operacional do Subprojeto 1, decidiu-se realizar mais uma jornada de ensaios extras ao projeto inicial de doutorado, na tentativa de otimizar a operação do reator. Nestes novos ensaios extras, o reator também foi operado com aplicação de carga orgânica volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, mas com renovação de apenas parte do volume de meio reacional por ciclo (conforme descrito detalhadamente no item 4.3.2.2), ou seja, a descarga do reator não foi total, e sim parcial. Estes ensaios foram realizados durante 27 dias, distribuídos em 13, 8 e 6 dias para as condições 1, 2 e 3, em que o reator operou com renovação de 70, 50 e 25 % de seu volume de meio reacional por ciclo, respectivamente. A Tabela 5.8 apresenta os valores médios das variáveis monitoradas nas três condições de renovação parcial de volume testadas ($V_A/V_u = 0,70$, $V_A/V_u = 0,50$ e $V_A/V_u = 0,25$). Os valores de concentração de matéria orgânica no efluente, eficiência de remoção de matéria orgânica, alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, ao longo dos 27 dias de ensaio (condição 1, 2 e 3), são ilustrados nas Figuras 5.53, 5.54, 5.55 e 5.56, respectivamente. Os dados de operação para as três condições testadas estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente.

A condição 3, em que o reator operou com renovação de 25 % do volume de meio reacional por ciclo, foi aquela que apresentou maior valor médio de eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (95 %) e não filtrada (90 %), em relação às demais condições estudadas (condições 1 e 2). No entanto, o cálculo da eficiência de remoção de matéria orgânica foi feito em relação à concentração de matéria orgânica no afluente, a qual foi maior quanto menor fosse o volume renovado por ciclo, de modo a manter constante a carga orgânica volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, conforme exposto no item 5.3.2.2, acarretando no aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica com a diminuição do volume renovado por ciclo, mesmo com o efluente apresentando valores médios de concentração de matéria orgânica muito próximos nas três condições de renovação parcial de volume estudadas, principalmente para amostras filtradas do efluente. Sendo assim, decidiu-se realizar a comparação do desempenho do reator em tais condições através da análise da concentração de matéria orgânica filtrada e não filtrada no efluente, e não em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica.

TABELA 5.8: Valores médios das variáveis monitoradas nos ensaios com renovação parcial do volume de meio reacional.*

Variável	V _A /V _u = 0,70		V _A /V _u = 0,50		V _A /V _u = 0,25	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
C _{ST} (mgDQO.l ⁻¹)	5732 ± 303 ⁽⁸⁾	1151 ± 169 ⁽⁷⁾	8116 ± 100 ⁽⁵⁾	1533 ± 150 ⁽⁵⁾	16060 ± 200 ⁽⁵⁾	1592 ± 150 ⁽⁵⁾
ε _{ST} (%)	-	80 ± 3 ⁽⁷⁾	-	81 ± 2 ⁽⁵⁾	-	90 ± 1 ⁽⁵⁾
C _{SF} (mgDQO.l ⁻¹)	-	952 ± 136 ⁽⁷⁾	-	883 ± 91 ⁽⁵⁾	-	890 ± 82 ⁽⁵⁾
ε _{SF} (%)	-	83 ± 2 ⁽⁷⁾	-	89 ± 1 ⁽⁵⁾	-	95 ± 1 ⁽⁵⁾
AVT (mgHAc.l ⁻¹)	273 ± 12 ⁽⁶⁾	568 ± 86 ⁽⁷⁾	440 ± 14 ⁽³⁾	583 ± 60 ⁽⁵⁾	812 ± 32 ⁽³⁾	550 ± 46 ⁽⁵⁾
AB (mgCaCO ₃ .l ⁻¹)	1608 ± 75 ⁽⁶⁾	1385 ± 65 ⁽⁷⁾	2271 ± 52 ⁽³⁾	1906 ± 384 ⁽⁵⁾	4463 ± 158 ⁽³⁾	2836 ± 268 ⁽⁵⁾
pH	7,8 ± 0,1 ⁽⁶⁾	7,3 ± 0,2 ⁽⁷⁾	7,6 ± 0,1 ⁽³⁾	7,4 ± 0,2 ⁽⁵⁾	7,6 ± 0,2 ⁽³⁾	7,8 ± 0,2 ⁽⁵⁾
ST (mg.l ⁻¹)	7587 ± 549 ⁽³⁾	3286 ± 280 ⁽²⁾	9890 ⁽¹⁾	3566 ⁽¹⁾	21667 ± 1956 ⁽²⁾	5407 ± 912 ⁽²⁾
STV (mg.l ⁻¹)	5085 ± 375 ⁽³⁾	1053 ± 7 ⁽²⁾	6526 ± ⁽¹⁾	1338 ⁽¹⁾	12952 ± 249 ⁽²⁾	1359 ± 191 ⁽²⁾
SST (mg.l ⁻¹)	205 ± 34 ⁽³⁾	214 ± 25 ⁽²⁾	316 ⁽¹⁾	246 ⁽¹⁾	408 ± 51 ⁽²⁾	220 ± 40 ⁽²⁾
SSV (mg.l ⁻¹)	142 ± 43 ⁽³⁾	165 ± 38 ⁽²⁾	204 ⁽¹⁾	176 ⁽¹⁾	230 ± 48 ⁽²⁾	142 ± 8 ⁽²⁾

* Entre parenteses o número de amostras consideradas para o cálculo da média.

Em termos de concentração de matéria orgânica filtrada no efluente, verifica-se pela Tabela 5.8 que, como já citado anteriormente, os valores médios foram muito próximos para as três condições testadas (952, 883, e 890 mgDQO.l⁻¹, na condição 1, 2 e 3, respectivamente). No entanto, a análise da Tabela 5.8 mostra que a condição 1 (operação com renovação de 70 % do volume do reator) foi aquela que apresentou o menor valor médio de concentração de matéria orgânica não filtrada no efluente, sendo este último igual a 1151 mgDQO.l⁻¹, contra 1533 e 1592 mgDQO.l⁻¹, para as condições 2 e 3, respectivamente. Além disso, comparando-se o valor médio de concentração de matéria orgânica não filtrada no efluente, para a condição 1 destes ensaios (1151 mgDQO.l⁻¹), e aquele obtido na terceira condição operacional do Subprojeto 1 (1352 mgDQO.l⁻¹), em que houve

renovação total do volume de meio reacional a cada ciclo, verifica-se que, em termos de concentração de matéria orgânica não filtrada, a operação do reator com renovação de 70 % de seu volume por ciclo se mostrou melhor do que aquela com renovação de todo volume do reator. Ademais, apesar de a condição 1 ter apresentado valor médio de concentração de matéria orgânica filtrada no efluente (952 mgDQO.l^{-1}) ligeiramente superior àquele obtido na terceira condição operacional do Subprojeto 1 (904 mgDQO.l^{-1}), na condição 1 foram observados menores valores de concentração de matéria orgânica filtrada no efluente em alguns dias específicos, os quais ainda não haviam sido verificados na terceira condição operacional do Subprojeto 1, tais como 808 mgDQO.l^{-1} , no décimo dia de operação, e 777 mgDQO.l^{-1} , no décimo terceiro dia de operação (Figura 5.53), levando à conclusão de que a operação do reator com renovação de 70 % do volume de meio reacional a cada ciclo foi aquela que apresentou os valores mais satisfatórios de concentração de matéria orgânica filtrada e não filtrada, dentre todas as outras condições de renovação parcial e total de volume estudadas, mantendo a carga orgânica volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Outro resultado relevante, a qual é apresentado no item 5.5, foi o valor da constante cinética aparente de primeira ordem obtido para condição 1 ($V_A/V_u = 0,70$), a qual foi de $0,664 \text{ h}^{-1}$, ou seja, maior do que aquele obtido para terceira condição operacional do Subprojeto 1 ($V_A/V_u = 1,00$), a qual foi de $0,535 \text{ h}^{-1}$, ratificando os melhores resultados de concentração de matéria orgânica filtrada e não filtrada no efluente obtidos para condição em que renovou-se 70 % de volume de meio reacional a cada ciclo. Sendo assim, foi estabelecido que as condições posteriores, para a avaliação da influência de diferentes tempos de alimentação em diferentes cargas orgânicas volumétricas, no tratamento de soro de queijo, seriam realizadas com renovação de 60 % do volume de meio reacional a cada ciclo, sendo 40 % do volume de meio reacional (volume residual) mantido no reator de um ciclo para outro, e 60 % do volume de meio reacional (volume renovado) alimentado durante um período variado, utilizando-se vazão constante, no qual seria estabelecida, pelo tempo de carga do reator, a estratégia de alimentação. A opção por renovação de 60 % do volume de meio reacional, ao invés de 70 %, foi feita para garantir que o volume residual no início do ciclo (40 % do volume de meio reacional) fosse suficiente para preencher todo o leito do reator no início da batelada alimentada, uma vez que, em algumas condições, foi verificado que 30 % do volume de meio reacional (750 ml) não era suficiente para

preencher todo o leito. Essa variação do volume de meio necessário para preenchimento de todo o leito do reator ocorria conforme a quantidade de material polimérico presente entre os cubos de espuma de poliuretano no interior do reator. No final de cada condição operacional, em que a quantidade de material polimérico entre os cubos de espuma de poliuretano era maior, 750 ml de meio (30 % de volume de meio reacional) já eram suficientes para preencher todo o leito do reator. Por sua vez, no início de cada condição operacional, em que o reator acabara de ser limpo e a quantidade de material polimérico entre o suporte inerte ainda era, portanto, pequena, eram necessários normalmente 1000 ml de meio (40 % do volume de meio reacional) para preenchimento de todo leito do reator. Sendo assim, para garantir que o volume residual fosse suficiente para preenchimento de todo leito do reator em todas as condições, foi estabelecido que aquele seria de 40 % e não de 30 % do volume de meio reacional, sendo o volume renovado a cada ciclo igual a 60 % do volume de meio reacional.

Em termos de alcalinidade a bicarbonato, a Figura 5.55 mostra que houve aumento daquela no afluente à medida em que se diminuiu o volume renovado a cada ciclo. Isto era de se esperar, uma vez que a concentração de matéria orgânica no afluente foi maior para menores relações V_A/V_u e, como a suplementação de bicarbonato de sódio ao afluente foi mantida em 50 % nas três condições testadas, isto causou o aumento da alcalinidade no afluente com a diminuição do volume renovado a cada ciclo. No entanto, como a carga orgânica volumétrica foi mantida aproximadamente constante nas três condições estudadas, conclui-se que a quantidade de alcalinidade a bicarbonato fornecida por dia e por volume de reator também foi mantida aproximadamente constante para as três condições. Porém, a Figura 5.55 mostra que, mesmo mantendo aproximadamente constante a quantidade de alcalinidade fornecida ao reator, verificou-se aumento da alcalinidade do efluente com a diminuição do volume renovado por ciclo (média de 1385, 1906 e 2836 mgCaCO₃.l⁻¹, na condição 1, 2 e 3, respectivamente, Tabela 5.8), indicando maior capacidade de produção de alcalinidade para menores relações V_A/V_u . Este fato pode estar relacionado à manutenção de alcalinidade a bicarbonato remanescente no volume residual do reator, a qual não era completamente descartada ao final dos ciclos nas condições de renovação parcial de volume e que, por sua vez, acabara colaborando para uma maior capacidade de produção de alcalinidade. Quanto à concentração de ácidos voláteis no efluente,

observou-se manutenção de valores médios em torno de 567 mgHAc.l^{-1} nas três condições testadas (Tabela 5.8).

FIGURA 5.53: Concentração de matéria orgânica no efluente durante as três relações V_A/V_u testadas.

FIGURA 5.54: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante as três relações V_A/V_u testadas.

FIGURA 5.55: Alcalinidade a bicarbonato durante as três relações V_A/V_u testadas.

FIGURA 5.56: Concentração de ácidos voláteis totais durante as três relações V_A/V_u testadas.

Considerando-se os baixos valores obtidos de concentração de matéria orgânica filtrada e não filtrada no efluente para a condição 1 ($V_A/V_u = 0,70$), em relação às demais condições testadas ($V_A/V_u = 0,50$ e $V_A/V_u = 0,25$), decidiu-se realizar, para tal condição, perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, alcalinidade a bicarbonato, de concentração de ácidos voláteis totais e intermediários, os quais são apresentados nas Figuras 5.57, 5.58, 5.59 e 5.60, respectivamente.

Observa-se pelas Figuras 5.57 a 5.60 que os perfis das principais variáveis realizados para a presente condição de renovação de 70 % do volume de meio

reacional por ciclo seguiram praticamente a mesma tendência daqueles realizados na terceira condição operacional do Subprojeto 1, em que a carga orgânica volumétrica também foi de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, e o volume de meio reacional renovado a cada ciclo era total. O perfil de concentração de matéria orgânica filtrada (Figura 5.57) mostrou que a concentração inicial (tempo zero) de matéria orgânica filtrada no reator foi de $3644 \text{ mgDQO.l}^{-1}$ (Tabela III.28), ou seja, praticamente igual àquela verificada no perfil da terceira condição operacional do Subprojeto 1 ($3646 \text{ mgDQO.l}^{-1}$, Tabela III.19). Isto ocorreu pois, na presente condição, apesar da concentração de matéria orgânica no afluente ser em torno de $5732 \text{ mgDQO.l}^{-1}$, o volume residual mantido no reator (30 % do volume de meio reacional) a cada ciclo foi capaz de causar a diluição inicial do afluente, a qual foi suficiente para proporcionar uma concentração inicial de matéria orgânica filtrada no reator próxima daquela verificada no perfil da terceira condição operacional do Subprojeto 1, em que $V_A/V_u = 1,00$ e a concentração de matéria orgânica no afluente era em torno de $4000 \text{ mgDQO.l}^{-1}$. Quanto ao perfil de alcalinidade a bicarbonato, verificou-se que a alcalinidade a bicarbonato inicial ($1772 \text{ mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$, Tabela III.29), na presente condição em que $V_A/V_u = 0,70$, foi maior do que àquela observada no perfil da condição operacional em que $V_A/V_u = 1,00$ ($1310 \text{ mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$, Tabela III.21), ratificando as hipóteses levantadas quanto à manutenção de alcalinidade a bicarbonato no volume residual do reator de um ciclo para outro nas condições de renovação parcial de volume, a qual de alguma forma colaboraria, como já citado, para uma maior capacidade de produção de alcalinidade a bicarbonato pelo sistema. Quanto ao perfil de ácidos voláteis intermediários, todos os ácidos identificados apresentaram-se em quantidades semelhantes àsquelas verificadas no perfil realizado para condição de renovação total de volume a cada ciclo, sendo que os principais ácidos verificados, ou seja, aqueles observados em maior quantidade, foram, o acético, o propiônico e o butírico.

FIGURA 5.57: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$.

FIGURA 5.58: Perfil de alcalinidade a bicarbonato para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$.

FIGURA 5.59: Perfil de concentração de ácidos voláteis totais para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$.

FIGURA 5.60: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição 1 em que $V_A/V_u = 0,70$.

5.4. Influência da Carga Orgânica Volumétrica, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade Sobre o Comportamento do Reator (Subprojeto 1)

Neste item apresenta-se uma análise geral da influência da carga orgânica volumétrica, da carga de choque e da suplementação de alcalinidade sobre a estabilidade e a eficiência do reator, a qual consistiu no Subprojeto 1 do projeto de pesquisa de doutorado. Nas três condições operacionais estudadas, o reator foi operado durante um período total de 148 dias, distribuídos em 35, 66 e 47 dias para a primeira, segunda e terceira condição operacional, respectivamente. A Tabela 5.9 apresenta os valores médios das variáveis monitoradas nas três condições de carga orgânica volumétrica estudadas, de forma a permitir e facilitar a análise comparativa do comportamento e do desempenho do reator em tais condições. As Figuras 5.61 e 5.62 ilustram, respectivamente, os valores monitorados de concentração de matéria orgânica no efluente e de eficiência de remoção de matéria orgânica durante todo o período de operação do reator, nas três condições operacionais. A Tabela 5.10 apresenta os valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para as três condições propostas. A análise da Tabela 5.10 mostra que a massa de sólidos totais voláteis por grama de espuma, para a primeira, segunda e terceira condição operacional, foram de, respectivamente, 1482, 1148 e 1467 mgSTV.g de espuma⁻¹, ou seja, não houve perda de biomassa pelo suporte ao longo das condições estudadas, com manutenção da massa de sólidos totais voláteis por g de espuma seca. Por sua vez, os valores de concentração de sólidos totais voláteis no reator aumentaram com o aumento da carga orgânica volumétrica: 29,5, 32,6 e 40,7 gSTV.l de meio reacional⁻¹, para cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹, respectivamente. Essa diferença pode ter sido causada pela maior quantidade de material polimérico formado no interior do reator nas condições de maior carga orgânica volumétrica, a qual pode ter colaborado para aumentar a massa total de espuma imobilizada e, portanto, a massa de sólidos totais voláteis por litro de meio reacional. Os valores da relação S_{STV}/S_{ST} variaram pouco: entre 0,85 e 0,88. Em geral, a análise da Tabela 5.10 mostra que houve manutenção da biomassa no interior do reator ao longo das condições operacionais propostas. A análise da Tabela 5.9 permite verificar que houve queda nos valores médios de eficiência de

remoção de matéria orgânica, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, com o aumento da carga orgânica volumétrica. Na primeira, segunda e terceira condição operacional, em que foram aplicadas cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, respectivamente, os valores médios de eficiência de remoção de matéria orgânica foram de 96, 83 e 78 %, para amostras filtradas, e 91, 77 e 66 %, para amostras não filtradas do efluente, respectivamente. O aumento da concentração de matéria orgânica no efluente, bem como a diminuição da eficiência de remoção de matéria orgânica, com o aumento da carga orgânica volumétrica, podem ser claramente verificados pela análise das Figuras 5.61 e 5.62, respectivamente.

TABELA 5.9: Valores médios das variáveis monitoradas nas condições operacionais estudadas.*

Variável	3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$		6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$		12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
C_{ST} (mgDQO. l^{-1})	$988 \pm 17^{(23)}$	$88 \pm 18^{(7)}$	$2001 \pm 14^{(41)}$	$471 \pm 43^{(9)}$	$4010 \pm 71^{(30)}$	$1352 \pm 87^{(11)}$
ϵ_{ST} (%)	-	$91 \pm 2^{(7)}$	-	$77 \pm 2^{(9)}$	-	$66 \pm 2^{(11)}$
C_{SF} (mgDQO. l^{-1})	-	$37 \pm 15^{(7)}$	-	$350 \pm 36^{(9)}$	-	$904 \pm 50^{(11)}$
ϵ_{SF} (%)	-	$96 \pm 2^{(7)}$	-	$83 \pm 2^{(9)}$	-	$78 \pm 1^{(11)}$
AVT (mgHAc. l^{-1})	$47 \pm 5^{(11)}$	$34 \pm 11^{(11)}$	$116 \pm 7^{(10)}$	$219 \pm 19^{(9)}$	$204 \pm 15^{(22)}$	$512 \pm 31^{(15)}$
AB (mgCaCO ₃ . l^{-1})	$182 \pm 15^{(11)}$	$215 \pm 20^{(11)}$	$600 \pm 17^{(10)}$	$613 \pm 58^{(9)}$	$1161 \pm 55^{(22)}$	$1294 \pm 76^{(15)}$
pH	$8,2 \pm 0,2^{(11)}$	$6,5 \pm 0,1^{(11)}$	$7,8 \pm 0,1^{(10)}$	$6,9 \pm 0,1^{(10)}$	$7,8 \pm 0,1^{(22)}$	$7,3 \pm 0,1^{(15)}$
ST (mg. l^{-1})	$1324 \pm 24^{(6)}$	$612 \pm 35^{(6)}$	$2811 \pm 164^{(4)}$	$1480 \pm 74^{(3)}$	$5539 \pm 10^{(10)}$	$2791 \pm 76^{(10)}$
STV (mg. l^{-1})	$1113 \pm 31^{(6)}$	$404 \pm 43^{(6)}$	$1976 \pm 81^{(4)}$	$654 \pm 40^{(3)}$	$3728 \pm 208^{(10)}$	$1086 \pm 79^{(10)}$
SST (mg. l^{-1})	$41 \pm 19^{(6)}$	$62 \pm 21^{(6)}$	$84 \pm 28^{(4)}$	$109 \pm 21^{(3)}$	$177 \pm 29^{(10)}$	$217 \pm 36^{(10)}$
SSV (mg. l^{-1})	$24 \pm 10^{(6)}$	$38 \pm 9^{(6)}$	$54 \pm 17^{(4)}$	$76 \pm 19^{(3)}$	$135 \pm 26^{(10)}$	$175 \pm 45^{(10)}$
V_{CH_4} (ml)	-	$137^{(1)}$	-	$189^{(1)}$	-	$305^{(1)}$

* Entre parenteses o número de amostras consideradas para o cálculo da média.

TABELA 5.10: Sólidos presentes no reator nas condições operacionais estudadas.

Variável	COV (gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$)		
	3,00	6,00	12,0
$S_{ST}^{(a)}$	1753	1334	1659
$S_{STV}^{(a)}$	1482	1148	1467
$S_{ST}^{(b)}$	34,8	37,9	46,0
$S_{STV}^{(b)}$	29,5	32,6	40,7
S_{STV}/S_{ST}	0,85	0,86	0,88

^(a) (mg de sólidos.g de espuma⁻¹).

^(b) (g de sólidos. l de meio reacional⁻¹).

FIGURA 5.61: Concentração de matéria orgânica no efluente durante todo o período de operação do reator [Notação: (I) COV = 3,00 gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$; (II) COV = 6,00 gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$; (III) COV = 12,0 gDQO. $l^{-1} \cdot d^{-1}$].

Em todas as condições de carga orgânica volumétrica estudadas foi verificada a conversão de sólidos totais e sólidos totais voláteis (Tabela 5.9). No entanto, nas três condições, foram observados valores de sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis no efluente superiores àqueles no afluente, muito possivelmente devido à formação de material viscoso de aparência polimérica e provável origem microbiológica entre os cubos de espuma de poliuretano, o qual era descarregado junto com o efluente no momento da descarga do reator. A formação desse material influenciou também os valores de concentração de matéria orgânica não filtrada no efluente, os quais apresentaram aumentos repentinos ao longo do tempo de operação do reator, principalmente nas duas últimas condições

operacionais (regiões II e III da Figura 5.61), uma vez que, conforme já mencionado anteriormente, a formação desse material foi mais intensa nas condições de maior carregamento orgânico volumétrico ($6,00$ e $12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.62: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante todo o período de operação do reator [Notação: (I) $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; (II) $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; (III) $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$].

As Figuras 5.63 e 5.64 ilustram, respectivamente, os valores de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais obtidos durante os 148 dias de operação do reator. As grandes variações nos valores de alcalinidade a bicarbonato, verificadas na região II da Figura 5.63, ocorreu devido à tentativa de otimização da suplementação de alcalinidade ao longo da segunda condição operacional, em que o carregamento orgânico volumétrico foi de $6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

Para a primeira, segunda e terceira condições estudadas, a suplementação de alcalinidade ao afluente foi otimizada em 25, 50 e 50 %, a qual corresponderam à valores médios de alcalinidade a bicarbonato no afluente de 182, 600 e $1161 \text{ mgCaCO}_3 \cdot \text{l}^{-1}$, respectivamente (Tabela 5.9). Foi verificado aumento da concentração de ácidos voláteis totais no efluente a medida em que aumentou-se o carregamento orgânico volumétrico, fato esse que pode ser claramente comprovado pela análise da Tabela 5.9 e da Figura 5.64, a qual mostra que, para a primeira, segunda e terceira condição operacional, o valor da concentração de ácidos voláteis totais no efluente permaneceu em torno de 34, 219 e $512 \text{ mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$,

respectivamente. Além disso, verificou-se que, ao contrário da primeira condição operacional, as duas últimas condições, de maior carregamento orgânico volumétrico, apresentaram valores médios de concentração de ácidos voláteis totais no efluente superiores àqueles no afluente (Tabela 5.9), levando a conclusão de que, nas condições de carregamento orgânico volumétrico de 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o tempo de ciclo foi insuficiente para que houvesse um maior consumo dos ácidos voláteis formados, fato esse que pode ser claramente observado pela ausência de patamar nos perfis de concentração de matéria orgânica filtrada realizados na segunda (Figura 5.24) e terceira (Figura 5.39) condição operacional, ou seja, os maiores valores de concentração de ácidos voláteis totais no efluente, nas condições de maior carregamento orgânico volumétrico, acabaram por se refletir nos valores de concentração de matéria orgânica filtrada no efluente, os quais foram também maiores nas condições de maior carga orgânica volumétrica (Tabela 5.9). No entanto, apesar do crescimento nos valores de concentração de ácidos voláteis totais no efluente do reator, à medida em que se aumentava a carga orgânica volumétrica, verificou-se que, para as três condições propostas, não houve tendência de acúmulo de ácidos e o pH do efluente permaneceu próximo do neutro, indicando que a alcalinidade a bicarbonato fornecida ao afluente foi suficiente para neutralizar os ácidos formados, tamponar o meio e manter a estabilidade do reator em todas as condições testadas. Quanto aos ácidos voláteis intermediários, verificou-se aumento na concentração de cada um deles para maiores cargas orgânicas volumétricas, sendo que os principais ácidos voláteis intermediários identificados, ou seja, aqueles na qual estavam presentes em maiores concentrações, foram o acético, o propiônico e o butírico.

A Figura 5.65 ilustra os perfis de produção de metano realizados nas três condições de carga orgânica volumétrica estudadas. Verificou-se produção de metano ao longo de todo o ciclo nas três condições estudadas, confirmando os resultados de eficiência de remoção de matéria orgânica e comprovando que o reator não estava simplesmente retendo ou acumulando matéria orgânica, e sim degradando o substrato presente por vias anaeróbias. A análise da Figura 5.65 mostra que houve um aumento da produção total de metano com o aumento da carga orgânica volumétrica (Tabela 5.9). Conforme já mencionado anteriormente, o aumento na produção de metano pode estar relacionado à maior quantidade de substrato primário fornecida aos microrganismos acidogênicos nas condições de

maior carregamento volumétrico, levando à um maior acúmulo de ácidos ao longo do ciclo, aumentando a oferta de substrato aos microrganismos acetogênicos e, conseqüentemente, aumentando a oferta de acetato aos microrganismo metanogênicos, levando finalmente à uma maior produção de metano. No entanto, o volume de metano produzido por g de DQO removida diminuiu com o aumento da carga orgânica volumétrica, sendo aquele de 60, 50 e 46 mLCH₄.g DQO_{removida}, para cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹.

FIGURA 5.63: Alcalinidade a bicarbonato durante todo o período de operação do reator [Notação: (I) COV = 3,00 gDQO.l⁻¹.d⁻¹; (II) COV = 6,00 gDQO.l⁻¹.d⁻¹; (III) COV = 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹].

FIGURA 5.64: Concentração de ácidos voláteis totais durante todo o período de operação do reator [Notação: (I) COV = 3,00 gDQO.l⁻¹.d⁻¹; (II) COV = 6,00 gDQO.l⁻¹.d⁻¹; (III) COV = 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹].

Quanto às cargas de choque aplicadas, os perfis realizados no ciclo seguinte à sua aplicação apresentaram, em geral, a mesma tendência e comportamento daqueles realizados anteriormente ao choque, concluindo-se que, para todas as condições operacionais, o aumento repentino da carga orgânica volumétrica não causou inibição à biomassa, fato esse que pode ser comprovado pelo estabelecimento de eficiências de remoção de matéria orgânica filtrada e não filtrada, além da manutenção de concentrações de ácidos voláteis totais e alcalinidade a bicarbonato no efluente, nos ciclos seguintes à aplicação da carga de choque, próximas àsquelas anteriores ao choque.

FIGURA 5.65: Perfil de produção de metano nas três condições de carga orgânica volumétrica estudadas.

A Tabela 5.11 apresenta os valores de carga orgânica removida nas três condições de carga orgânica volumétrica estudadas. Em geral foi verificado um aumento no valor da carga orgânica removida pelo reator, tanto para amostras filtradas como também para amostras não filtradas do efluente, com o aumento da carga orgânica volumétrica. Esta observação é importante, pois leva a conclusão de que, em termos quantitativos, a massa de matéria orgânica tratada por ciclo foi maior para maiores carregamentos orgânicos volumétricos. No entanto, em termos qualitativos, o aumento da carga orgânica volumétrica aplicada causou a queda na qualidade do efluente, ou seja, o aumento da concentração de matéria orgânica no efluente.

Em geral, embora tenha-se verificado queda na eficiência de remoção de matéria orgânica para maiores carregamentos orgânicos volumétricos, os resultados obtidos levaram a conclusão de que, apesar da deficiência de alcalinidade e da alta biodegradabilidade que o soro de queijo apresenta, o sistema respondeu bem ao aumento da carga orgânica volumétrica e à diminuição da suplementação de bicarbonato de sódio, mantendo sua estabilidade em todas as condições estudadas.

TABELA 5.11 : Valores de carga orgânica removida para as três condições de carga orgânica volumétrica estudadas.

COV (gDQO. l^{-1} .d $^{-1}$)	COR (gDQO. l^{-1} .d $^{-1}$)	
	Amostras filtradas	Amostras não filtradas
3,00	2,85	2,70
6,00	4,95	4,59
12,0	9,32	7,97

5.5. Ajuste de um Modelo Cinético de Primeira Ordem aos Dados Experimentais de Perfil de Concentração de Matéria Orgânica

A obtenção dos parâmetros cinéticos de degradação da matéria orgânica foi feito por meio do ajuste de um modelo cinético de primeira ordem aos dados experimentais de perfil de concentração de matéria orgânica na forma filtrada (C_{SF}), para cada condição operacional do Subprojeto 1. Inicialmente, fez-se o balanço de massa para o reator (Equação 5.1), considerando-o completamente agitado e isotérmico, admitindo-se a ocorrência de uma reação biológica:

$$\frac{dC_{SF}}{dt} = \frac{Q \cdot (C_{SAFL} - C_{SF})}{V_u} - R_s \quad (5.1)$$

Na Equação 5.1, C_{SF} é a concentração de matéria orgânica na forma filtrada (mgDQO. l^{-1}), Q é a vazão volumétrica ($l.h^{-1}$), C_{SAFL} é a concentração de matéria orgânica no afluente (mgDQO. l^{-1}), V_u é o volume de meio reacional no reator (l) e R_s é

a velocidade de consumo de matéria orgânica ($\text{mgDQO.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$).

Como, para operação em batelada, $Q = 0$, a Equação 5.1 pode ser escrita da seguinte forma (Equação 5.2):

$$\frac{dC_{SF}}{dt} = -R_s \quad (5.2)$$

Considerando-se a existência de um valor de concentração de matéria orgânica residual, no qual a velocidade de consumo de matéria orgânica é praticamente nula, modificou-se o modelo cinético de primeira ordem de forma à incluir essa concentração residual, onde C_{SR} é a concentração de matéria orgânica residual na forma filtrada (mgDQO.l^{-1}). Sendo assim, temos de $R_s = k.(C_{SF} - C_{SR})$ e, portanto:

$$\frac{dC_{SF}}{dt} = -k.(C_{SF} - C_{SR}) \quad (5.3)$$

O ajuste do modelo aos dados experimentais de perfil de concentração de matéria orgânica na forma filtrada foi realizado utilizando-se o método de Levenberg-Maquardt (Microcal Origin 6.1[®]). O modelo do processo é dado pela Equação 5.4, onde C_{SF} é a concentração de matéria orgânica na forma filtrada no interior do reator, C_{SAFLO} é a concentração de matéria orgânica no reator no início do ciclo, k é a constante cinética aparente de primeira ordem, t é o tempo no ciclo e C_{SR} é a concentração de matéria orgânica residual na forma filtrada. O ajuste do modelo aos dados experimentais, para cada condição operacional, foi realizado de duas maneiras: (a) considerando C_{SR} fixo e igual ao valor da concentração de matéria orgânica residual na forma filtrada na última amostra do perfil considerado no referido ajuste, e (b) considerando C_{SR} uma variável do modelo. É importante ressaltar que o modelo cinético proposto foi formulado considerando-se o reator como sendo homogêneo, ou seja, o parâmetro k obtido pelo modelo é uma constante cinética aparente, a qual inclui não somente a cinética intrínseca de reação bioquímica, como também os fenômenos de transferência de massa interna e externa às biopartículas.

$$C_{SF} = (C_{SAFLO} - C_{SR}) \cdot e^{-k.t} + C_{SR} \quad 5.4$$

As Figuras 5.66, 5.67 e 5.68 mostram, para cada condição operacional, os dados experimentais dos perfis de concentração de matéria orgânica na forma filtrada e a curva fornecida pelo modelo cinético ajustado aos dados experimentais, enquanto a Figura 5.69 ilustra a variação da constante cinética em função da carga orgânica volumétrica aplicada. A Tabela 5.12 apresenta os valores da concentração de matéria orgânica filtrada no reator no início do ciclo (C_{SAFLO}), da concentração de matéria orgânica residual (C_{SR}), da constante cinética aparente de primeira ordem (k) e do quadrado do coeficiente de correlação (r^2), obtidos pelo ajuste do modelo cinético, para cada condição operacional, considerando os dois modos de ajuste, (a) C_{SR} fixo e (b) C_{SR} variável.

FIGURA 5.66: Ajuste do modelo cinético de primeira ordem aos dados de perfil de concentração de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ considerando (a) C_{SR} fixo e (b) C_{SR} variável.

FIGURA 5.67: Ajuste do modelo cinético de primeira ordem aos dados de perfil de concentração de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ considerando (a) C_{SR} fixo e (b) C_{SR} variável.

FIGURA 5.68: Ajuste do modelo cinético de primeira ordem aos dados de perfil de concentração de matéria orgânica para a operação em batelada com $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ considerando (a) C_{SR} fixo e (b) C_{SR} variável.

TABELA 5.12 : Parâmetros obtidos no ajuste do modelo cinético aos dados experimentais de perfil de concentração de matéria orgânica filtrada.

COV	C_{SAFLO}	C_{SR} fixo			C_{SR} variável		
		C_{SR}	k	r^2	C_{SR}	k	r^2
3,00	607	16	$0,76 \pm 0,07$	0,947	41 ± 19	$0,88 \pm 0,12$	0,955
6,00	1448	343	$0,47 \pm 0,04$	0,944	421 ± 46	$0,57 \pm 0,08$	0,954
12,0	3646	900	$0,47 \pm 0,02$	0,983	1019 ± 73	$0,54 \pm 0,05$	0,986

COV: Carga orgânica volumétrica, $gDQO.l^{-1}.d^{-1}$.

C_{SAFLO} : Concentração de matéria orgânica filtrada no reator no início do ciclo, $mgDQO.l^{-1}$.

C_{SR} : Concentração de matéria orgânica filtrada residual, $mgDQO.l^{-1}$.

k: Constante cinética aparente de primeira ordem, h^{-1} .

r^2 : Quadrado do coeficiente de correlação.

FIGURA 5.69: Constante cinética aparente obtida para diferentes cargas orgânicas volumétricas.

Verifica-se pela Figura 5.69 que, apesar de a constante cinética estimada apresentar valores absolutos diferentes, os dois modos de ajuste (C_{SR} fixo e C_{SR} variável) revelaram o mesmo comportamento, ou seja, a queda no valor da constante cinética com o aumento da carga orgânica volumétrica. Conforme já mencionado anteriormente, os perfis de concentração de matéria orgânica na forma filtrada, realizados na condição operacional em que a carga orgânica volumétrica aplicada foi de 6,00 e 12,0 $gDQO.l^{-1}.d^{-1}$, foram caracterizados por apresentarem ausência de patamar. Desta forma, considerou-se mais prudente e confiável avaliar os dados referentes ao ajuste do modelo em que C_{SR} foi ajustado como variável. Tendo-se como base, portanto,

os coeficientes obtidos na segunda rotina (C_{SR} variável), pode-se afirmar que, a primeira condição operacional, em que o carregamento orgânico volumétrico foi de $3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, foi aquela na qual se verificou o maior valor da constante cinética aparente, sendo este último igual a $0,88 \text{ h}^{-1}$. Na referida condição, o tempo necessário para que a concentração de matéria orgânica filtrada no reator se estabilizasse foi de 6 horas. O aumento da carga orgânica volumétrica para $6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ na segunda condição, e para $12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, na terceira condição, resultou em queda no valor da constante cinética aparente, a qual permaneceu em torno de $0,57 \text{ h}^{-1}$ para aquelas duas condições. A diminuição no valor da constante cinética aparente pode estar relacionada ao aumento da concentração máxima de ácidos voláteis totais (pico de ácidos voláteis totais) ao longo do ciclo conforme aumentava-se a carga orgânica volumétrica. Para segunda e terceira condição operacional, em que o carregamento orgânico volumétrico foi de $6,00$ e $12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, a concentração máxima de ácidos voláteis totais atingiu níveis iguais a $391 \text{ mgHAc} \cdot \text{L}^{-1}$ e $754 \text{ mgHAc} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente, o que pode ter causado algum tipo de inibição à biomassa, resultando em diminuição no valor da constante cinética. Essa diminuição no valor da constante cinética também pode estar relacionada a maior quantidade de material polimérico formado nas condições de maior carga orgânica, a qual pode ter aumentado a resistência à transferência de massa e, portanto, diminuído a velocidade global de reação. Uma observação interessante em relação aos modelos ajustados, em todas as condições, é que o tempo no ciclo em que ocorre o ponto de inflexão do modelo coincide com o tempo de concentração máxima de ácidos voláteis totais no ciclo, ou seja, o modelo parece apresentar dois compartimentos coincidentes com o pico de ácidos voláteis totais e com a depleção máxima de alcalinidade a bicarbonato no ciclo.

5.6. Influência do Tempo de Alimentação, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade para a Carga Orgânica Volumétrica de $3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

Neste item são apresentados os resultados e as discussões referentes ao estudo da influência do tempo de alimentação, da carga de choque e da suplementação de alcalinidade sobre a estabilidade e a eficiência do reator, com este último operando com

carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a qual já constituiu parte do Subprojeto 2. Foram estudados três tempos de alimentação: 2, 4 e 6 h, com aplicação de cargas de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, de duração de um ciclo, ao final de cada ensaio. Conforme já estabelecido a partir de estudos anteriores (item 5.3.2), o reator foi operado em bateladas sequenciais, com renovação e manutenção de, respectivamente, 60 e 40 % do volume de meio reacional, a cada ciclo de 8 horas. O período total de operação do reator com carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ correspondeu a 86 dias, distribuídos em 32, 28 e 26 dias, para as operações com tempos de alimentação de 2, 4 e 6 horas, respectivamente.

Os valores médios das variáveis monitoradas para os três tempos de alimentação são apresentados na Tabela 5.13, de forma a permitir uma análise comparativa dentro desta condição de carga orgânica volumétrica. Conforme já realizado em condições anteriores, para o cálculo da média, foram considerados apenas os dados a partir da qual a suplementação de alcalinidade ao afluente já encontrava-se otimizada. A Tabela 5.14 mostra a concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator, para a carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, sendo estes expressos em massa de sólidos por massa de espuma, e massa de sólidos por volume de meio reacional. A carga orgânica volumétrica e específica, calculadas a partir do valor médio da concentração de matéria orgânica no afluente, foram de, respectivamente, $3,03 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $89,8 \text{ mgDQO.gSTV}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Os dados de operação para essa condição estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente.

As Figuras 5.70 e 5.71 ilustram, respectivamente, os valores de concentração de matéria orgânica no efluente e de eficiência de remoção de matéria orgânica, obtidos durante os 86 dias de operação do reator na carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Os valores de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, durante todo o período de operação, são mostrados nas Figuras 5.72 e 5.73, respectivamente.

TABELA 5.13: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.*

Variável	Afluente ^(a)	Efluente		
		$t_a = 2 \text{ h}$	$t_a = 4 \text{ h}$	$t_a = 6 \text{ h}$
C_{ST} (mgDQO. l^{-1})	$1686 \pm 30^{(40)}$	$99 \pm 29^{(8)}$	$109 \pm 12^{(9)}$	$107 \pm 13^{(7)}$
ϵ_{ST} (%)	-	$94 \pm 2^{(8)}$	$94 \pm 1^{(9)}$	$94 \pm 1^{(7)}$
C_{SF} (mgDQO. l^{-1})	-	$43 \pm 16^{(8)}$	$42 \pm 8^{(9)}$	$41 \pm 7^{(7)}$
ϵ_{SF} (%)	-	$98 \pm 1^{(8)}$	$98 \pm 1^{(9)}$	$98 \pm 1^{(7)}$
AVT (mgHAc. l^{-1})	$97 \pm 15^{(38)}$	$56 \pm 6^{(6)}$	$55 \pm 3^{(9)}$	$69 \pm 7^{(10)}$
AB (mgCaCO ₃ . l^{-1})	$172 \pm 18^{(38)}$	$253 \pm 37^{(6)}$	$273 \pm 31^{(9)}$	$296 \pm 13^{(10)}$
pH	$7,5 \pm 0,1^{(38)}$	$7,0 \pm 0,2^{(6)}$	$6,9 \pm 0,1^{(9)}$	$6,9 \pm 0,1^{(10)}$
ST (mg. l^{-1})	$2015 \pm 72^{(17)}$	$879 \pm 131^{(5)}$	$718 \pm 56^{(6)}$	$763 \pm 76^{(4)}$
STV (mg. l^{-1})	$1568 \pm 64^{(17)}$	$352 \pm 91^{(5)}$	$345 \pm 76^{(6)}$	$338 \pm 101^{(4)}$
SST (mg. l^{-1})	$78 \pm 18^{(17)}$	$101 \pm 31^{(5)}$	$73 \pm 32^{(6)}$	$66 \pm 28^{(4)}$
SSV (mg. l^{-1})	$56 \pm 17^{(17)}$	$74 \pm 33^{(5)}$	$48 \pm 21^{(6)}$	$47 \pm 31^{(4)}$

* Entre parênteses o número de amostras consideradas para o cálculo da média.

^(a) Média observada para os três tempos de alimentação estudados.

A alteração do tempo de alimentação de 2 para 4 horas, e então de 4 para 6 horas, na carga orgânica volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, não influenciou os valores de eficiência de remoção de matéria orgânica do reator, a qual apresentaram média de 98 e 94 %, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente, indicando ótimo desempenho do reator durante todo o período nesta condição de carregamento orgânico volumétrico. No entanto, é importante ressaltar que a operação com maiores tempos de alimentação levou à um aumento na eficiência de remoção de matéria orgânica em relação à operação em batelada com carga orgânica volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e tempo de alimentação de 10 minutos (Subprojeto 1), em que a

eficiência de remoção de matéria orgânica, para amostras filtradas e não filtradas do efluente foram de, respectivamente, 96 e 91 %.

TABELA 5.14: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Variável	Biomassa
$S_{ST}^{(a)}$	1784
$S_{STV}^{(a)}$	1540
$S_{ST}^{(b)}$	39,1
$S_{STV}^{(b)}$	33,8
S_{STV}/S_{ST}	0,86

^(a) (mg de sólidos. g de espuma⁻¹).

^(b) (g de sólidos. l de meio reacional⁻¹).

A comparação entre os valores médios de concentração de sólidos totais voláteis e sólidos totais no afluente e no efluente, contidos na Tabela 5.13, mostram que não houve perda de sólidos em nenhum dos três tempos de alimentação estudados. Quanto à concentração de sólidos suspensos totais e voláteis, verificou-se que, ao contrário da operação em batelada (Subprojeto 1), a operação com tempos de alimentação de 4 e 6 horas colaborou para minimizar a velocidade de formação de material viscoso de aparência polimérica e provável origem microbiológica entre os cubos de espuma de poliuretano com a biomassa imobilizada, tornando os valores de concentrações de sólidos suspensos totais e suspensos voláteis no efluente menores do que aqueles no afluente (Tabela 5.13).

A comparação dos valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator, contidos nas Tabelas 5.2 e 5.14, para a operação em batelada e batelada alimentada, respectivamente, nesta condição de carga orgânica volumétrica, mostram que o aumento do tempo de alimentação praticamente não influenciou na quantidade de biomassa no interior do reator.

A análise da Figura 5.72 mostra que a alcalinidade a bicarbonato no efluente se manteve maior do que aquela no afluente durante todo o ensaio (exceto no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque), indicando que houve produção de alcalinidade

a bicarbonato. Pela Figura 5.73, observa-se que a concentração de ácidos voláteis totais no efluente apresentou valores menores do que aqueles no afluente em todo o período de ensaio (exceto no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque). Pela Tabela 5.13, verifica-se que, em termos médios, não houve diferença significativa entre os valores de ácidos voláteis totais no efluente para a operação em batelada alimentada de 2 e 4 horas, a qual mantiveram-se em torno de 55 mgHAc.l^{-1} . Por sua vez, a utilização de tempo de alimentação de 6 horas levou à um ligeiro aumento no valor da concentração de ácidos voláteis totais no efluente, a qual manteve-se em torno de 69 mgHAc.l^{-1} . Este pequeno aumento na concentração de ácidos no efluente, na batelada alimentada de 6 horas, pode estar relacionado ao menor tempo disponível, após o término do enchimento, para o consumo dos ácidos formados. O pH se manteve em valores próximos ao neutro durante todo o período, indicando que a alcalinidade adicionada ao afluente foi suficiente para neutralizar os ácidos presentes e proporcionar o tamponamento do meio.

FIGURA 5.70: Concentração de matéria orgânica no efluente durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

[Notação: (I) $t_a = 2 \text{ h}$; (II) $t_a = 4 \text{ h}$; (III) $t_a = 6 \text{ h}$].

FIGURA 5.71: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.
[Notação: (I) $t_a = 2$ h; (II) $t_a = 4$ h; (III) $t_a = 6$ h].

FIGURA 5.72: Alcalinidade a bicarbonato durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.
[Notação: (I) $t_a = 2$ h; (II) $t_a = 4$ h; (III) $t_a = 6$ h].

FIGURA 5.73: Concentração de ácidos voláteis totais durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.
[Notação: (I) $t_a = 2 \text{ h}$; (II) $t_a = 4 \text{ h}$; (III) $t_a = 6 \text{ h}$].

Além de proporcionar maior eficiência de remoção de matéria orgânica, a utilização de maiores tempos de alimentação também colaborou para a minimização da suplementação de alcalinidade ao afluente, a qual pôde ser otimizada em 10 % para batelada alimentada, contra 25 % para batelada (Subprojeto 1), na carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. A análise das Figuras 5.70 a 5.73 mostra que o sistema foi capaz de manter sua eficiência e estabilidade após a diminuição da suplementação de bicarbonato de sódio de 100 para 50 % (segundo dia de operação), de 50 para 25 % (quinto dia de operação), de 25 para 20 % (sétimo dia de operação), e então de 20 para 10 % (oitavo dia de operação). Nesse período de redução da suplementação de alcalinidade ao afluente, foram detectadas baixas concentrações de ácidos voláteis totais no efluente (Figura 5.73), concomitante à manutenção da produção de alcalinidade a bicarbonato no efluente (Figura 5.72).

A Tabela 5.15 apresenta os valores de carga orgânica removida, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, nos três tempos de alimentação estudados. Conforme verificado nos valores de eficiência de remoção de matéria orgânica, os valores de carga orgânica removida também não foram influenciados pelo tempo de alimentação, os quais foram de 2,95 e 2,84 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente, para os três tempos de alimentação estudados. No entanto, a implementação de maiores tempos de alimentação levou a maiores valores de

carga orgânica removida em relação à operação em batelada, para mesma carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (Subprojeto 1), a qual foi de 2,85 e $2,70 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ para esta última condição, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente.

TABELA 5.15 : Valores de carga orgânica removida para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

t_a (h)	COR ($\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	
	Amostras filtradas	Amostras não filtradas
2	2,95	2,85
4	2,95	2,84
6	2,95	2,84

Os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, para os três tempos de alimentação estudados, antes da aplicação da carga de choque, podem ser visualizados nas Figuras 5.74, 5.75 e 5.76, respectivamente. Os perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários, antes da aplicação da carga de choque, para a operação em batelada alimentada de 2 e 4 horas, são ilustrados nas Figuras 5.77 e 5.78, respectivamente. Nenhum ácido intermediário foi detectado durante o perfil da operação em batelada alimentada de 6 horas, indicando que a sua concentração permaneceu abaixo do limite de detecção do método. Os perfis de concentração de metano, para os três tempos de enchimento, são ilustrados na Figura 5.79. Os perfis de porcentagem molar de metano e gás carbônico, para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, são apresentados nas Figuras 5.80, 5.81 e 5.82, respectivamente. Os dados referentes aos perfis obtidos estão tabulados no Apêndice III.

FIGURA 5.74: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.75: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.76: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO.l⁻¹.d⁻¹.

FIGURA 5.77: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 3,00 gDQO.l⁻¹.d⁻¹.

FIGURA 5.78: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

A análise da Figura 5.74 mostra que o aumento do tempo de alimentação levou à diminuição dos valores máximos de concentração de matéria orgânica ao longo do ciclo, assim como o aumento dos tempos de pico. No entanto, em termos de concentração de matéria orgânica ao final do ciclo, esta não apresentou variações significativas com o aumento do tempo de alimentação, influenciando, sim, seus valores máximos. No perfil realizado na operação em batelada alimentada de 6 horas, a concentração de matéria orgânica ao longo do ciclo variou pouco, entre $32,0$ e $70,9 \text{ mgDQO.l}^{-1}$, situação essa a qual pode ser considerada interessante nos casos em que se deseja manter a concentração de matéria orgânica no interior do reator em valores mais baixos, seja devido à presença de alguma substância tóxica à biomassa na água residuária, ou por algum outro motivo inerente ao processo. A Figura 5.76 mostra que o aumento do tempo de alimentação de 2 para 4 horas não alterou significativamente o valor máximo da concentração de ácidos voláteis totais ao longo do ciclo, a qual foi de 143 mgHAc.l^{-1} , em 2,34 horas de tempo no ciclo, para batelada alimentada de 2 horas, e 153 mgHAc.l^{-1} , em 4,00 horas de tempo no ciclo, para batelada alimentada de 4 horas, havendo apenas, portanto, um aumento dos tempos de pico com o aumento do tempo de alimentação. Por sua vez, a operação em batelada alimentada de 6 horas levou à um menor acúmulo de ácidos voláteis ao longo do ciclo, a qual atingiram a concentração máxima de 107 mgHAc.l^{-1} , em 1,00 hora de tempo no ciclo, colaborando para que houvesse um menor consumo de alcalinidade a bicarbonato ao longo do ciclo na referida condição, como ilustrado na Figura 5.75.

Para batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, o valor mínimo da alcalinidade a bicarbonato ao longo do ciclo foi de, respectivamente, 108, 187 e 229 $\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$. No entanto, apesar da minimização do pico de ácidos ao longo do ciclo, a operação em batelada alimentada de 6 horas foi aquela que apresentou maior concentração de ácidos no final do ciclo, provavelmente devido ao menor tempo disponível, após o término do enchimento, para o consumo dos ácidos gerados. Quanto aos perfis de ácidos voláteis intermediários (Figuras 5.77 e 5.78), realizados anteriormente à aplicação das cargas de choque, estes mostraram baixas concentrações de ácidos ao longo de todo o ciclo, tanto para operação em batelada alimentada de 2 horas, como para batelada alimentada de 4 horas. Na operação em batelada alimentada de 2 horas, os ácidos identificados em maiores concentrações foram o propiônico ($27,6 \text{ mgHAc}.\text{L}^{-1}$ em 1,00 de tempo no ciclo) e o butírico ($14,3 \text{ mgHAc}.\text{L}^{-1}$ em 1,67 horas de tempo no ciclo), sendo que, ao final do ciclo, nenhum ácido mais foi detectado. Para a operação em batelada alimentada de 4 horas, os principais ácidos identificados foram o propiônico ($31,4 \text{ mgHAc}.\text{L}^{-1}$ em 4,00 de tempo no ciclo) e o butírico ($10,0 \text{ mgHAc}.\text{L}^{-1}$ em 4,00 horas de tempo no ciclo), sendo que, a partir de 6 horas de tempo no ciclo, nenhum ácido mais foi detectado.

FIGURA 5.79: Perfis de concentração de metano para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO}.\text{L}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.80: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 2 h, na $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

FIGURA 5.81: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 4 h, na $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

FIGURA 5.82: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 6 h, na $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Observa-se pela Figura 5.79 a presença de metano na atmosfera do reator em todas as condições impostas, com maior velocidade de formação do gás ao longo do ciclo, e maior concentração deste ao final do ciclo, para a operação em batelada alimentada de 2 horas, em relação às outras duas condições. A concentração final de metano na atmosfera do reator, ao final do ciclo, foi de $11,9 \text{ mMol.l}^{-1}$ para a operação em batelada alimentada de 2 horas, enquanto que, para as bateladas alimentadas de 4 e 6 horas, aquela não ultrapassou $8,80 \text{ mMol.l}^{-1}$. A operação em batelada alimentada de 2 horas também apresentou maior concentração final de metano ($11,9 \text{ mMol.l}^{-1}$) em relação à operação em batelada com tempo de alimentação de 10 minutos e mesma carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ($10,2 \text{ mMol.l}^{-1}$). Uma observação interessante é a presença de metano no início do ciclo em maiores concentrações na operação em batelada alimentada de 6 horas ($5,40 \text{ mMol.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ em apenas 15 minutos de ciclo) em relação às outras duas primeiras condições. Este comportamento faz supor que, na operação em batelada alimentada de 2 e 4 horas, com o fornecimento mais rápido de matéria orgânica ao sistema, em relação à batelada alimentada de 6 horas, houve maior predominância da acidogênese (transformação de substrato primário em ácidos voláteis) no início do ciclo e, portanto, menor concentração de metano neste período do ciclo. Por sua vez, a menor velocidade de fornecimento de matéria orgânica ao sistema, proporcionada na operação em batelada alimentada de 6 horas, permitiu que houvesse um menor acúmulo de ácidos no início do ciclo

(como visto na Figura 5.76), com predominância da metanogenese ao longo de todo ciclo, ou seja, o consumo dos ácidos formados, com conseqüente geração de metano, ocorreu gradualmente e praticamente na mesma velocidade ao longo de todo o ciclo, a medida em que aqueles eram produzidos, fazendo com que a concentração de metano oscilasse menos durante o ciclo na batelada alimentada de 6 horas, em relação à batelada alimentada de 2 e 4 horas, em que a maior concentração de metano ocorreu ao final do ciclo. Esta observação é ratificada pela análise da Figura 5.82, a qual mostra, para a operação em batelada alimentada de 6 horas, a manutenção da porcentagem molar de metano na atmosfera do reator em valores praticamente constantes ao longo de todo o ciclo. Já as Figuras 5.80 e 5.81 mostram o aumento da porcentagem molar de metano ao longo do ciclo para a operação em batelada alimentada de 2 e 4 horas, respectivamente, uma vez que o acúmulo de ácidos no início do ciclo foi maior para estas duas condições.

Nas Figuras 5.83, 5.84 e 5.85 são apresentados, respectivamente, os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, alcalinidade a bicarbonato e concentração de ácidos voláteis totais, para os três tempos de alimentação estudados, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Os perfis de ácidos voláteis intermediários, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, são ilustrados nas Figuras 5.86, 5.87 e 5.88, para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, respectivamente. Finalmente, a Figura 5.89 mostra os perfis de ácidos voláteis intermediários totais para os três tempos de alimentação estudados, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.83: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.84: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2 e 6 h, na $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.85: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

Em se tratando do próprio ciclo em que aplicou-se a carga de choque, foram verificados valores de eficiência de remoção de matéria orgânica, para amostras filtradas e não filtradas do efluente de, respectivamente, 84,1 e 81,7 %, para batelada alimentada de 2 horas; 81,0 e 76,8 %, para batelada alimentada de 4 horas; e 87,0 e 85,1 %, para batelada alimentada de 6 horas.

A análise da Figura 5.83 permite verificar que a operação em batelada alimentada de 2 horas apresentou valores de concentração de matéria orgânica ao longo do ciclo ligeiramente maiores do que aqueles verificados na operação em batelada alimentada de 6 horas. Quanto à concentração de matéria orgânica no início do ciclo (tempo zero), a operação em batelada alimentada de 6 horas apresentou o menor valor: 1791 mgDQO. l^{-1} , contra 2162 e 2488 mgDQO. l^{-1} , para a operação em batelada alimentada de 2 e 4 horas, respectivamente. No entanto, ao final do ciclo, a operação em batelada alimentada de 2 e 6 horas apresentaram valores de concentração de matéria orgânica muito próximos, em torno de 785 e 698 mgDQO. l^{-1} , respectivamente, contra 1312 mgDQO. l^{-1} para batelada alimentada de 4 horas. Quanto à concentração de ácidos voláteis totais ao longo de todo o ciclo seguinte à carga de choque, a operação em batelada alimentada de 2 horas apresentou os menores valores, indicando uma suscetibilidade à carga de choque ligeiramente inferior para aquela condição em relação à operação em batelada alimentada de 6 horas. A operação em batelada alimentada de 4 horas foi

aquela que mostrou o pior comportamento no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, apresentou maiores valores de concentração de matéria orgânica e de ácidos voláteis totais ao longo de todo o ciclo, em relação às outras duas condições. Além disso, a Figura 5.84 mostra a ausência completa de alcalinidade a bicarbonato no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, para a batelada alimentada de 4 horas. Quanto ao pH do meio reacional no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, aquele apresentou valor mínimo de 5,6 em 2,33 horas de tempo no ciclo, na batelada alimentada de 2 horas; 5,1 no início da batelada alimentada de 4 horas; e 5,5 no início da batelada alimentada de 6 horas.

O tempo de retomada do processo após a aplicação da carga de choque não foi influenciado pela alteração do tempo de alimentação, sendo aquele em torno de 2 dias para os três tempos de enchimento estudados. Esse fato é comprovado pela observação das Figuras 5.70 a 5.73, a qual mostram claramente o estabelecimento de valores de concentração de matéria orgânica, eficiência de remoção de matéria orgânica, alcalinidade a bicarbonato e concentração de ácidos voláteis totais, após 2 dias da aplicação da carga de choque, muito próximos àqueles verificados anteriormente ao choque, para os três tempos de alimentação estudados.

Quanto aos perfis de ácidos voláteis intermediários, realizados no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque (Figuras 5.86, 5.87 e 5.88), estes mostraram maior concentração do ácido butírico para os três tempos de alimentação estudados, com maior concentração máxima deste ácido na operação em batelada alimentada de 4 horas: 245 mg.l^{-1} em 0,50 horas de tempo no ciclo, contra 143 mg.l^{-1} no início do ciclo, para batelada alimentada de 2 horas; e 101 mg.l^{-1} em 1,00 hora de tempo no ciclo, para batelada alimentada de 6 horas. Os outros ácidos presentes, tais como o isobutírico, isovalérico, valérico e capróico, apresentaram-se em concentrações menores que $41,4 \text{ mg.l}^{-1}$ em todos os tempos de alimentação estudados. Além disso, não foi detectado a presença de ácido acético e propiônico em nenhum dos perfis realizados no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, ou seja, a concentração desses ácidos apresentou-se abaixo do limite de detecção do método ao longo de todo o ciclo. Quanto aos perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais (Figura 5.89), estes apresentaram valores absolutos diferentes daqueles observados nos perfis de ácidos voláteis totais (Figura 5.85). No entanto, a comparação da Figura 5.85 e 5.89 mostra que, em termos relativos, os perfis de ácidos voláteis totais e ácidos

voláteis intermediários totais apresentaram-se muito parecidos, com maior concentração de ácidos totais para operação em batelada alimentada de 4 horas, seguida da batelada alimentada de 6 horas e então de 2 horas, a qual apresentou as menores concentrações de ácidos ao longo de praticamente todo o ciclo.

FIGURA 5.86: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.87: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.88: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

FIGURA 5.89: Perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

5.7. Influência do Tempo de Alimentação, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade para a Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

Terminados todos os ensaios de estratégia de alimentação, carga de choque e suplementação de alcalinidade para carga orgânica volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o sistema foi desmontado para limpeza e, em seguida, iniciaram-se os ensaios com o reator operando com carregamento orgânico volumétrico de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. O tempo de operação do reator nesta condição de carga orgânica volumétrica foi de 87 dias, distribuídos em 30 dias para as condições com tempo de alimentação de 2 e 4 horas, cada, e 27 dias para a operação com tempo de alimentação de 6 horas.

Os valores médios das variáveis monitoradas para os três tempos de alimentação estudados, nesta condição de carga orgânica volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, são apresentados na Tabela 5.16. Como já de costume, os valores médios foram obtidos considerando os dados a partir da qual a suplementação de alcalinidade ao afluente já encontrava-se otimizada. A Tabela 5.17 mostra a concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator, para carga orgânica volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, sendo estes expressos em massa de sólidos por massa de espuma, e massa de sólidos por volume de meio reacional. A carga orgânica volumétrica e específica, calculadas a partir do valor médio da concentração de matéria orgânica no afluente, foram de, respectivamente, 6,14 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e 141 mgDQO.gSTV $^{-1}.d^{-1}$. Os dados de operação para essa condição de carga orgânica volumétrica, para os três tempos de alimentação estudados, estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente. Os valores de concentração de matéria orgânica no efluente e de eficiência de remoção de matéria orgânica, obtidos nos 87 dias de operação do reator, na carga orgânica volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, são ilustrados nas Figuras 5.90 e 5.91, respectivamente. Os valores de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, durante todo o período de operação, são mostrados nas Figuras 5.92 e 5.93, respectivamente.

TABELA 5.16: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.*

Variável	Afluente ^(a)	Efluente		
		$t_a = 2 \text{ h}$	$t_a = 4 \text{ h}$	$t_a = 6 \text{ h}$
C_{ST} (mgDQO. l^{-1})	$3409 \pm 152^{(37)}$	$86 \pm 19^{(8)}$	$86 \pm 14^{(7)}$	$109 \pm 14^{(6)}$
ϵ_{ST} (%)	-	$98 \pm 1^{(8)}$	$98 \pm 1^{(7)}$	$97 \pm 1^{(6)}$
C_{SF} (mgDQO. l^{-1})	-	$49 \pm 13^{(8)}$	$55 \pm 9^{(7)}$	$91 \pm 4^{(6)}$
ϵ_{SF} (%)	-	$99 \pm 1^{(8)}$	$98 \pm 1^{(7)}$	$97 \pm 1^{(6)}$
AVT (mgHAc. l^{-1})	$166 \pm 11^{(30)}$	$120 \pm 14^{(8)}$	$124 \pm 7^{(7)}$	$113 \pm 7^{(6)}$
AB (mgCaCO ₃ . l^{-1})	$643 \pm 44^{(30)}$	$1062 \pm 107^{(8)}$	$940 \pm 59^{(7)}$	$915 \pm 63^{(6)}$
pH	$7,5 \pm 0,2^{(30)}$	$7,2 \pm 0,1^{(8)}$	$6,9 \pm 0,2^{(7)}$	$7,1 \pm 0,2^{(6)}$
ST (mg. l^{-1})	$3993 \pm 77^{(13)}$	$1810 \pm 287^{(5)}$	$1444 \pm 14^{(3)}$	$1744 \pm 96^{(4)}$
STV (mg. l^{-1})	$2946 \pm 69^{(13)}$	$542 \pm 60^{(5)}$	$521 \pm 51^{(3)}$	$703 \pm 93^{(4)}$
SST (mg. l^{-1})	$140 \pm 13^{(13)}$	$50 \pm 5^{(5)}$	$26 \pm 9^{(3)}$	$48 \pm 7^{(4)}$
SSV (mg. l^{-1})	$105 \pm 16^{(13)}$	$34 \pm 9^{(5)}$	$16 \pm 2^{(3)}$	$28 \pm 9^{(4)}$

* Entre parênteses o número de amostras consideradas para o cálculo da média.

^(a) Média observada para os três tempos de alimentação estudados.

Diferentemente do que foi observado na condição de carregamento orgânico volumétrico de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o aumento do tempo de alimentação, na carga orgânica volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, causou queda na eficiência de remoção de matéria orgânica, principalmente para amostras filtradas do efluente. Mesmo assim, foram obtidos elevados valores de eficiência de remoção de matéria orgânica para os três tempos de alimentação estudados. As operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas apresentaram valores médios de eficiência de remoção de matéria orgânica, para amostras filtradas do efluente de, respectivamente, 99, 98 e 97 %. Para amostras não filtradas do efluente, estes valores apresentaram

média de 98 % para as operações em batelada alimentada de 2 e 4 horas, e 97 % para a operação em batelada alimentada de 6 horas. Por sua vez, conforme verificado na operação do reator com carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a utilização de maiores tempos de alimentação, na carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, também proporcionou a obtenção de maiores valores de eficiência de remoção de matéria orgânica em relação à operação do reator em batelada convencional (tempo de alimentação de 10 minutos) com carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (Subprojeto 1), em que foram obtidos valores médios de eficiência de remoção de matéria orgânica, para amostras filtradas e não filtradas do efluente de, respectivamente, 83 e 77 %. Outra vantagem da utilização de maiores tempos de alimentação, em relação à batelada convencional, para esta condição de carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, foi a minimização da velocidade de formação de material polimérico no interior do reator, a qual colaborou para que os valores médios das concentrações de sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis no efluente fossem inferiores àqueles no afluente, para os três tempos de alimentação estudados (Tabela 5.16).

TABELA 5.17: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Variável	Biomassa
$S_{ST}^{(a)}$	2331
$S_{STV}^{(a)}$	2015
$S_{ST}^{(b)}$	50,3
$S_{STV}^{(b)}$	43,4
S_{STV}/S_{ST}	0,86

^(a) (mg de sólidos. g de espuma⁻¹).

^(b) (g de sólidos. l de meio reacional⁻¹).

A comparação dos valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator, contidos nas Tabelas 5.4 e 5.17, para a operação em batelada e batelada alimentada, respectivamente, na condição de carga orgânica

volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, mostram que a implementação de maiores tempos de alimentação causou um aumento na quantidade do sólidos presentes no reator. Para operação em batelada convencional (Tabela 5.4), os valores de concentração de sólidos totais e sólidos totais voláteis foram de, respectivamente, 1334 e 1148 mg de sólidos.g de espuma⁻¹. Por sua vez, a Tabela 5.17 mostra um aumento na quantidade de sólidos totais e sólidos totais voláteis presentes no reator de, aproximadamente, 1000 mg de sólidos.g de espuma⁻¹, em relação à batelada convencional, para a carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Em termos de massa de sólidos por volume de meio reacional, o aumento da quantidade de sólidos no reator, com a implementação da alimentação do reator em um período maior, para a carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, foi de 37,9 (na batelada) para 50,3 g de sólidos totais.l de meio reacional⁻¹ (na batelada alimentada), e de 32,6 (na batelada) para 43,4 g de sólidos totais voláteis.l de meio reacional⁻¹ (na batelada alimentada). No entanto, o aumento do tempo de alimentação, para a carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, não influenciou no valor da relação entre a quantidade de sólidos totais voláteis e sólidos totais ($S_{\text{STV}}/S_{\text{ST}}$) presentes no reator, a qual permaneceu em torno de 0,86.

FIGURA 5.90: Concentração de matéria orgânica no efluente durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

[Notação: (I) $t_a = 2 \text{ h}$; (II) $t_a = 4 \text{ h}$; (III) $t_a = 6 \text{ h}$].

FIGURA 5.91: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.
[Notação: (I) $t_a = 2$ h; (II) $t_a = 4$ h; (III) $t_a = 6$ h].

FIGURA 5.92: Alcalinidade a bicarbonato durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.
[Notação: (I) $t_a = 2$ h; (II) $t_a = 4$ h; (III) $t_a = 6$ h].

FIGURA 5.93: Concentração de ácidos voláteis totais durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.
[Notação: (I) $t_a = 2 \text{ h}$; (II) $t_a = 4 \text{ h}$; (III) $t_a = 6 \text{ h}$].

A operação do reator com tempo de alimentação de 2 horas, nesta condição de carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, além de proporcionar maiores valores de eficiência de remoção de matéria orgânica, em relação aos outros dois ensaios com tempos de alimentação de 4 e 6 horas, também proporcionou maior estabilidade do processo à carga de choque, fato esse que pode ser claramente comprovado pela observação das Figuras 5.90 e 5.93, os quais mostram, respectivamente, que a concentração de matéria orgânica e de ácidos voláteis totais, no ciclo referente à carga de choque, foi menor no ensaio com tempo de alimentação de 2 horas, em relação aos outros dois ensaios com tempo de alimentação de 4 e 6 horas, indicando que o efeito da aplicação da carga de choque foi menor na operação do reator em batelada alimentada de 2 horas. Para o ensaio com tempo de alimentação de 2 horas, os valores de concentração de matéria orgânica, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, no ciclo referente à carga de choque, foram de, respectivamente, 295 e 426 mgDQO.l^{-1} . Para a operação em batelada alimentada de 4 horas, em termos de concentração de matéria orgânica para amostras filtradas e não filtradas do efluente, estes valores foram de, respectivamente, 708 e 893 mgDQO.l^{-1} ; e para batelada alimentada de 6 horas, aqueles valores ficaram em torno de 736 e 1087 mgDQO.l^{-1} . Quanto aos valores de concentração de ácidos voláteis totais no efluente do ciclo da carga de choque, aqueles foram de 256, 437 e 449 mgHAc.l^{-1} , para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6

horas, respectivamente, comprovando a menor vulnerabilidade à carga de choque e maior estabilidade do processo quando o reator foi operado com tempo de alimentação de 2 horas. No entanto, em geral, a Figura 5.93 mostra que os valores de concentração de ácidos voláteis totais no efluente permaneceram inferiores àqueles no afluente durante todo o período (exceto no ciclo referente à carga de choque), indicando que o sistema foi capaz de consumir ácidos e gerar alcalinidade (Figura 5.92) nos três ensaios. A Tabela 5.16 mostra que não houve diferença significativa nos valores médios de concentração de ácidos voláteis totais no efluente, os quais permaneceram em torno de 120 mgHAc.l^{-1} para os três tempos de alimentação estudados. Quanto aos valores médios de alcalinidade a bicarbonato no efluente, os quais permaneceram em torno de 1062, 940 e 915 $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$, para operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, respectivamente, aqueles mostraram uma menor capacidade de produção de alcalinidade com o aumento do tempo de alimentação. Esta observação é importante, pois uma explicação para o fato do ensaio em batelada alimentada de 2 horas ter proporcionado maior estabilidade no ciclo referente à carga de choque, em relação aos outros dois ensaios, pode residir justamente na maior capacidade de produção de alcalinidade a bicarbonato verificada no ensaio com tempo de alimentação de 2 horas, alcalinidade aquela que colaborou para neutralizar os ácidos eventualmente formados durante a aplicação da carga de choque.

A utilização de maiores tempos de alimentação, na operação do reator com carregamento orgânico volumétrico de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, colaborou para minimizar ainda mais a suplementação de alcalinidade ao afluente, em relação à operação do reator com carregamento orgânico volumétrico de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e tempo de alimentação de 10 minutos (Subprojeto 1). Utilizando-se de maiores tempos de alimentação, a suplementação de alcalinidade pôde ser otimizada em 25 %, contra 50 % de otimização obtido na batelada convencional. A análise das Figuras 5.90 a 5.93 mostra que o sistema foi capaz de manter sua estabilidade e eficiência durante a otimização da alcalinidade adicionada ao afluente, a qual passou de 100 para 50 % no terceiro dia de operação, e então de 50 para 25 % no décimo dia de operação. Neste período o pH se manteve em valores próximos ao neutro, sendo detectadas baixas concentrações de ácidos voláteis totais no efluente, e indicando que a alcalinidade otimizada foi suficiente para neutralizar os ácidos presentes e realizar o tamponamento do meio.

A Tabela 5.18 apresenta os valores de carga orgânica removida, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, para os três tempos de alimentação estudados. O

aumento do tempo de enchimento do reator, na carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, não causou variações significativas nos valores de carga orgânica removida, os quais permaneceram, para os três ensaios, em torno de 6,00 e $5,96 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente. No entanto, vale ressaltar que tais valores foram maiores do que àqueles observados durante a operação do reator em batelada convencional, na carga orgânica volumétrica de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, os quais foram de 4,95 e $4,59 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente.

Os perfis de concentração de matéria orgânica na forma filtrada, de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, para os três tempos de alimentação estudados, nesta condição de carga orgânica volumétrica, antes da aplicação da carga de choque, são apresentados nas Figuras 5.94, 5.95 e 5.96, respectivamente. Os perfis de ácidos voláteis intermediários, antes da aplicação da carga de choque, para a operação do reator com tempo de alimentação de 2, 4 e 6 horas, são ilustrados nas Figuras 5.97, 5.98 e 5.99, respectivamente. Os perfis de concentração de metano, para os três tempos de alimentação estudados, são apresentados na Figura 5.100. Os perfis de porcentagem molar de metano e gás carbônico na atmosfera do reator, para a operação do reator com tempo de alimentação de 2, 4 e 6 horas, são ilustrados nas Figuras 5.101, 5.102 e 5.103, respectivamente. Os dados de operação referentes aos perfis podem ser observados no Apêndice III.

TABELA 5.18 : Valores de carga orgânica removida para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

t_a (h)	COR ($\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	
	Amostras filtradas	Amostras não filtradas
2	6,05	5,98
4	6,04	5,98
6	5,97	5,94

FIGURA 5.94: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.95: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.96: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.97: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.98: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.99: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.100: Perfis de concentração de metano para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.101: Perfil de percentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 2 h, na $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.102: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 4 h, na $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

FIGURA 5.103: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 6 h, na $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

Como era de se esperar, a Figura 5.94 mostra uma queda nos valores máximos de concentração de matéria orgânica ao longo do ciclo, com o aumento do tempo de alimentação. Além disso, verifica-se também que a operação em batelada alimentada de 6 horas foi aquela que apresentou maior concentração de matéria orgânica ao final do ciclo, ratificando os resultados apresentados na Tabela 5.16, a qual mostra um desempenho inferior para a operação em batelada alimentada de 6 horas, em relação aos demais tempos de alimentação estudados. Pela Figura 5.96 verifica-se que, apesar de apresentar menor desempenho em relação aos demais ensaios, a operação em batelada alimentada de 6 horas foi

aquela que apresentou a menor concentração de ácidos voláteis totais ao longo do ciclo (máximo de 132 mgHAc. l^{-1} , em 5,00 horas de tempo no ciclo). Ou seja, o aumento do tempo de alimentação limitou a oferta de substrato primário aos microrganismos acidogênicos, controlando a produção de ácidos, fazendo com que o consumo destes ocorresse a medida em que estes fossem formados, e minimizando, portanto, o acúmulo daqueles ao longo do ciclo. Os principais ácidos verificados nos perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários, realizados anteriormente à aplicação da carga de choque, foram o propiônico, o butírico, o isobutírico, o valérico e o isovalérico. Para todos os ensaios realizados, o ácido identificado em maior quantidade foi o propiônico, apresentando concentração máxima de 111 mg. l^{-1} em 4,00 horas de tempo no ciclo, 73,7 mg. l^{-1} em 3,00 de tempo no ciclo, e 53,0 mg. l^{-1} em 6,00 hora de tempo no ciclo, para as operações com tempo de alimentação de 2, 4 e 6 horas, respectivamente. Esta observação mostra que o aumento do tempo de enchimento minimizou o acúmulo de hidrogênio no meio, proporcionando um maior controle na formação de ácido propiônico e permitindo, portanto, que a concentração desse ácido no meio fosse menor quanto maior o tempo de alimentação. Para todos os três tempos de enchimento estudados, os demais ácidos identificados não apresentaram concentração superior à 7,78 mg. l^{-1} .

Conforme verificado na operação do reator com carga orgânica volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, verifica-se, pela Figura 5.100, que o ensaio com tempo de alimentação de 2 horas foi aquele que apresentou a maior velocidade de geração de metano no início do ciclo, para carga orgânica volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, devido à maior velocidade de fornecimento de substrato primário imposta naquele tempo de alimentação. Em relação aos perfis de porcentagem molar de metano e gás carbônico na atmosfera do reator (Figuras 5.101 a 5.103), observou-se que, diferentemente do comportamento apresentado na operação do reator com carga orgânica volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e tempo de alimentação de 6 horas, para carga de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, a porcentagem molar de gás carbônico no início do ciclo foi maior do que aquela de metano para os três tempos de alimentação estudados. Portanto, para carga orgânica volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, a estratégia de aumento do tempo de alimentação até 6 horas, apesar de ter limitado a oferta de substrato primário aos microrganismos acidogênicos, e minimizado o acúmulo de ácidos ao longo do ciclo (Figura 5.96), não permitiu a predominância

da metanogênese sobre a acidogênese ao longo de todo ciclo, conforme verificado na batelada alimentada de 6 horas e carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

As Figuras 5.104, 5.105 e 5.106 ilustram, respectivamente, os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, obtidos no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para os três tempos de alimentação estudados. Nas Figuras 5.107, 5.108 e 5.109 são apresentados, respectivamente, os perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para a operação do reator em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas. Finalmente, a Figura 5.110 mostra os perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais, no ciclo seguinte à carga de choque, para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas.

FIGURA 5.104: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.105: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = $6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.106: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = $6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

FIGURA 5.107: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

FIGURA 5.108: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

FIGURA 5.109: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

FIGURA 5.110: Perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

Os perfis de concentração de matéria orgânica filtrada, realizados no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque (Figura 5.104), mostram uma queda contínua na concentração de matéria orgânica ao longo do ciclo, para as operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas. Por sua vez, na operação em batelada alimentada de 2 horas, observou-se um aumento na concentração de matéria orgânica filtrada, no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, a qual atingiu o

valor de 825 mgDQO.l^{-1} em 0,50 hora de tempo no ciclo, diminuindo a partir daí. Apesar desse aumento, a operação em batelada alimentada de 2 horas apresentou o menor valor de concentração de matéria orgânica filtrada no efluente do ciclo referente à carga de choque, a qual foi, como já citado anteriormente, de 295 mgDQO.l^{-1} , contra 708 e 736 mgDQO.l^{-1} verificados na batelada alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente. Vale ressaltar que o valor da concentração de matéria orgânica no efluente do ciclo da carga de choque nada mais é do que o valor da concentração de matéria orgânica no interior do reator no início (tempo zero) do ciclo seguinte à carga de choque. Além disso, o valor da concentração máxima de matéria orgânica filtrada, verificado no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, na operação em batelada alimentada de 2 horas (825 mgDQO.l^{-1} em 0,50 horas de tempo no ciclo), é ligeiramente superior ao valor inicial da concentração de matéria orgânica filtrada no ciclo seguinte à carga de choque, nas operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas. Portanto, na análise dos resultados obtidos, o aumento da concentração de matéria orgânica filtrada, no início do ciclo seguinte à carga de choque, para a operação em batelada alimentada de 2 horas, não foi considerado como um indicador de menor desempenho do reator na referida condição. Ou seja, àquele aumento ocorreu não somente devido a menor concentração de matéria orgânica filtrada no interior do reator no início do ciclo, como também à maior velocidade de fornecimento de substrato primário, em relação aos outros dois tempos de alimentação estudados, os quais foram maiores.

A análise da Figura 5.106 mostra que o comportamento da concentração de ácidos voláteis totais, ao longo do ciclo seguinte à carga de choque, foi semelhante àquele verificado nos perfis de concentração de matéria orgânica filtrada (Figura 5.104), nos três tempos de alimentação estudados. A concentração máxima de ácidos voláteis totais, no perfil realizado no ciclo seguinte à carga de choque, para a operação em batelada alimentada de 2 horas, foi de 403 mgHAc.l^{-1} em 2,33 horas de tempo no ciclo, ou seja, menor do que a concentração inicial de ácidos voláteis totais no ciclo seguinte à carga de choque, nas operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, os quais foram de, respectivamente, 437 e 449 mgHAc.l^{-1} . Além disso, a Figura 5.106 mostra que a operação em batelada alimentada de 2 horas foi aquela que permitiu a obtenção do menor valor de concentração de ácidos voláteis totais no final do ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, a qual foi de 150 mgHAc.l^{-1} , contra 193 e 171 mgHAc.l^{-1} , obtido nas operações em batelada

alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente. Quanto ao pH no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, este apresentou valor mínimo de 6,6 em 2,33 horas de tempo no ciclo, 6,5 em 3,00 de tempo no ciclo, e 6,8 em 0,50 hora de tempo no ciclo, para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, respectivamente.

O tempo de retomada do processo após a aplicação da carga de choque não foi influenciado pela alteração do tempo de alimentação, sendo aquele em torno de apenas um dia para os três tempos de enchimento estudados. Esse fato é comprovado pela observação das Figuras 5.90 a 5.93, a qual mostram claramente o estabelecimento de valores de concentração de matéria orgânica, eficiência de remoção de matéria orgânica, alcalinidade a bicarbonato e concentração de ácidos voláteis totais, após a aplicação da carga de choque, muito próximos àqueles verificados anteriormente ao choque, para os três tempos de alimentação estudados.

Os perfis de ácidos voláteis intermediários, realizados no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, os quais são apresentados nas Figuras de 5.107 a 5.109, mostram que, para os três tempos de alimentação estudados, os ácidos orgânicos voláteis identificados em maior quantidade foram o butírico e o isovalérico, além da presença de ácido valérico e isobutírico em menores quantidades. O ácido butírico apresentou menor concentração na operação em batelada alimentada de 2 horas, a qual foi de $9,03 \text{ mg.l}^{-1}$ em 2,33 horas de tempo no ciclo seguinte à carga de choque, contra $18,6 \text{ mg.l}^{-1}$ em 0,50 horas de tempo no ciclo, e $15,2 \text{ mg.l}^{-1}$ em 0,50 horas de tempo no ciclo, para as operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente. Quanto ao ácido isovalérico, este também apresentou a menor concentração na operação em batelada alimentada de 2 horas, no ciclo seguinte à carga de choque: $10,5 \text{ mg.l}^{-1}$ em 3,00 horas de tempo no ciclo, contra $29,3$ e $17,6 \text{ mg.l}^{-1}$ no início do ciclo, para as operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente. É importante ressaltar que, em relação à batelada convencional, a operação em batelada alimentada permitiu uma mudança na rota de formação e degradação de ácidos voláteis, principalmente nos ciclos seguintes à carga de choque, uma vez que os principais ácidos identificados nesta condição foram o butírico, o isovalérico, o valérico e o isobutírico, ao contrário da batelada convencional, que apresentou os ácidos acético e propiônico em maiores quantidades. Quanto aos perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais no ciclo seguinte à carga de choque (Figura

5.110), estes apresentaram valores absolutos diferentes daqueles observados nos perfis de ácidos voláteis totais realizados por titulometria (Figura 5.106). No entanto, uma comparação entre a Figura 5.106 e 5.110 mostra que, em termos relativos, os perfis de ácidos voláteis totais e ácidos voláteis intermediários totais apresentaram-se muito parecidos, com aumento da concentração de ácidos totais no início do ciclo para a operação em batelada alimentada de 2 horas, e constante queda daquela para as operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas. A Figura 5.107 também mostra o aumento, no início do ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, da concentração de cada um dos ácidos identificados na operação em batelada alimentada de 2 horas. Por sua vez, as Figuras 5.108 e 5.109 mostram uma contínua queda na concentração de cada um dos ácidos identificados, no ciclo seguinte à carga de choque, nas operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente, ratificando os resultados já apresentados anteriormente.

Considerando os ótimos resultados de eficiência e estabilidade do reator durante a operação sob carga orgânica volumétrica de $6 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e tempo de alimentação de 2 horas, decidiu-se, ao final desta condição operacional, realizar um ensaio de 46 dias naquelas mesmas condições, mas sob anaerobiose estrita. A condição de anaerobiose estrita foi obtida pela injeção de nitrogênio gasoso na atmosfera do reator e do reservatório paralelo, e foi realizado com o objetivo de verificar se a ausência completa de oxigênio na atmosfera do reator e do reservatório paralelo poderia influenciar nos resultados já obtidos. No entanto, os resultados sob anaerobiose estrita mostraram-se bem próximos daqueles realizados sem injeção de nitrogênio. Os valores de eficiência de remoção de matéria orgânica foram de 99 e 97 %, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente. Quanto a concentração de ácidos voláteis totais no efluente, esta permaneceu em torno de 99 mgHAc.l^{-1} , e quanto a alcalinidade a bicarbonato no efluente, esta ficou próxima de $1183 \text{ mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

5.8. Influência do Tempo de Alimentação, da Carga de Choque e da Suplementação de Alcalinidade para a Carga Orgânica Volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

Finalizado os ensaios de estratégia de alimentação, carga de choque e suplementação de alcalinidade para a carga orgânica volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o sistema foi desmontado e limpo e, em seguida, iniciaram-se os ensaios com o reator operando com carregamento orgânico volumétrico de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. O período total de operação do reator para esta carga orgânica foi de 94 dias, distribuídos em 37, 28 e 29 dias, para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, respectivamente.

Os valores médios das variáveis monitoradas para os três tempos de alimentação estudados, nesta condição de carga orgânica volumétrica, são mostrados na Tabela 5.19. A Tabela 5.20 apresenta os valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator, para carga orgânica volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, sendo estes expressos em massa de sólidos por massa de espuma, e massa de sólidos por volume de meio reacional. A carga orgânica volumétrica e específica, calculadas a partir do valor médio da concentração de matéria orgânica no afluente, foram de, respectivamente, 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e 245 mgDQO.gSTV $^{-1}.d^{-1}$. Os dados de operação para essa condição de carga orgânica volumétrica, para os três tempos de alimentação estudados, estão contidos nos Apêndices I e II, para o afluente e efluente do reator, respectivamente.

Pela Tabela 5.19, verifica-se que, diferentemente dos resultados obtidos sob carregamento orgânico volumétrico de 3,00 e 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, a utilização de diferentes tempos de alimentação, sob aplicação de carga orgânica volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, passou a exercer uma influência mais significativa sobre o desempenho do reator. Para carga de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o aumento do tempo de alimentação resultou em queda nos valores médios de eficiência de remoção de matéria orgânica pelo reator, os quais foram de 97, 95 e 93 %, para amostras filtradas do efluente, e 96, 92 e 88 %, para amostras não filtradas do efluente, para tempos de alimentação de 2, 4 e 6 horas, respectivamente. No entanto, apesar dessa queda nos valores de eficiência com o aumento do tempo de enchimento, foi

verificado que, para os três tempos de alimentação estudados, os valores de eficiência foram ainda superiores àqueles verificados na operação em batelada convencional e mesmo carregamento orgânico volumétrico (Subprojeto 1), os quais foram de 78 e 66 %, para amostras filtradas e não filtradas do efluente, respectivamente.

TABELA 5.19: Valores médios das variáveis monitoradas para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.*

Variável	Afluente ^(a)	Efluente		
		$t_a = 2 \text{ h}$	$t_a = 4 \text{ h}$	$t_a = 6 \text{ h}$
C_{ST} (mgDQO. l^{-1})	6689 ± 159 ⁽⁴⁴⁾	289 ± 51 ⁽⁸⁾	516 ± 63 ⁽¹⁰⁾	816 ± 82 ⁽⁶⁾
ϵ_{ST} (%)	-	96 ± 1 ⁽⁸⁾	92 ± 1 ⁽¹⁰⁾	88 ± 1 ⁽⁶⁾
C_{SF} (mgDQO. l^{-1})	-	220 ± 44 ⁽⁸⁾	336 ± 37 ⁽¹⁰⁾	484 ± 54 ⁽⁶⁾
ϵ_{SF} (%)	-	97 ± 1 ⁽⁸⁾	95 ± 1 ⁽¹⁰⁾	93 ± 1 ⁽⁶⁾
AVT (mgHAc. l^{-1})	280 ± 26 ⁽²⁸⁾	173 ± 12 ⁽⁶⁾	167 ± 15 ⁽¹⁰⁾	237 ± 12 ⁽⁵⁾
AB (mgCaCO ₃ . l^{-1})	959 ± 95 ⁽²⁸⁾	1389 ± 54 ⁽⁶⁾	1227 ± 43 ⁽¹⁰⁾	1220 ± 39 ⁽⁵⁾
pH	$7,5 \pm 0,1$ ⁽²⁸⁾	$7,0 \pm 0,1$ ⁽⁶⁾	$7,1 \pm 0,1$ ⁽¹⁰⁾	$7,3 \pm 0,1$ ⁽⁵⁾
ST (mg. l^{-1})	7778 ± 574 ⁽¹⁰⁾	2610 ± 139 ⁽²⁾	2812 ± 179 ⁽³⁾	3155 ± 332 ⁽⁴⁾
STV (mg. l^{-1})	5864 ± 469 ⁽¹⁰⁾	822 ± 37 ⁽²⁾	1172 ± 140 ⁽³⁾	1282 ± 176 ⁽⁴⁾
SST (mg. l^{-1})	259 ± 26 ⁽¹⁰⁾	110 ± 3 ⁽²⁾	186 ± 20 ⁽³⁾	235 ± 31 ⁽⁴⁾
SSV (mg. l^{-1})	184 ± 32 ⁽¹⁰⁾	89 ± 1 ⁽²⁾	148 ± 24 ⁽³⁾	199 ± 27 ⁽⁴⁾

* Entre parenteses o número de amostras consideradas para o cálculo da média.

^(a) Média observada para os três tempos de alimentação estudados.

Quanto ao valor médio da concentração de ácidos voláteis totais no efluente, aquele permaneceu em torno de 170 mgHAc. l^{-1} para a batelada alimentada de 2 e 4 horas, aumentando para 237 mgHAc. l^{-1} , na batelada

alimentada de 6 horas. No entanto, o sistema apresentou-se estável durante os 94 dias de ensaio, sendo que a maior concentração de ácidos no efluente do reator, verificada na batelada alimentada de 6 horas, ocorreu devido ao menor tempo disponível, após o término do enchimento, para o consumo dos ácidos formados. A suplementação de alcalinidade ao afluente pôde ser otimizada em 25 %, sendo aquela suficiente para tamponar o meio e manter seu pH próximo do neutro durante todo o período.

TABELA 5.20: Valores de concentração de sólidos relativos à biomassa imobilizada presente no reator para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Variável	Biomassa
$S_{ST}^{(a)}$	2285
$S_{STV}^{(a)}$	1563
$S_{ST}^{(b)}$	71,9
$S_{STV}^{(b)}$	49,2
S_{STV}/S_{ST}	0,68

^(a) (mg de sólidos. g de espuma⁻¹).

^(b) (g de sólidos. l de meio reacional⁻¹).

Uma observação interessante diz respeito à quantidade de material polimérico formado no interior do reator, a qual foi praticamente nula durante todo o período. Ou seja, para maiores valores de carga orgânica volumétrica, a utilização de maiores tempos de enchimento parece colaborar na minimização da formação de material polimérico, o que torna esse modo de operação do reator atraente quando de sua possível e futura aplicação em escala plena, diminuindo-se assim custos de limpeza do sistema. A análise da Tabela 5.20, e sua comparação com as Tabelas 5.14 e 5.17, mostram que houve uma queda significativa no valor da relação entre a concentração de sólidos totais e sólidos totais voláteis (S_{STV}/S_{ST}) relativos à biomassa imobilizada presente no reator, o qual passou de 0,86, nas condições em que o reator operou em batelada alimentada e aplicação de cargas orgânicas volumétricas de 3,00 e 6,00 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para 0,68, nesta última condição de carregamento orgânico volumétrico. Esta queda pode estar relacionada

justamente à menor quantidade de material polimérico formado, pois ao final das operações sob cargas de 3,00 e 6,00 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, apesar de todo cuidado durante a análise da concentração de sólidos relativos à biomassa, a grande quantidade de biopolímeros formados nestas duas últimas cargas poderia estar causando interferências e sobreestimando a quantidade de sólidos totais voláteis presentes no reator.

Os valores de concentração de matéria orgânica no efluente, de eficiência de remoção de matéria orgânica, de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, durante todo o período de operação, na carga orgânica volumétrica de 12,0 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, são ilustrados nas Figuras 5.111, 5.112, 5.113 e 5.114, respectivamente.

A análise da Figura 5.111 mostra um sensível aumento na concentração de matéria orgânica no efluente do reator com o aumento do tempo de enchimento, ratificando os resultados apresentados na Tabela 5.19. Além de apresentar os menores valores de concentração de matéria orgânica no efluente, a operação em batelada alimentada de 2 horas foi aquela que, mais uma vez, mostrou menor vulnerabilidade à carga de choque. Para as operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, os valores de concentração de matéria orgânica para amostras filtradas do efluente, no ciclo seguinte à carga de choque, foram de, respectivamente, 475 e 388 mgDQO.l^{-1} , contra 232 mgDQO.l^{-1} obtido na batelada alimentada de 2 horas. Quanto à concentração de ácidos voláteis totais no efluente do ciclo seguinte ao choque, a batelada alimentada de 2 horas também apresentou os melhores resultados: 122 mgHAc.l^{-1} , contra 214 e 165 mgHAc.l^{-1} , obtido nas operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente. Os valores de carga orgânica removida, os quais são apresentados na Tabela 5.21, ajudam a complementar a tese de maior desempenho do reator para operação com tempo de alimentação de 2 horas, comprovando que este tempo de alimentação gerou melhores resultados não somente em termos qualitativos, ou seja, em termos de concentração de matéria orgânica no efluente, mas também em termos de quantidade de matéria orgânica removida.

TABELA 5.21: Valores de carga orgânica removida para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

t_a (h)	COR ($\text{gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$)	
	Amostras filtradas	Amostras não filtradas
2	11,64	11,52
4	11,43	11,11
6	11,17	10,57

FIGURA 5.111: Concentração de matéria orgânica no efluente durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

[Notação: (I) $t_a = 2 \text{ h}$; (II) $t_a = 4 \text{ h}$; (III) $t_a = 6 \text{ h}$].

FIGURA 5.112: Eficiência de remoção de matéria orgânica durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

[Notação: (I) $t_a = 2$ h; (II) $t_a = 4$ h; (III) $t_a = 6$ h].

FIGURA 5.113: Alcalinidade a bicarbonato durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

[Notação: (I) $t_a = 2$ h; (II) $t_a = 4$ h; (III) $t_a = 6$ h].

FIGURA 5.114: Concentração de ácidos voláteis totais durante a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h para $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.
[Notação: (I) $t_a = 2 \text{ h}$; (II) $t_a = 4 \text{ h}$; (III) $t_a = 6 \text{ h}$].

Os perfis de concentração de matéria orgânica na forma filtrada, de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais, para os três tempos de alimentação estudados, nesta condição de carga orgânica volumétrica, antes da aplicação da carga de choque, são apresentados nas Figuras 5.115, 5.116 e 5.117, respectivamente. Os perfis de concentração de cada um dos ácidos voláteis intermediários identificados, e o perfil de concentração de ácidos intermediários totais, antes da aplicação da carga de choque, são ilustrados nas Figuras 5.118 a 5.121. Os perfis de concentração de metano, para os três tempos de alimentação estudados, são apresentados na Figura 5.122. Os perfis de porcentagem molar de metano e gás carbônico na atmosfera do reator, para a operação do reator com tempo de alimentação de 2, 4 e 6 horas, são ilustrados nas Figuras 5.123, 5.124 e 5.125, respectivamente. Os dados de operação referentes aos perfis podem ser observados no Apêndice III.

Os perfis de concentração de matéria orgânica mostraram que, dentre os tempos de alimentação estudados nesta carga, a operação em batelada alimentada de 2 horas foi aquela que apresentou maior concentração máxima de matéria orgânica ao longo do ciclo: $1668 \text{ mgDQO} \cdot l^{-1}$ em 1,67 horas de tempo no ciclo. As operações com tempo de alimentação de 4 e 6 horas apresentaram valores de concentração máxima de matéria orgânica muito próximas: $940 \text{ mgDQO} \cdot l^{-1}$ e $951 \text{ mgDQO} \cdot l^{-1}$, respectivamente, e ambas em 4,00 horas de tempo no ciclo. No entanto, em termos de concentração final de

matéria orgânica, os resultados dos perfis mostram claramente um aumento daquela com o tempo de enchimento: 185 mgDQO. l^{-1} , obtido na batelada alimentada de 2 horas, para 308 e 491 mgDQO. l^{-1} , para as operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente, ratificando os resultados apresentados na Tabela 5.19 e comprovando a maior eficiência de remoção de matéria orgânica no modo de operação com tempo de alimentação de 2 horas, para a carga orgânica volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. Como era de se esperar, o aumento do tempo de enchimento minimizou o valor da concentração máxima de ácidos voláteis totais ao longo do ciclo, os quais foram de 498, 369, e 290 mgHAc. l^{-1} , para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, respectivamente. Conseqüentemente, houve um aumento do valor mínimo da alcalinidade a bicarbonato ao longo do ciclo com o aumento do tempo de alimentação: 859, 993, e 1147 mgCaCO₃. l^{-1} , para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, respectivamente, sendo observado também uma maior capacidade de produção final de alcalinidade a bicarbonato na operação em batelada alimentada de 2 horas.

Em nenhuma condição foi detectada a presença de ácido acético e propiônico, sendo que os principais ácidos identificados nos perfis foram o isovalérico, valérico, butírico e isobutírico, com tendência de diminuição da concentração máxima de cada ácido com o aumento do tempo de enchimento. Ou seja, conforme já mencionado, a operação com maiores tempos de alimentação permitiu uma mudança na rota de formação e degradação de ácidos voláteis, com eliminação da presença de ácido acético e propiônico ao longo do ciclo, sendo esses ácidos verificados em maiores quantidades na operação em batelada convencional (Subprojeto 1).

FIGURA 5.115: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.116: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.117: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = $12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.118: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = $12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.119: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.120: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

FIGURA 5.121: Perfis de concentração de ácidos voláteis intermediários totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Dos três tempos de alimentação estudados, a operação em batelada alimentada de 2 horas foi aquela que mostrou os maiores valores de concentração de metano na atmosfera do reator ao longo de todo o ciclo, apresentando concentração final de metano igual a $23,3 \text{ mMol.l}^{-1}$, contra $20,2$ e $16,2 \text{ mMol.l}^{-1}$ para as operações em batelada alimentada de 4 e 6 horas, respectivamente.

FIGURA 5.122: Perfis de concentração de metano para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

FIGURA 5.123: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 2 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

FIGURA 5.124: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 4 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

FIGURA 5.125: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para operação em batelada alimentada de 6 h, na $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

Os perfis de concentração de matéria orgânica, alcalinidade a bicarbonato e concentração de ácidos voláteis totais, realizados no ciclo seguinte à aplicação da carga de choque, para os três tempos de alimentação estudados, são apresentados nas Figuras 5.126, 5.127 e 5.128, respectivamente. Os perfis de ácidos voláteis intermediários, realizados no ciclo seguinte à carga de choque, para as operações em batelada alimentada de 2, 4 e 6 horas, são apresentados nas Figuras 5.129, 5.130 e 5.131, respectivamente.

Dentre os três tempos de enchimento estudados nesta carga, a operação com tempo de alimentação de 2 horas foi aquela que proporcionou maior estabilidade ao reator no ciclo seguinte à carga de choque. Apesar da maior variação nos valores de concentração de matéria orgânica e de ácidos voláteis totais ao longo do ciclo, a operação em batelada alimentada de 2 horas apresentou os menores valores finais daquelas variáveis, ratificando a tese de menor suscetibilidade e maior estabilidade à carga de choque verificada naquela condição. É importante ressaltar que, quando o interesse for manter a concentração de matéria orgânica no meio em valores mais baixos, seja devido à aplicação de uma carga orgânica muito alta, ou devido à presença de alguma substância tóxica à biomassa na água residuária, a operação em batelada alimentada de 6 horas passa a ser muito interessante, uma vez que esta proporcionou uma menor variação no valor daquela variável ao longo do ciclo seguinte à carga de choque. No entanto, quando o maior acúmulo de matéria orgânica ao longo do ciclo não for significativo a ponto de causar alguma

inibição ao processo, e quando o interesse ainda for a obtenção de uma melhor qualidade do efluente, a operação com tempo de alimentação de 2 horas parece ser realmente a mais indicada. Quanto aos perfis de ácidos voláteis intermediários realizados no ciclo seguinte à carga de choque, estes mostraram a presença daqueles mesmos ácidos verificados anteriormente ao choque, não sendo detectado mais nenhum ácido após 7,00 horas de tempo no ciclo para as operações em batelada de 2 e 4 horas.

FIGURA 5.126: Perfis de concentração de matéria orgânica filtrada para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹).

FIGURA 5.127: Perfis de alcalinidade a bicarbonato para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹).

FIGURA 5.128: Perfis de ácidos voláteis totais para a operação em batelada alimentada de 2, 4 e 6 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

FIGURA 5.129: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 2 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

FIGURA 5.130: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 4 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

FIGURA 5.131: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a operação em batelada alimentada de 6 h, na COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$).

5.9. Influência do Tempo de Alimentação Sob Diferentes Carregamentos Orgânicos Volumétricos (Subprojeto 2)

Neste tópico foi realizado uma abordagem geral sobre o estudo do desempenho do reator nos três diferentes tempos de alimentação (2, 4 e 6 horas) e cargas orgânicas volumétricas (3,00, 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$) aplicadas. A Figura 5.132 mostra, para os três tempos de alimentação utilizados, a eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas do efluente em função do carregamento orgânico volumétrico.

Conforme verificado no trabalho realizado por Kennedy et al. (1991), os quais utilizaram um ASBR para tratamento de água residuária sintética constituída de glicose, a análise da Figura 5.132 mostra que o tempo de enchimento passa a exercer maior influência sobre o desempenho do reator para maiores valores de carga orgânica volumétrica. Para o carregamento orgânico volumétrico de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o desempenho do reator é independente do tempo de alimentação utilizado. Para maiores valores de carga orgânica volumétrica, até 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o aumento da carga orgânica volumétrica resulta em comportamentos diferentes para o reator em função do tempo de enchimento utilizado. Para menores valores de tempo de alimentação, caso do período de alimentação de 2 horas, o aumento da carga orgânica volumétrica resulta em ligeiro aumento na eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada. Por sua vez, para a operação com maiores tempos de enchimento, caso do período de alimentação de 6 horas, o aumento da carga orgânica leva à uma ligeira queda no valor daquele parâmetro. Valores intermediários àqueles para o tempo de alimentação, como de 4 horas, resultam em desempenho semelhante do reator em função do aumento da carga orgânica até 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$. Ou seja, a utilização de diferentes tempos de alimentação, para cargas orgânicas até 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, não causaram variações significativas nos valores de eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada pelo reator (diferença de 2 % para o menor e maior tempo de alimentação utilizado), qualificando a flexibilidade do reator quanto à essa estratégia de operação e tornando esse modo de operação uma alternativa viável à batelada convencional já que, na maiorias das vezes, para reatores operados em escala plena, o tempo de alimentação passa a ser considerável em relação ao tempo total de ciclo.

FIGURA 5.132: Eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas do efluente em função da carga orgânica volumétrica aplicada para diferentes tempos de alimentação.

Entretanto, para maiores valores de carga orgânica volumétrica, a partir de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, o tempo de alimentação utilizado passou a exercer uma influência mais significativa sobre o desempenho do reator, sendo que menores tempos de enchimento, caso da batelada alimentada de 2 horas, levaram à maiores valores de eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada pelo reator. No entanto, para todos os tempos de alimentação estudados, foi verificado queda na eficiência do reator com o aumento da carga orgânica volumétrica até $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Esta observação comprova os resultados obtidos nos trabalhos já citados de Yan et al. (1992), Gavala et al. (1998), e Oztürk et al. (1993), os quais também trabalharam com soro de queijo e verificaram queda na eficiência de remoção de matéria orgânica pelo reator com o aumento da carga orgânica volumétrica.

Em geral, os resultados mostraram que, a partir da carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a operação com tempo de alimentação de 2 horas foi aquela que proporcionou os melhores resultados em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica para amostras filtradas do efluente. Uma observação interessante é que, na operação em batelada convencional (Subprojeto 1), o tempo no ciclo em que ocorreu a máxima concentração de ácidos voláteis totais foi justamente próximo de 2 horas. Ou seja, para uma mesma carga orgânica volumétrica, o tempo de alimentação ideal para

uma operação em batelada alimentada parece ser igual ou próximo daquele em que ocorre a maior geração de ácidos na batelada convencional. A análise da Figura 5.132 permite verificar claramente a menor sensibilidade à elevação da carga orgânica apresentada pela operação em batelada alimentada de 2 horas, em relação aos outros tempos de enchimento utilizados. Além disso, a operação do reator com tempo de alimentação de 2 horas também proporcionou menores valores de concentração de ácidos voláteis totais no efluente dos ciclos seguintes à aplicação das cargas de choque, comprovando a maior estabilidade e menor suscetibilidade do reator para aquele modo de operação em relação aos outros tempos de alimentação estudados. Estes resultados contradizem as hipóteses levantadas por Angenent e Dague (1995), e Bagley e Brodkorb (1999), os quais sugeriram que a utilização de um tempo de alimentação maior permitiria uma maior minimização dos efeitos negativos da aplicação de cargas de choque. Entretanto, com relação ao comportamento da concentração de ácidos ao longo do ciclo, os resultados obtidos confirmam aqueles verificados por Bagley e Brodkorb (1999) e Shizas e Bagley (2002), os quais observaram a minimização do acúmulo de ácidos ao longo do ciclo, especialmente o propiônico, com o aumento do tempo de alimentação.

A Tabela 5.22 apresenta os valores otimizados da suplementação de alcalinidade ao afluente para os três valores de carregamento orgânico volumétrico estudados no Subprojeto 2.

TABELA 5.22: Valores otimizados da suplementação de alcalinidade ao afluente para a operação com carga orgânica volumétrica de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.*

Variável	COV (gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$)		
	3,00	6,00	12,0
gNaHCO ₃ .gDQO _{alimentada}	0,10	0,25	0,25
C _{NaHCO₃} (mgNaHCO ₃ . l^{-1}) ^(a)	167	833	1667
AB (mgCaCO ₃ . l^{-1}) ^(b)	172 ± 18 ⁽³⁸⁾	643 ± 44 ⁽³⁰⁾	959 ± 95 ⁽²⁸⁾

* Entre parenteses o número de amostras consideradas para o cálculo da média.

^(a) Valor teórico da alcalinidade suplementada ao afluente, mgNaHCO₃. l^{-1} .

^(b) Média dos valores experimentais correspondentes, mgCaCO₃. l^{-1} .

A Tabela 5.22 mostra que, das três cargas orgânicas volumétricas aplicadas no Subprojeto 2, a operação com carga de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ foi aquela que possibilitou a suplementação de menor quantidade de alcalinizante ao

afluente, a qual foi de $167 \text{ mgNaHCO}_3.l^{-1}$, o que correspondeu, em valores experimentais, à cerca de $172 \text{ mgCaCO}_3.l^{-1}$ no afluente. Isto explica o fato da observação de baixos valores de pH ao longo do ciclo seguinte às cargas de choque, nos três tempos de alimentação utilizados, quando o reator foi operado sob aplicação de carga orgânica volumétrica de $3,00 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$. No entanto, como já apresentado, o reator recuperou-se rapidamente após tais cargas de choque, e a alcalinidade fornecida ao afluente foi suficiente para manter a estabilidade do reator durante toda sua operação sob carregamento orgânico volumétrico de $3,00 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$. Por sua vez, para cargas orgânicas maiores ($6,00$ e $12,0 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$), os valores de alcalinidade otimizados ao afluente tiveram de ser superiores àquele da primeira carga, o que era de se esperar, sendo necessário uma suplementação de alcalinidade ao afluente de 833 e $1667 \text{ mgNaHCO}_3.l^{-1}$, o que correspondeu à valores experimentais em torno de 643 e $959 \text{ mgCaCO}_3.l^{-1}$, para carregamentos orgânicos volumétricos de $6,00$ e $12,0 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$, respectivamente. No entanto, apesar da desvantagem do maior consumo de alcalinizante, o reator apresentou-se mais robusto nas operações sob cargas de $6,00$ e $12,0 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$, uma vez que os dados de perfis obtidos durante operação do reator nestas cargas mostraram que, ao contrário da operação sob carga de $3,00 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$, não houve queda significativa do pH ao longo do ciclo seguinte às cargas de choque. Estes resultados confirmam as afirmações realizadas por García et al. (1989) e Glaly et al. (2000), os quais citam que a principal limitação operacional de reatores de alta taxa tratando soro de queijo está relacionada à quantidade de alcalinizante suplementada ao afluente.

Em geral, a suplementação de alcalinidade otimizada em todas as condições pode ser considerada satisfatória, uma vez que a maioria dos trabalhos relacionados a tratamento de soro encontrados na literatura apresentam valores de alcalinidade no afluente superiores àqueles otimizados neste trabalho, para valores próximos de carga orgânica volumétrica. Mockaitis et al. (2006), utilizando um ASBR com agitação mecânica e biomassa granular, e tratando o mesmo tipo de soro de queijo reconstituído utilizado neste trabalho, conseguiram uma suplementação de alcalinidade ao afluente de $310 \text{ mgCaCO}_3.l^{-1}$, para operação sob carga orgânica volumétrica de $2,50 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$. Ratusznei et al. (2003) estudaram o tratamento de soro de queijo em um ASBBR agitado mecanicamente, sendo necessário uma suplementação de alcalinidade ao afluente

de no mínimo $227 \text{ mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$, para carga orgânica volumétrica de $3,10 \text{ gDQO}.\text{l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Damasceno (2004) operou um ASBBR com agitação mecânica para tratamento do mesmo substrato do trabalho anterior, otimizando a alcalinidade fornecida ao afluente em 280, 553, 1103, 1689 $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$, para carregamentos orgânicos volumétricos de 2,00, 4,00, 8,00 e 12,0 $\text{gDQO}.\text{l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Vale ressaltar que os valores de alcalinidade do afluente otimizados neste trabalho foram obtidos especificamente para o tipo de sistema proposto e nas condições já apresentadas, ou seja, se por ventura, futuramente, houver o interesse na construção de um sistema anaeróbio para tratamento de soro de queijo, deve-se levar em consideração que os valores de alcalinidade otimizados dependem das características de cada sistema utilizado, devendo-se levar em consideração a configuração proposta, o tipo e a origem do inóculo, e as condições ambientais e operacionais os quais o reator será submetido.

5.10. Exames Microbiológicos

Ao final de cada condição operacional foram retiradas, de diferentes estágios ao longo da altura do reator, amostras de biopartículas de espuma de poliuretano com a biomassa imobilizada para a realização dos exames microbiológicos. Em virtude dos resultados terem mostrado semelhança nas morfologias microbianas identificadas nas diferentes condições estudadas, decidiu-se por apresentar os resultados dos exames sem discriminação das referidas condições. As Figuras 5.133 a 5.139 ilustram as morfologias microbianas identificadas durante os exames microbiológicos de microscopia óptica comum e de contraste de fase por fluorescência.

FIGURA 5.133: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes a bacilos, bacilos curvos e víbrios.

FIGURA 5.134: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes a bacilos e bacilos curvos.

FIGURA 5.135: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes a bacilos, bacilos curvos e estreptococos.

FIGURA 5.136: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes a bacilos e à *Methanosaeta* sp.

FIGURA 5.137: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica comum: células semelhantes a *Methanosaeta* sp.

FIGURA 5.138: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica de contraste de fase por fluorescência: células semelhantes a bacilos fluorescentes.

FIGURA 5.139: Morfologias microbianas observadas sob microscopia óptica de contraste de fase por fluorescência: células semelhantes a cocos e víbrios fluorescentes.

A análise das Figuras 5.133 a 5.139 mostra que as principais morfologias presentes na biomassa do reator foram células semelhantes a bacilos, bacilos curvos, víbrios, e morfologias semelhantes ao gênero *Methanosaeta* sp, com predominância de bacilos e bacilos curvos. A maior incidência de bacilos, provavelmente microrganismos formadores de ácidos, deve-se provavelmente à elevada biodegradabilidade e alta concentração de matéria orgânica apresentada pelo substrato utilizado. O ganho de energia nas reações bioquímicas promovidas por estes microrganismos é maior em relação àquele dos microrganismos metanogênicos, havendo assim uma maior disponibilidade de energia para síntese de biomassa, o que explicaria a sua maior ocorrência ao longo do experimento. Quanto à segunda maior incidência, a qual foi de bacilos curvos, esta morfologia é semelhante ao gênero *Desulfovibrio*, bactérias redutoras de sulfato, que na ausência de sulfato fermentam substrato primário formando ácidos voláteis. Estes microrganismos não oxidam acetato, sendo que suas fontes de carbono e energia são obtidas por meio da oxidação do lactato, piruvato, etanol e outros ácidos graxos. Quanto à ocorrência de bacilos e víbrios fluorescentes hidrogenotróficos, estes foram encontrados em menor quantidade.

Apesar de ambos os gêneros *Methanosarcina* sp e *Methanosaeta* sp utilizarem o acetato, foi verificado maior predominância deste último gênero ao longo do experimento. Resultados semelhantes foram relatados nos trabalhos de Varesche et al. (1997), Ribeiro (2001) e Lima (2001), em que os autores afirmam que fatores físicos como conformação da espuma e porosidade podem ter contribuído para maior incidência do gênero *Methanosaeta* sp. Além disso, o gênero *Methanosaeta* sp, ao contrário do gênero *Methanosarcina* sp, apresenta alta afinidade por acetato, e considerando que as concentrações de acetato ao longo do experimento foram baixas, principalmente durante a operação do reator em batelada alimentada, isto explicaria o fato da maior predominância do gênero *Methanosaeta* sp em relação ao gênero *Methanosarcina* sp.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A análise dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do Subprojeto 1, em que o reator operou em batelada convencional, permitiu o estabelecimento das seguintes conclusões:

- O aumento da carga orgânica volumétrica resultou em queda nos valores de eficiência de remoção de matéria orgânica. Para cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, os valores médios de eficiência de remoção de matéria orgânica foram de 96, 83 e 78 %, para amostras filtradas, e 91, 77 e 66 %, para amostras não filtradas do efluente, respectivamente.
- Os resultados mostraram aumento da concentração de ácidos voláteis totais no efluente a medida em que aumentou-se o carregamento orgânico volumétrico. Para cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, os valores médios de concentração de ácidos voláteis totais no efluente foram de 34, 219 e 512 mgHAc. l^{-1} , respectivamente. No entanto, não houve tendência de acúmulo de ácidos com o tempo de operação do reator, sendo que maiores concentrações de ácidos ocorreram devido ao tempo de ciclo que foi insuficiente para um maior consumo dos ácidos formados nas condições de maior carga orgânica volumétrica.
- A suplementação de alcalinidade ao afluente pôde ser otimizada em 25, 50 e 50 % (0,25, 0,50 e 0,50 gNaHCO₃.gDQO_{alimentada}⁻¹), para cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, respectivamente, sendo aquela suficiente para tamponar o meio e manter a estabilidade do reator em todas as condições.
- Apesar da queda nos valores de eficiência de remoção de matéria orgânica, o aumento da carga orgânica volumétrica resultou em aumento nos valores de carga orgânica efetivamente removida, os quais

foram de 2,85, 4,95 e 9,32 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para amostras filtradas do efluente, e 2,70, 4,59 e 7,97 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, para amostras não filtradas do efluente, para cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Ou seja, embora o aumento da carga orgânica volumétrica tenha causado queda na qualidade do efluente, em termos quantitativos, aquela resultou em aumento da quantidade de matéria orgânica removida pelo reator. Este resultado foi ratificado pela produção de metano, que também aumentou com o aumento da carga orgânica volumétrica.

- Quanto às cargas de choque aplicadas, os perfis realizados no ciclo seguinte à sua aplicação apresentaram, em geral, a mesma tendência e comportamento daqueles realizados anteriormente ao choque, concluindo-se que, para todas as condições operacionais do Subprojeto 1, o aumento repentino da carga orgânica volumétrica não causou inibição à biomassa, fato esse que pode ser comprovado pela manutenção de valores de eficiências de remoção de matéria orgânica, concentrações de ácidos voláteis totais e alcalinidade a bicarbonato no efluente, nos ciclos seguintes à aplicação da carga de choque, próximos àqueles anteriores ao choque.
- Os ensaios extras realizados ao final do Subprojeto 1 mostraram que a descarga parcial do reator, ou seja, a manutenção de um volume residual no interior do reator, ao final de cada ciclo, colaborou para minimizar a formação de material polimérico extracelular.

Com relação ao Subprojeto 2, em que o reator operou em batelada alimentada, sob diferentes carregamentos orgânicos volumétricos, as seguintes conclusões foram estabelecidas:

- Os resultados mostraram que o tempo de alimentação passou a exercer maior influência sobre o desempenho do reator para maiores valores de carga orgânica volumétrica. Para valores de carga orgânica volumétrica até 6,00 $\text{gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$, a utilização de diferentes tempos de alimentação não causou variações significativas nos valores de eficiência de

remoção de matéria orgânica filtrada pelo reator (diferença máxima de 2 % para o menor e maior tempo de alimentação, na carga de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$). Para maiores valores de carga orgânica volumétrica, a partir de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, o tempo de alimentação utilizado passou a exercer uma influência mais significativa sobre o desempenho do reator, sendo que menores tempos de enchimento levaram a maiores valores de eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada pelo reator.

- Para todos os tempos de alimentação estudados, foi verificado queda na eficiência do reator com o aumento da carga orgânica volumétrica. Entretanto, aquela queda foi menos significativa para menores tempos de alimentação, ou seja, a operação em batelada alimentada de 2 horas apresentou menor sensibilidade à elevação da carga orgânica, em relação à batelada alimentada de 4 horas, seguida da batelada alimentada de 6 horas.
- A operação do reator com tempo de alimentação de 2 horas proporcionou os menores valores de concentração de ácidos voláteis totais no efluente dos ciclos seguintes à aplicação das cargas de choque de 24 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$, comprovando a maior estabilidade e menor suscetibilidade do reator para aquele modo de operação em relação aos outros tempos de alimentação estudados. Por sua vez, com relação à minimização do acúmulo de ácidos ao longo do ciclo, esta foi mais favorecida pela operação com maiores tempos de alimentação, caso da batelada alimentada de 6 horas.
- Ao contrário do que foi observado durante a execução do Subprojeto 1, os perfis de ácidos voláteis intermediários realizados no Subprojeto 2 mostraram a ausência de ácido acético e propiônico ao longo do ciclo, indicando uma possível mudança na rota de formação e degradação de ácidos voláteis proporcionada pela utilização de maiores tempos de alimentação, em relação à operação em batelada convencional.
- A suplementação de alcalinidade ao afluente pôde ser otimizada em 10, 25 e 25 % (0,10, 0,25 e 0,25 gNaHCO₃.gDQO_{alimentada}⁻¹), para cargas orgânicas volumétricas de 3,00, 6,00 e 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$,

respectivamente, sendo aquela considerada satisfatória em relação aos valores de suplementação de alcalinidade ao afluente encontrados na maioria dos trabalhos da literatura envolvendo tratamento de soro de queijo, os quais apresentaram-se superiores aos otimizados neste trabalho.

- Os exames microbiológicos permitiram concluir que o aumento da carga orgânica volumétrica e do tempo de alimentação não provocou mudanças significativas na fauna microbiana, que se mostrou diversificada, apresentando morfologias como bacilos, bacilos curvos e vibrios, além do gênero *Methanosaeta* sp.

A partir destas conclusões e da experiência acumulada durante a realização da etapa experimental deste trabalho, sugere-se, a seguir, a continuidade de pesquisas enfocando os seguintes aspectos:

- Avaliação da influência do tempo de alimentação e da carga orgânica volumétrica em ASBBR em escala piloto no tratamento de soro de queijo industrial.
- Estudo da influência da adição de micronutrientes na degradação de soro de queijo em ASBBR sob diferentes cargas orgânicas volumétricas.
- Estudo da influência da manutenção de volume residual no interior do reator ao final de cada ciclo, na degradação de soro de queijo em ASBBR sob diferentes cargas orgânicas volumétricas.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGENENT, L. T.; DAGUE, R. R. (1995). A laboratory-scale comparison of the UASB and ASBR processes. In: *50th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings*, Ann Arbor Press, Chelsea-Michigan, p.365-77.

ANGENENT, L. T.; SUNG, S.; RASKIN, L. (2001). Mixing intensity in anaerobic sequencing batch reactors affects reactor performance and microbial community structure. In: *Proceedings of the 9th World Congress on Anaerobic Digestion*, Antwerpen, Belgium, p.267-74.

BAGLEY, D. M.; BRODKORB, T. S. (1999). Modeling microbial kinetic in an anaerobic sequencing batch reactor – model development and experimental validation. *Water Environment Research*, v.71, p.1320-332.

BANIK, G. C.; ELLIS, T. G.; DAGUE, R. R. (1997). Structure and methanogenic activity of granules from an ASBR treating dilute wastewater at low temperatures. *Water Science and Technology*, v.36, p.149-56.

BHATTI, Z. I.; FURUKAMA, K.; FUJITA, M. (1993). Treatment performance and microbial structure of a granular consortium handling methanolic waste. *Journal of Fermentation Bioengineering*, v.76, p.218-23

BERMÚDEZ, J. J.; JIMENO, A.; CÁNOVAS-DÍAZ, M.; MANJÓN, A.; IBORRA, J. L. (1988). Stability of an anaerobic percolating filter during successive feed changes, and organic and hydraulic overloadings. *Process Biochemistry*, p.178-81.

- BEZERRA JUNIOR, R. A. (2004). Estabilidade e eficiência de um reator anaeróbio de leito fixo com agitação operado em batelada seqüencial em função da diluição inicial de esgoto sintético. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 134p.
- BODIK, I; HERDOVA, B.; DRTIL, M. (2001). The use of upflow anaerobic filter and AnSBR for wastewater treatment at ambient temperature. *Water Research*, v.36, p.1084-88.
- BOENING, P. H.; LARSEN, V. F. (1982). Anaerobic fluidized bed whey treatment. *Biotechnonology Bioenginnering*, v.24, p.2539-56.
- BORGES, A. C. (2003). Influência da estratégia de alimentação no desempenho do reator anaeróbio em batelada seqüencial contendo biomassa imobilizada. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 184p.
- BORJA, R.; BANKS, C. J. (1995). Response of an anaerobic fluidized bed reactor treating and pH shocks. *Journal of Biotechnology*, v.39, p.251-59.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. (1993). Manual de tratamento de águas residuárias industriais. CETESB. São Paulo, 764p.
- BRITO, A. G.; RODRIGUES, A. C.; MELO, F. L. (1997). Feasibility of a pulsed sequencing batch reactor with anaerobic aggregated biomass for the treatment of low strength wastewaters. *Water Science and Technology*, v.35, p.193-98.
- CAMARGO, E. F. M.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; ZAIAT, M.; BORZANI, W. (2001). Influence of the liquid superficial velocity on the performance of an anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass. In: *Proceedings of the 9th World Congress on Anaerobic Digestion*, Antuérpia-Bélgica, Part 2, p.89-91.

CAMARGO, E. F. M.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; ZAIAT, M.; BORZANI, W. (2002). Treatment of low-strength wastewater using immobilized biomass in a sequencing batch external loop reactor: Influence of the medium superficial velocity on the stability and performance. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v.19, n.3, p.267-75.

CHANG, D.; HUR, J. M.; CHUNG, T. H. (1994). Digestion of municipal sludge by anaerobic sequencing batch reactor. *Water Science and Technology*, v.30, p.161-70.

CUBAS, S. A.; FORESTI, E.; RODRIGUES, J. A. D.; RATUSZNEI, S. M.; ZAIAT, M. (2001). Influence of the liquid-phase mass transfer on the performance of a stirred anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass. In: *Proceedings of the 9th World Congress on Anaerobic Digestion*, Part 1, p.847-52.

DAGUE, R. R.; HABBEN, C. E.; PIDAPARTI, S. R. (1992). Initial studies on the anaerobic sequencing batch reactor. *Water Science and Technology*, v.26, p.2429-32.

DAGUE, R. R.; BANIK, G. C.; ELLIS, G. C. (1998). Anaerobic sequencing batch reactor treatment of dilute wastewater at psychrophilic temperatures. *Water Environment Research*, v.70, p.155-60.

DAMASCENO, L. H. S. (2004). Tratamento de soro de queijo em ASBR: Influência da estratégia de alimentação. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 218p.

DAMASCENO, L. H. S.; RODRIGUES, J. A. D.; RATUSZNEI, S. M.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. (2004). Análise da interação do tempo de enchimento e carregamento orgânico em um ASBBR no tratamento de soro de queijo. In: *III Seminário do Projeto Temático: “Desenvolvimento, Análise, Aprimoramento e Otimização de Reatores Anaeróbios Para Tratamento de Águas Residuárias”*, São Caetano do Sul, p.174-83.

DEL NERY, V. (1987). Utilização de lodo anaeróbio imobilizado em gel no estudo de partida de reatores de fluxo ascendente com manta de lodo. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T. T. (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. *Process Biochemistry*, p.1-13.

DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. (1961). Volatile acids by direct titration. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v.33, n.4, p.356-65.

DROSTE, R. L.; MASSÉ, D. I. (1995). Anaerobic treatment in sequencing batch reactors. In: *Proceedings of the International Symposium on Technological Transfer*, Salvador-BA, Brasil, p.353-63.

DUGBA, P. N.; ZHANG, R. H.; RUMSEY, T. R.; ELLIS, T. G. (1999). Computer simulation of a two-stage anaerobic sequencing batch reactor system for animal wastewater treatment. *Transactions of the ASAE*, v.42, p.471-77.

ERGÜDER, T. H.; TEZEL, U.; GÜVEN, E.; DEMIRER, G. N. (2000). Anaerobic biotransformation and methane generation potencial of cheese whey in a batch and UASB reactors. *Waste Management*, v.21, p.643-50.

FERNANDES, L.; KENNEDY, K. J.; NING, Z. (1993). Dynamic modeling of substrate degradation in sequencing batch anaerobic reactors (SBR). *Water Research*, v.27, p.1619-28.

GARCÍA, P. A.; RICO, J. L.; FDZ-POLANCO, F. (1989). *Aliment. Equipos Technology*, v.8, n.5, p.103-10.

GARCÍA, P. A.; RICO, J. L.; FDZ-POLANCO, F. (1991). Anaerobic treatment of cheese whey in a two-phase UASB reactor. *Environmental Technology*, v.12, p.355-62.

- GAVALA, H. N.; KOPSINIS, H.; SKIADAS, I. V.; STAMATELATOU, K.; LYBERATOS, G. (1998). Treatment of dairy wastewater using an upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.73, p.59-63.
- GHALY, A. E.; RAMKUMAR, D. R.; SADAKA, S. S.; ROCHON, J. D. (2000). Effect of reseedling and pH control on the performance of a two-stage mesophilic anaerobic digester operating on acid cheese whey. *Canadian Agricultural Engineering*, v.42, n.4, p.173-83.
- GRADY, C. P. L.; LIM, H. C. (1980). Biological wastewater treatment. New York, NY: Marcel Dekker Inc.
- HAAST, J.; BRITZ, T. J.; NOVELLO, J. C.; VERWEY, E. W. (1985). Anaerobic digestion of deproteinated cheese whey. *Journal of Dairy Research*, v.52, p.457-67.
- HAAST, J. D.; BRITZ, T. J.; NOVELLO, J. C. (1985). Effect of different neutralizing treatments on the efficiency of an anaerobic digester fed with deproteinated cheese-whey. *Journal of Dairy Research*, v.53, p.467-76.
- HICKEY, R. F.; WU, W. M.; VEIGA, M. C.; JONES, R. (1991). Start-up, operation, monitoring and control of high-rate anaerobic treatment systems. *Water Science and Technology*, v.24, n.8, p.207-55.
- HILL, D. T.; COBB, S. A.; BOLTE, J. P. (1987). Using volatile fatty acid relationship to predict anaerobic digester failure. *Transactions of the ASAE*, v.30, n.2, p.496-501.
- JONES, S. B.; ROBBINS, C. W.; HANSEN, C. L. (1993). Sodic soils reclamation using cottage cheese (acid) whey. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, v.7, p.51-61.
- KELLY, C. R.; SWITZENBAUM, M. S. (1984). Anaerobic treatment: Temperature and nutrient effects. *Agricultural Waste*, v.10, p.135-54.

- KENNEDY, K. J.; SANCHEZ, W. A.; HAMODA, M. F.; DROSTE, R. L. (1991). Performance of anaerobic sludge blanket sequencing batch reactors. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v.63, p. 75-83.
- KOSARIC, N.; ASHER, Y. (1982). Cheese whey and its utilization. *Conservation & Recycling*, v.5, n.1, p.23-32.
- LIMA, C. A. A. (2001). Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) – Escala piloto. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- LO, K. V.; LIAO, P. H. (1986). Digestion of cheese whey with anaerobic rotating biological contact reactor. *Biomass*, v.10, p.243-52.
- McCARTY, P. L. (1964). Anaerobic waste treatment fundamentals, Part 3: Toxic materials and their control. *Public Works*, v.95, n.11, p.91-4.
- MALASPINA, F.; STANTE, L.; CELLAMARE, C. M.; TILCHE, A. (1995). Cheese whey and cheese factory wastewater treatment with a biological anaerobic-aerobic process. *Water Science and Technology*, v.32, n.12, p.59-72.
- MALASPINA, F.; CELLAMARE, C. M.; STANTE, L.; TILCHE, A. (1996). Anaerobic treatment of cheese whey with a downflow-upflow hybrid reactor. *Bioresource Technology*, v.55, p.131-9.
- MARSHALL, D.; TIMBERS, G. E. (1982). Development and testing of a prototipo fixed-film anaerobic digester. Paper n.82-6519. Winter meeting of ASAE. St. Joseph, MI.
- MARTINS, S. D.; GUYOMAR, P. P.; RIBEIRO, E. R.; XAVIER, A. M. F. (2000). Tratamento anaeróbio em duas etapas do soro de queijo empregando-se duas configurações de reatores UASB. In: *Latin-American Workshop and Seminar On Anaerobic Digestion*, Recife, UFPE, v.2, p.9-12.

MASSÉ, D. I.; PATNI, N. K.; DROSTE, R. L.; KENNEDY, K. J. (1996). Operation strategies for psychrophilic anaerobic digestion of manure slurry in sequencing batch reactors. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v.23, p.1285-94.

MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L.; KENNEDY, K. J.; PATNI, N. K.; MUNROE, J. A. (1997). Potential for the psychrophilic anaerobic treatment of swine manure using a sequencing batch reactor. *Canadian Agricultural Engineering*, v.39, p.25-34.

MASSÉ, D. I.; MASSE, L. (2000). Treatment of slaughterhouse wastewater in anaerobic sequencing batch reactors. *Canadian Agricultural Engineering*, v.42, p.131-37.

MAWSON, A. J. (1994). Bioconversions for whey utilization and waste abatement. *Bioresource Technology*, v.47, p.195-203.

MÉNDEZ, R.; BLÁZQUEZ, R.; LORENZO, F.; LEMA, J. M. (1989). Anaerobic treatment of cheese whey: start-up and operation. *Water Science and Technology*, v.21, p.1857-60.

MOCKAITIS, G.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. (2004). Eficiência e estabilidade do tratamento de soro de leite em ASBR contendo biomassa granulada submetido a diferentes estratégias de alimentação e otimização da suplementação de alcalinidade. *Anais do III Seminário do Projeto Temático: “Desenvolvimento, Análise, Aprimoramento e Otimização de Reatores Anaeróbio Para Tratamento de Águas Residuárias”*, São Caetano do Sul, p.134-43.

MOCKAITIS, G.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. (2006). Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR): effects of organic loading and supplemented alkalinity. *Journal of Environmental Management*, v. 79, p.198-206.

NACHAIYASIT, S.; STUCKEY, D. C. (1997). The effect of shock loads on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR). 2. Step and transient hydraulic shocks at constant feed strength. *Water Research*, v.31, n.11, p.2747-54.

NDON, U. J.; DAGUE, R. R. (1997) Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic sequencing batch reactor treatment of low-strength wastewater. *Water Research*, v.31, p.2455-66.

NISHIO, N.; SILVEIRA, R. G.; HAMATO, K.; NAGAI, S. (1993). High rate methane production in UASB reactor fed with methanol and acetate. *Journal of Fermentation Bioengineering*, v.75, p.309-13.

OLIVEIRA, J. S. (1986). Queijos – Fundamentos Tecnológicos. Editora da UNICAMP. Campinas, 146p.

OMIL, F.; GARRIDO, J. M.; ARROJO, B.; MÉNDEZ, R. (2003). Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. *Water Research*, v.37, p.4099-108.

ORRA, A. A.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; FORESTI, E.; ZAIAT, M. (2003). Effects of feeding strategies on the performance of an anaerobic discontinuous reactor containing immobilized biomass with circulation system for liquid-phase mixing. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Biofilm Systems*, Cidade do Cabo-África do Sul (CD-ROM).

ÖZTURK, I.; EROGLU, V.; UBAY, G.; DEMIR, I. (1993). Hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor (HUASBR) treatment of dairy effluents. *Water Science and Technology*, v.28, n.2, p.77-85.

PFEFFER, J. T.; LEITER, M.; WORLAND, J. R. (1967). Population dynamics in anaerobic digestion. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v.39, p.1305-22.

RAMOS, A. C. T.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; ZAIAT, M. (2003a).

Mass transfer improvement of a fixed-bed anaerobic sequencing batch reactor with liquid phase circulation. *Journal of Science and Technology of the Americas - INTERCIENCIA*, v.28, n.4, p.214-19.

RAMOS, A. C. T.; CANTO, C. S. A.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; ZAIAT, M. (2003b). Influence of the mass transfer on the performance of a fixed-bed anaerobic sequencing batch reactor with liquid-phase circulation. In: *Anais do XIV Simpósio Nacional de Fermentações - SINAFERM*, Florianópolis-SC.

RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; CAMARGO, E. F. M.; ZAIAT, M.; BORZANI, W. (2000). FEASIBILITY OF A STIRRED ANAEROBIC SEQUENCING BATCH REACTOR CONTAINING IMMOBILIZED BIOMASS FOR WASTEWATER TREATMENT. *BIORESOURCE TECHNOLOGY*, V.75, P.127-32.

RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; CAMARGO, E. F. M.; ZAIAT, M.; BORZANI, W. (2001). Influence of agitation rate on the performance of a stirred anaerobic sequencing batch reactor containing immobilized biomass. *Water Science and Technology*, v.44, n.4, p.305-412.

RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D.; ZAIAT, M. (2003). OPERATING FEASIBILITY OF ANAEROBIC WHEY TREATMENT IN A STIRRED SEQUENCING BATCH REACTOR CONTAINING IMMOBILIZED BIOMASS. *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY*, V.48, P.179-86.

REYES III, F. L.; DAGUE, R. R. (1995). Effects of initial seed concentration on the startup of anaerobic sequencing batch reactor. In: *50th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings*. Ann Arbor Press Inc., Chelsea, p.449-59.

RIBEIRO, R. (2001). Influência do tipo de substrato na dinâmica de formação do biofilme em matrizes de espuma de poliuretano. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. (1986). Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v.58, p.406-11.

RUIZ, C.; TORRIJOS, M.; SOUSBIE, P.; LEBRATO MARTINEZ, J. L.; MOLETTA, R.; DELGENÈS, J. P. (2001). Treatment of winery wastewater by an anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). In: *Proceedings of 9th World Congress on Anaerobic Digestion*, Antuérpia, p.347-53.

SCHMIT, C. G.; DAGUE, R. R. (1993). Anaerobic sequencing batch reactor treatment of swine wastes at 20 °C, 25 °C, and 35 °C. In: *48th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings*, Chelsea, p.541-49.

SCOTT, R.; ROBINSON, R. K.; WILBEY, R. A. (1998). *Cheesemaking Practice*. 3^a. Ed., Aspen Publishers. Gaithersburg, 449p.

SHIZAS, I.; BAGLEY, D. M. (2002). Improving anaerobic sequencing batch reactor performance by modifying operational parameters. *Water Research*, v.36, p.363-67.

SIMAN, R. R. (2003). Reator anaeróbio em batelada seqüencial contendo biomassa imobilizada submetido a aumento de carga orgânica tratando água residuária sintética. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 164p.

SPEECE, R. E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Archae Press, New York.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (1995). APHA, AWAA, WPCF. Washington D.C., American Public Health Association. 19th edition.

- STREICHER, C.; MILANDE, N.; CARPEVILLE, B.; ROQUES, H. (1990). Improvement of the anaerobic digestion of diluted whey in a fluidized bed by nutrient addition. *Environmental Technology*, v.12, p.333-41.
- SUNG, S.; DAGUE, R. R. (1992). Fundamental principles of the anaerobic sequencing batch reactor process. In: *Proceedings 47th Industrial Waste Conference Purdue University*, West Lafayette, IN.
- SUNG, S.; DAGUE, R. R. (1995). Laboratory studies on the anaerobic sequencing batch reactor. *Water Environmental Research*, v.67, p.294-301.
- SUTHAKER, S.; POLPRASERT, C.; DROSTE, R. L. (1991). Sequencing batch anaerobic reactors for treatment of a high-strength organic wastewater. *Water Science and Technology*, v.23, p.1249-57.
- SUTHERLAND, I. W. (1985). Biosynthesis and composition of gran-negative bacteria extracellular and wall polysaccharides. *Ann. Rev. Micr.*, v.39, p.243-70.
- TIMUR, H.; ÖSTURK, I. (1999). Anaerobic sequencing batch reactor treatment of landfill leachate. *Water Research*, v.33, p.3225-30.
- VARESCHE, M. B.; ZAIAT, M.; VIEIRA, L. G. T.; VAZOLLER, R. F.; FORESTI, E. (1997). Microbial colonization of polyurethane foam matrices in horizontal-flow anaerobic immobilized-sludge reactor. *Applied Microbiology Biotechnology*, v.48, p.534-38.
- XING, J.; CRIDDLE, C.; HICKEY, R. (1997). Effects of a long-term periodic substrate perturbation on an anaerobic community. *Water Research*, v.31, n.9, p.2195-204.
- WELPER, L. L.; SUNG, S.; DAGUE, R. R. (1997). Laboratory studies on the temperature-phase ASBR system. *Water Science and Technology*, v.36, p.295-302.
- WIRTZ, R. A.; DAGUE, R. R. (1996). Enhancement of granulation and start-up in the anaerobic sequencing batch reactor. *Water Environmental Research*, v.68, p.883-92.

- WIRTZ, R. A.; DAGUE, R. R. (1997). Laboratory studies on enhancement of granulation in the anaerobic sequencing batch reactor. *Water Science and Technology*, v.36, p.279-86.
- YAN, J. Q.; LO, K. V.; PINDER, K. L. (1992). Instability caused by high strength of cheese whey in a UASB reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, v.41, p.700-6.
- YILMAZER, G.; YENIGÜN, O. (1999). Two-phase anaerobic treatment of cheese whey. *Water Science and Technology*, v.40, n.1, p.289-95.
- ZAIAT, M.; CABRAL, A. K. A.; FORESTI, E. (1994). Horizontal-flow anaerobic immobilized sludge reactor for wastewater treatment: Conception and performance evaluation (in portuguese). *Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Engenharia Química*, v.11, p.33-42.
- ZAIAT, M.; RODRIGUES, J. A. D.; RATUSZNEI, S. M.; CAMARGO, E. F. M.; BORZANI, W. (2001). Anaerobic sequencing batch reactors for wastewater treatment: A developing technology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.55, n.1, p.29-35.
- ZELLNER, G.; VOGEL, P.; KNEIFEL, H.; WINTER, J. (1987). Anaerobic digestion of whey and permeate with suspended and immobilized complex and defined consortia. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.27, p.306-14.
- ZHANG, R.; YIN, Y.; SUNG, S.; DAGUE, R. R. (1996). Anaerobic treatment of swine waste by the anaerobic sequencing batch reactor. In: 51st *Purdue Industrial Waste Conference Proceedings*. Ann Arbor Press: p.315-21.

APÊNDICE I – Variáveis Monitoradas do Afluente do Reator

I.1. Operação em Batelada com Carga Orgânica Volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA I.1: Variáveis para condição operacional em que $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Meio nº	$\text{C}_{\text{SAFL}}^{(a)}$	$\text{NaHCO}_3/\text{DQO}^{(b)}$	pH	$\text{AP}^{(c)}$	$\text{AI}^{(d)}$	$\text{AT}^{(e)}$	$\text{AB}^{(f)}$	$\text{AVT}^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	1	939,8	1,00	-	-	-	-	-	-
	2	987,3	1,00	8,79	618,03	61,04	679,07	639,05	56,36
	5	972,6	1,00	8,38	503,58	137,34	640,92	611,82	40,99
	7	985,1	1,00	8,45	433,92	135,60	569,52	541,97	38,80
	9	996,8	1,00	8,43	420,36	142,38	562,74	531,56	43,92
	10	965,3	1,00	-	-	-	-	-	-
	11	983,4	1,00	-	-	-	-	-	-
	13	987,7	0,50	8,32	335,50	97,60	433,10	405,55	38,80
	14	996,7	0,50	-	-	-	-	-	-
	15	966,3	0,25	8,23	250,10	79,30	329,40	301,85	38,80
	16	1010,6	0,25	-	-	-	-	-	-
	17	994,8	0,25	-	-	-	-	-	-
	19	1008,6	0,25	8,15	153,19	78,07	231,26	195,83	49,90
	20	998,3	0,25	8,13	160,07	73,65	233,72	204,32	41,41
	21	999,8	0,25	8,57	170,38	54,01	224,39	192,64	44,71
	22	990,6	0,25	8,05	137,48	58,92	196,40	169,58	37,78
	23	988,2	0,25	8,40	139,44	71,20	210,64	170,20	56,96
	25	980,6	0,25	8,05	138,40	84,77	223,17	189,12	47,95
	26	989,9	0,25	8,24	129,40	54,32	183,73	150,23	47,17
	27	981,9	0,25	8,00	126,29	88,58	214,87	179,95	49,18
	28	1020,3	0,25	8,53	147,56	74,20	221,76	188,53	46,80
	29	982,2	0,25	8,19	140,00	77,84	217,84	185,54	45,49
	32	991,3	0,25	7,93	139,72	68,32	208,04	173,66	48,42
Carga de Choque	33	2019,8	0,25	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	34	1021,3	0,25	-	-	-	-	-	-

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO.l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA I.2: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
O	MEIO N°				
Antes da Carga de Choque	7	1446	886	50	42
	10	1806	1306	46	42
	14	1562	1194	54	46
	16	1342	1096	56	34
	20	1346	1134	40	14
	22	1290	1086	32	18
	26	1306	1122	32	28
	28	1346	1160	16	14
	32	1312	1082	70	34
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.3: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	$NTK^{(c)}$
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	29	15,6	1,79	17,4
Carga de Choque	33	34,2	3,55	37,8
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.2. Operação em Batelada com COV de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV_{CC} de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

TABELA I.4: Variáveis para condição operacional em que COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV_{CC} = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio nº	C _{SAFL} ^(a)	NaHCO ₃ /DQO ^(b)	pH	AP ^(c)	AI ^(d)	AT ^(e)	AB ^(f)	AVT ^(g)
Antes da Carga de Choque	1	1991,7	1,00	-					
	2	1996,3	1,00	8,35	875,55	390,00	1265,55	1213,07	73,92
	5	1984,1	1,00	8,26	737,21	384,15	1121,35	1067,31	76,11
	6	1970,8	1,00	8,16	852,55	481,44	1333,99	1284,50	69,71
	8	1989,9	1,00	8,08	720,15	546,64	1266,79	1208,20	82,52
	9	2012,4	1,00	8,08	801,40	475,42	1276,82	1219,43	80,82
	12	2015,1	0,50	8,22	375,60	234,75	610,35	563,01	66,68
	13	1996,9	0,50	8,30	494,34	212,52	706,86	654,05	74,38
	14	1996,5	0,50	8,19	478,63	198,66	677,29	626,34	71,76
	15	2024,0	0,25	-	-	-	-	-	-
	16	1992,6	0,25	8,36	236,54	147,84	384,38	338,73	64,31
	18	1994,6	0,25	8,04	245,24	133,51	378,75	326,01	74,28
	19	1995,6	0,25	8,09	232,64	118,04	350,68	298,52	73,46
	20	2020,8	0,25	8,00	240,66	126,63	367,29	315,82	72,50
	24	1993,8	0,25	7,60	223,20	138,94	362,14	287,85	104,64
	25	1989,8	0,25	7,63	233,80	139,50	373,30	297,43	106,86
	28	2010,8	0,50	7,60	445,84	199,76	645,61	568,53	108,56
	29	1989,9	0,50	7,69	456,44	195,30	651,74	577,45	104,64
	30	1995,4	0,50	7,84	505,06	208,95	714,01	635,62	110,41
	31	1987,9	0,50	7,76	445,36	250,74	696,10	617,08	111,30
	32	1996,8	0,50	7,82	444,17	238,80	682,97	605,39	109,26
	33	1994,7	1,00	8,21	913,41	333,72	1247,13	1157,27	126,56
	34	1988,9	1,00	7,94	894,90	430,44	1325,34	1235,75	126,18
	36	1996,5	1,00	7,89	915,80	405,96	1321,76	1237,86	118,17
	37	1991,1	1,00	8,05	915,20	348,92	1264,12	1185,90	110,17
	38	1997,9	1,00	8,00	908,34	359,22	1267,55	1186,92	113,56
	39	2021,5	1,00	8,01	920,92	362,65	1283,57	1189,34	132,71
	40	1989,7	1,00	8,09	923,78	343,20	1266,98	1182,65	118,78
	42	2020,8	1,00	7,86	849,77	385,45	1235,22	1151,12	118,44
	43	2011,0	0,50	7,75	472,62	246,10	718,72	634,37	118,80
	44	2003,0	0,50	7,97	492,19	177,90	670,09	587,43	116,42
	45	1986,9	0,50	7,80	450,68	252,03	702,71	619,12	117,73
	46	2003,0	0,50	7,86	477,37	213,48	690,85	609,87	114,05
	48	2050,9	0,50	7,65	418,99	263,70	682,69	600,87	115,24
	49	2008,3	0,50	7,77	427,78	246,12	673,90	592,83	114,19
	51	1997,1	0,50	7,67	416,06	254,91	670,97	580,06	128,04
	52	2009,8	0,50	7,70	430,71	238,50	669,21	581,77	123,15
	54	2017,1	0,50	7,70	437,25	234,37	671,62	597,96	103,74
	55	2012,7	0,50	-	-	-	-	-	-
Carga de Choque	56	4028,1	0,50	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	57	1987,9	0,50	-	-	-	-	-	-
	58	2021,7	0,50	7,81	450,66	221,54	672,20	593,89	110,29

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.5: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
O	MEIO N°				
Antes da Carga de Choque	2	3290	2098	72	34
	6	3438	2146	54	46
	8	3552	2306	30	22
	13	2708	1932	70	46
	15	2766	2120	92	70
	19	2318	1972	48	36
	25	2646	2086	94	64
	31	2892	2108	76	54
	33	3702	2312	86	82
	37	3594	2238	100	70
	39	3738	2282	82	56
	43	2794	1962	88	64
	45	2916	2028	102	52
	49	2948	2046	102	68
	55	2586	1868	42	30
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.6: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		N _{org} ^(a)	N _{amon} ^(b)	NTK ^(c)
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	52	45,3	3,03	48,3
Carga de Choque	56	80,2	6,42	86,6
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.3. Operação em Batelada com COV de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV_{CC} de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

TABELA I.7: Variáveis para condição operacional em que COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV_{CC} = 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio n°	C _{SAFL} ^(a)	NaHCO ₃ /DQO ^(b)	pH	AP ^(c)	AI ^(d)	AT ^(e)	AB ^(f)	AVT ^(g)
Antes da Carga de Choque	1	4102,8	1,00	-	-	-	-	-	-
	2	3976,0	1,00	7,95	1702,74	782,34	2485,08	2350,42	189,66
	3	4082,5	1,00	8,04	1589,99	690,30	2280,29	2153,85	178,09
	4	4030,6	1,00	7,97	1661,32	678,80	2340,12	2201,94	194,62
	5	3960,9	1,00	8,03	1725,75	720,21	2445,96	2318,87	179,01
	7	4105,9	1,00	7,97	1597,38	628,59	2225,96	2089,60	192,06
	8	3946,9	1,00	8,09	1673,98	700,68	2374,66	2233,94	198,20
	9	3958,1	1,00	8,03	1712,28	624,08	2336,36	2192,41	202,75
	10	3852,1	1,00	7,98	1694,26	662,38	2356,64	2214,23	200,57
	11	4118,6	0,50	7,80	822,35	428,07	1250,42	1118,55	185,72
	13	3893,3	0,50	7,85	891,85	436,67	1328,52	1204,61	174,53
	14	4040,3	0,50	7,80	910,37	365,69	1276,06	1132,24	202,56
	15	4027,9	0,50	7,71	921,17	354,89	1276,06	1130,33	205,25
	16	4063,9	0,50	7,79	894,94	401,18	1296,12	1153,12	201,41
	17	3907,3	0,50	7,73	796,19	324,03	1120,22	989,62	183,94
	19	3980,1	0,50	7,75	936,30	419,17	1355,46	1226,81	181,20
	20	4010,9	0,50	7,63	931,48	401,50	1332,98	1180,40	214,90
	21	3932,5	0,50	7,70	958,78	393,47	1352,25	1210,86	199,14
	22	3984,2	0,50	7,78	963,60	423,98	1387,58	1231,66	219,61
	25	3973,0	0,50	7,67	947,54	404,71	1352,25	1208,29	202,76
	26	4075,1	0,50	7,87	971,63	385,44	1357,07	1224,94	186,09
	27	3937,8	0,50	7,74	902,34	375,47	1277,82	1135,36	200,64
	28	4010,7	0,50	7,75	947,76	333,08	1280,84	1132,82	208,48
	29	4070,3	0,50	7,83	899,32	358,82	1258,13	1112,18	205,56
	32	4007,3	0,50	7,82	909,91	348,22	1258,13	1108,04	211,40
	33	4121,1	0,50	7,83	962,58	367,67	1330,25	1180,96	210,27
	34	4114,2	0,50	-	-	-	-	-	-
	35	4023,6	0,50	7,82	964,16	362,94	1327,10	1172,67	217,50
	37	4029,4	0,50	7,75	955,72	398,60	1354,32	1195,11	224,24
	38	3970,0	0,50	7,80	943,41	364,74	1308,15	1156,19	214,02
Carga de Choque	39	8077,4	0,50	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	40	4061,2	0,50	-	-	-	-	-	-
	41	4189,2	0,50	7,69	964,95	373,98	1338,93	1191,73	207,32

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.8: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
O	MEIO N°				
Antes da Carga de Choque	2	6610	3722	144	126
	4	6896	3974	276	190
	8	6856	3836	196	148
	10	7014	4006	188	136
	14	5596	3778	194	182
	16	5604	3896	222	148
	20	5562	3726	132	122
	22	5600	3816	164	100
	26	5652	3890	164	126
	28	5500	3770	148	114
	32	5406	3652	192	140
	34	5326	3178	168	112
	38	5592	3848	170	138
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	41	5554	3722	220	170

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.9: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	$NTK^{(c)}$
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	29	15,6	1,74	17,3
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.4. Ensaios Extras – *Etapas A, B e C da Operação em Batelada com COV de 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹*

TABELA I.10: Variáveis para as *Etapas A, B e C* da condição operacional em que $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Meio n°	C _{SAFL} ^(a)	NaHCO ₃ /DQO ^(b)	pH	AP ^(c)	AI ^(d)	AT ^(e)	AB ^(f)	AVT ^(g)
Etapas A	1	4080,7	0,50	-	-	-	-	-	-
	3	4088,6	0,50	7,82	886,28	384,81	1271,09	1127,17	202,69
	4	3974,1	0,50	7,77	868,10	416,63	1284,72	1142,62	200,14
	5	4200,0	0,50	7,84	924,15	374,21	1298,36	1139,15	224,24
Etapas B	8	4029,9	0,50	8,18	902,75	354,14	1256,90	1147,24	154,44
	9	4073,2	0,50	8,14	918,56	392,09	1310,65	1198,41	158,08
	10	4019,6	0,50	8,16	931,21	347,82	1279,03	1165,67	159,67
Etapas C	11	5242,2	0,50	8,02	954,92	390,51	1345,43	1204,85	198,00
	13	5048,8	0,50	-	-	-	-	-	-
	14	5054,8	0,50	8,18	960,75	350,75	1311,50	1186,86	175,54
	16	5177,0	0,50	8,05	945,50	440,73	1386,23	1255,47	184,16
	17	5014,2	0,50	8,10	937,88	384,30	1322,18	1189,81	186,43
	19	4943,8	0,50	8,03	884,50	455,98	1340,48	1211,12	182,20

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO.l⁻¹.

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃.l⁻¹.

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃.l⁻¹.

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃.l⁻¹.

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃.l⁻¹.

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l⁻¹.

TABELA I.11: Concentração de sólidos no afluyente para as *Etapas A, B e C* da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
O	MEIO N°				
Etapa					
A	4	5440	3690	176	116
Etapa					
B	8	5008	3662	112	82
B	10	5020	3438	158	112
Etapa					
C	14	7580	5442	208	194
C	16	6826	4540	188	154

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

I.5. Ensaio Extras – Condição 1, 2 e 3 da Operação em Batelada com COV de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

TABELA I.12: Variáveis para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio nº	C _{SAFL} ^(a)	NaHCO ₃ /DQO ^(b)	pH	AP ^(c)	AI ^(d)	AT ^(e)	AB ^(f)	AVT ^(g)
1	20	5988,9	0,50	-	-	-	-	-	-
	21	6154,4	0,50	7,79	1344,74	570,62	1915,36	1725,97	266,75
	22	6090,6	0,50	7,76	1310,58	509,43	1820,02	1615,31	288,31
	23	5594,0	0,50	7,78	1098,56	574,89	1673,45	1490,85	257,18
	25	5678,0	0,50	7,76	1219,12	578,36	1797,48	1607,40	267,72
	27	5531,2	0,50	7,61	1284,57	519,00	1803,57	1600,41	286,14
	28	5382,9	0,50	7,79	1238,91	564,66	1803,57	1611,86	270,01
	30	5441,9	0,50	-	-	-	-	-	-
2	31	8148,2	0,50	-	-	-	-	-	-
	32	8205,5	0,50	-	-	-	-	-	-
	33	8045,2	0,50	7,63	1873,58	774,70	2648,28	2329,75	448,63
	34	7979,0	0,50	7,55	1707,95	848,98	2556,93	2255,85	424,05
	35	8201,3	0,50	7,59	1675,49	871,45	2546,94	2229,67	446,86
3	37	16112,0	0,50	-	-	-	-	-	-
	38	15890,0	0,50	-	-	-	-	-	-
	39	16220,0	0,50	7,50	3683,08	1221,03	4904,11	4308,21	839,29
	40	16266,0	0,50	7,55	3730,52	1475,73	5206,25	4624,70	819,07
	41	15814,0	0,50	7,79	3807,93	1201,06	5008,98	4457,25	777,08

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.13: Concentração de sólidos no afluente para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
O	MEIO N°				
1	20	7926	5350	242	182
	22	7882	5248	176	96
	27	6954	4656	196	148
2	32	9890	6526	316	204
3	38	23050	12776	372	196
	40	20284	13128	444	264

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

I.6. Operação em Batelada Alimentada (2h) Seguida de Batelada (6h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.14: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 3,00 \text{ gDQO.}l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.}l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio nº	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	1	1647,6	1,00	-	-	-	-	-	-
	2	1706,8	1,00	8,19	839,90	360,02	1199,92	1135,21	91,14
	3	1705,1	0,50	7,80	461,72	208,84	670,56	598,78	101,10
	5	1723,1	0,25	7,62	256,51	143,92	400,43	325,41	105,66
	6	1710,0	0,25	7,60	242,89	136,20	379,09	301,13	109,80
	7	1684,1	0,20	-	-	-	-	-	-
	8	1700,1	0,10	7,40	152,54	90,35	242,89	177,75	91,74
	9	1685,1	0,10	7,21	150,27	52,21	202,48	136,50	92,94
	12	1649,7	0,10	7,24	152,09	83,08	235,17	174,94	84,84
	13	1683,7	0,10	7,29	158,36	78,32	236,67	174,59	87,44
	15	1717,3	0,10	7,30	146,28	69,00	215,28	146,79	96,47
	17	1732,1	0,10	-	-	-	-	-	-
	18	1677,7	0,10	7,41	172,16	82,80	254,96	195,42	83,85
	19	1629,8	0,10	-	-	-	-	-	-
Carga de Choque	22	13649,3	0,10	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	23	1708,0	0,10	7,36	150,77	71,76	222,53	162,21	84,96
	24	1697,1	0,10	7,25	160,39	97,80	258,19	196,29	87,18
	25	1659,9	0,10	7,24	159,41	90,63	250,04	189,86	84,77
	26	1712,1	0,10	7,20	153,55	94,21	247,76	186,46	86,33

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.15: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	6	1840	1272	72	68
	8	2014	1586	92	54
	12	1980	1556	62	34
	14	2048	1580	74	62
	18	2026	1580	110	64
Carga de Choque	22	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	24	2002	1598	78	66
	26	2046	1522	80	34

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.16: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	NTK ^(c)
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	22	47,2	10,6	57,8
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.7. Operação em Batelada Alimentada (4h) Seguida de Batelada (4h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.17: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 3,00 \text{ gDQO.}l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.}l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio nº	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	1	1671,5	0,10	7,18	156,81	85,74	242,54	182,03	85,23
	3	1664,3	0,10	7,24	130,40	105,95	236,35	170,66	92,52
	4	1662,3	0,10	7,20	170,82	120,29	291,12	226,92	90,42
	6	1713,7	0,10	7,31	143,62	79,62	223,23	166,76	79,54
	7	1721,0	0,10	7,19	135,42	73,73	209,15	154,83	76,50
	9	1670,0	0,10	7,21	121,86	66,82	188,67	128,70	84,47
	13	1685,5	0,10	7,14	127,49	70,66	198,14	141,74	79,44
	14	1715,9	0,10	7,23	174,30	74,95	249,25	177,02	101,73
	16	1704,0	0,10	7,35	151,89	75,70	227,59	161,26	93,42
	17	1649,8	0,10	7,26	159,86	72,46	232,32	167,04	91,94
	18	1686,2	0,10	7,34	173,55	67,73	241,28	175,68	92,40
	19	1768,0	0,10	7,27	151,64	71,46	223,10	159,27	89,91
	22	1649,2	0,10	7,28	154,63	67,23	221,86	154,42	94,99
	23	1680,0	0,10	7,19	167,67	85,09	252,76	187,87	91,38
Carga de Choque	24	13501,0	0,10	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	25	1702,0	0,10	-	-	-	-	-	-
	26	1657,9	0,10	7,23	159,89	87,60	247,49	181,95	92,31
	27	1680,1	0,10	7,31	155,62	85,34	240,96	174,57	93,51

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.18: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	4	1960	1564	88	54
	6	1984	1532	68	38
	13	1980	1536	74	38
	17	2008	1618	76	64
	19	1842	1432	38	32
	23	1960	1562	70	86
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.19: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	$NTK^{(c)}$
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	22	22,0	2,32	24,3
Carga de Choque	24	-	15,6	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.8. Operação em Batelada Alimentada (6h) Seguida de Batelada (2h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.20: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 3,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio nº	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	3	1612,7	0,10	7,35	167,67	87,60	255,27	184,02	100,35
	4	1716,0	0,10	7,34	161,04	92,62	253,66	187,12	93,72
	5	1669,8	0,10	7,27	173,36	82,06	255,42	187,12	96,19
	6	1696,4	0,10	7,22	169,18	81,40	250,58	161,72	125,16
	7	1661,9	0,10	7,29	171,16	86,46	257,62	178,92	110,85
	11	1712,0	0,10	7,36	175,34	83,82	259,16	177,37	115,19
	12	1689,8	0,10	7,24	136,18	100,98	237,16	158,04	111,44
	15	1663,7	0,10	6,89	175,91	98,23	274,13	179,44	133,38
	16	1680,3	0,10	7,01	162,21	99,94	262,15	173,32	125,12
	18	1679,2	0,10	7,22	171,41	81,75	253,16	163,76	125,92
	19	1699,7	0,10	-	-	-	-	-	-
Carga de Choque	21	13481,8	0,10	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	22	1720,1	0,10	-	-	-	-	-	-
	25	1630,1	0,10	7,02	156,01	93,52	249,52	162,01	123,25

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.21: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 6 \text{ h}$, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	4	2104	1640	62	54
	6	1998	1512	100	60
	16	2046	1624	102	80
	18	2188	1720	66	56
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	25	2068	1502	88	76

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.22: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	NTK ^(c)
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	18	18,8	2,56	21,4
Carga de Choque	21	-	17,1	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.9. Operação em Batelada Alimentada (2h) Seguida de Batelada (6h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.23: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio nº	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	1	-	1,00	-	-	-	-	-	-
	2	3420,4	1,00	-	-	-	-	-	-
	3	3326,0	1,00	7,85	1716,00	644,25	2360,25	2236,59	174,17
	4	3536,0	0,50	7,55	798,00	454,50	1252,50	1135,66	164,56
	5	3309,0	0,50	7,42	759,00	477,75	1236,75	1111,38	176,58
	7	3763,3	0,50	7,45	888,00	383,25	1271,25	1138,08	187,56
	8	3333,9	0,50	7,48	824,25	393,00	1217,25	1086,89	183,61
	9	3600,9	0,25	7,32	585,75	238,50	824,25	678,84	204,80
	10	3614,3	0,25	7,24	534,75	261,75	796,50	668,14	180,79
	14	3420,1	0,25	7,40	539,25	224,25	763,50	633,41	183,22
	15	3728,3	0,25	7,54	668,92	218,41	887,33	765,59	171,46
	16	3342,3	0,25	7,50	608,04	219,17	827,21	700,96	177,81
	17	3250,5	0,25	-	-	-	-	-	-
	20	3635,8	0,25	7,44	528,70	230,66	759,36	641,05	166,63
	21	3333,2	0,25	7,30	448,57	254,33	702,91	578,69	174,95
Carga de Choque	23	13418,0	0,25	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	24	3217,8	0,25	-	-	-	-	-	-
	25	3402,1	0,25	7,38	474,67	244,01	718,69	601,54	165,00
	26	3267,4	0,25	7,42	447,97	242,80	690,77	564,58	177,72

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.24: Concentração de sólidos no afluyente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	8	4328	2966	102	48
	10	4122	3092	158	104
	14	3940	2944	142	124
	16	3902	2878	128	88
	20	4052	2976	138	102
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	25	3960	2870	152	134

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.25: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		N _{org} ^(a)	N _{amon} ^(b)	NTK ^(c)
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	21	47,8	13,9	61,7
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.10. Operação em Batelada Alimentada (4h) Seguida de Batelada (4h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.26: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio n°	C _{SAFL} ^(a)	NaHCO ₃ /DQO ^(b)	pH	AP ^(c)	AI ^(d)	AT ^(e)	AB ^(f)	AVT ^(g)
Antes da Carga de Choque	1	3422,3	0,25	-	-	-	-	-	-
	4	3363,4	0,25	8,07	613,67	131,46	745,13	622,82	172,27
	9	3360,0	0,25	7,67	576,59	161,10	737,69	616,85	170,20
	13	3429,7	0,25	7,66	560,42	143,06	703,48	591,99	157,03
	15	3830,7	0,25	7,43	550,13	226,18	776,30	659,23	164,89
	16	3390,2	0,25	7,59	542,47	217,93	760,40	647,66	158,79
	17	3208,2	0,25	-	-	-	-	-	-
	20	3245,3	0,25	7,22	513,61	251,50	765,11	647,08	166,25
	21	3387,0	0,25	7,82	592,82	139,67	732,49	614,16	166,65
Carga de Choque	23	3216,5	0,25	7,78	528,33	233,24	761,58	650,38	156,62
	25	12244,0	0,25	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	26	3349,2	0,25	7,70	518,91	249,15	768,06	652,52	162,72
	27	3257,1	0,25	7,34	530,10	243,26	773,36	659,37	160,55

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.27: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	4	3922	2924	118	114
	9	3968	2900	158	106
	15	4148	3078	138	122
	20	4000	2944	124	116
	22	3906	2888	144	98
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.28: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	$NTK^{(c)}$
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	21	50,8	16,3	67,1
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .
 (b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .
 (c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.11. Operação em Batelada Alimentada (6h) Seguida de Batelada (2h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.29: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio n°	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	2	3482,7	0,25	7,47	573,60	225,00	798,60	685,24	159,67
	4	3381,3	0,25	-	-	-	-	-	-
	6	3289,8	0,25	7,30	580,20	202,80	783,00	672,49	155,65
	7	3381,0	0,25	7,38	587,40	196,20	783,60	674,01	154,35
	8	3249,7	0,25	7,33	540,54	164,43	704,97	584,43	169,78
	9	3360,0	0,25	7,36	572,67	228,06	800,73	687,99	158,79
	10	3342,1	0,25	7,44	587,16	220,50	807,66	696,87	156,04
	12	3377,6	0,25	7,42	510,05	177,41	687,46	578,75	153,10
	13	3412,2	0,25	7,32	569,71	188,50	758,21	641,49	164,39
	14	3542,2	0,25	-	-	-	-	-	-
	16	3311,0	0,25	-	-	-	-	-	-
	18	3313,6	0,25	7,29	533,81	188,50	722,30	607,71	161,40
	21	3233,0	0,25	7,38	579,74	211,73	791,47	675,41	163,47
Carga de Choque	22	13480,0	0,25	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	23	3410,1	0,25	-	-	-	-	-	-

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.30: Concentração de sólidos no afluyente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	6	4476	3536	136	124
	8	3992	2950	152	88
	12	3974	2928	128	88
	14	4020	2932	144	86
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.31: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e

$$COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}.$$

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	$NTK^{(c)}$
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	16	46,0	17,0	63,0
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.12. Operação em Batelada Alimentada (2h) Seguida de Batelada (6h) com Carga Orgânica Volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.32: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio n°	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	2	6601,2	1,00	7,87	3373,92	812,08	4186,00	3960,56	317,52
	3	6682,5	1,00	7,77	3231,59	852,75	4084,34	3861,80	313,44
	6	6583,7	0,50	7,70	1745,36	477,20	2222,56	1986,99	331,78
	7	6372,2	0,25	7,40	941,28	390,11	1331,39	1112,24	308,66
	8	6489,2	0,25	7,39	1015,24	305,41	1320,65	1105,24	303,39
	12	6638,9	0,10	7,45	499,59	221,13	720,72	522,60	279,04
	13	6812,1	0,10	7,32	561,60	236,34	797,94	617,63	253,96
	14	6478,2	0,10	7,36	401,31	180,18	581,49	403,47	250,73
	15	6672,1	0,10	-	-	-	-	-	-
	17	6841,6	0,25	7,42	871,17	337,83	1209,00	1036,51	242,95
	19	6508,9	0,25	7,38	976,75	316,86	1293,62	1102,57	269,08
	21	6899,1	0,25	7,40	1004,85	264,54	1269,39	1090,22	252,35
	24	6679,6	0,25	7,37	969,97	302,33	1272,30	1080,44	270,23
	26	6499,7	0,25	7,33	1014,54	250,00	1264,55	1080,82	258,77
Carga de Choque	30	13412,0	0,25	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	31	6580,1	0,25	7,41	1052,33	263,57	1315,90	1134,62	255,33

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.33: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	6	8510	5702	304	226
	8	7714	5734	354	228
	12	6580	5402	212	172
	14	6594	5454	196	160
	19	7296	5496	228	162
	24	7914	6138	258	214
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.34: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	$NTK^{(c)}$
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	24	125	12,0	137
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.13. Operação em Batelada Alimentada (4h) Seguida de Batelada (4h) com Carga Orgânica Volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.35: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 12,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio nº	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	1	6651,3	0,25	-	-	-	-	-	-
	3	6687,7	0,25	-	-	-	-	-	-
	4	7002,1	0,25	7,36	962,76	306,46	1269,22	1026,09	342,43
	5	6582,2	0,25	7,40	892,25	305,55	1197,80	960,90	333,66
	6	6781,9	0,25	-	-	-	-	-	-
	8	6563,9	0,25	7,51	887,73	313,69	1201,42	975,93	317,58
	9	6682,7	0,25	7,43	916,66	323,63	1240,29	1001,91	335,75
	10	6718,2	0,25	7,54	739,47	273,97	1013,44	817,47	276,01
	14	6557,9	0,25	7,45	784,22	322,64	1106,85	909,19	278,39
	15	6702,0	0,25	7,48	800,70	265,33	1066,03	857,97	293,04
	16	6679,8	0,25	7,39	752,03	280,25	1032,28	833,64	279,77
	17	6497,8	0,25	-	-	-	-	-	-
	18	6718,3	0,25	7,29	756,84	251,16	1008,00	788,84	308,82
	21	7045,1	0,25	7,42	824,04	262,08	1086,12	876,54	295,19
	22	6616,9	0,25	7,39	811,57	281,60	1093,16	869,35	315,23
Carga de Choque	24	12626	0,25	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	25	6860,0	0,25	7,43	791,79	266,57	1058,36	843,22	303,00

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.36: Concentração de sólidos no afluentes para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	4	7814	5856	226	172
	9	9044	6854	262	186
	15	7446	5562	230	168
	17	6886	5150	278	220
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.37: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		N _{org} ^(a)	N _{amon} ^(b)	NTK ^(c)
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	16	107	13,1	120
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

I.14. Operação em Batelada Alimentada (6h) Seguida de Batelada (2h) com Carga Orgânica Volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA I.38: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Meio n°	$C_{SAFL}^{(a)}$	$NaHCO_3/DQO^{(b)}$	pH	$AP^{(c)}$	$AI^{(d)}$	$AT^{(e)}$	$AB^{(f)}$	$AVT^{(g)}$
Antes da Carga de Choque	1	6678,0	0,25	-	-	-	-	-	-
	3	6629,0	0,25	-	-	-	-	-	-
	5	6890,0	0,25	-	-	-	-	-	-
	6	6580,0	0,25	7,64	873,71	292,02	1165,73	960,07	289,66
	8	6590,0	0,25	7,52	901,18	266,12	1167,30	968,68	279,74
	11	7030,0	0,25	7,58	880,77	283,39	1164,16	960,29	287,13
	12	6700,0	0,25	7,66	853,52	272,98	1126,50	954,03	242,92
	13	6650,0	0,25	7,53	827,20	285,01	1112,21	931,02	255,19
	14	6710,0	0,25	7,60	824,94	331,63	1156,58	971,69	260,40
	15	7130,0	0,25	7,58	849,76	306,82	1156,58	973,41	257,98
	17	6612,7	0,25	7,53	799,92	273,97	1073,88	871,40	285,18
	19	6820,7	0,25	7,48	869,44	313,44	1182,88	990,13	271,47
Carga de Choque	23	13277,0	0,25	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	24	6090,1	0,25	-	-	-	-	-	-
	25	6712,0	0,25	7,52	830,25	259,04	1089,29	911,87	249,88

(a) Concentração de matéria orgânica não filtrada no afluente, mgDQO. l^{-1} .

(b) Suplementação de bicarbonato de sódio (m/m).

(c) Alcalinidade parcial, mgCaCO₃. l^{-1} .

(d) Alcalinidade intermediária, mgCaCO₃. l^{-1} .

(e) Alcalinidade total, mgCaCO₃. l^{-1} .

(f) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(g) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA I.39: Concentração de sólidos no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	MEIO N°	ST ^(a)	STV ^(b)	SST ^(c)	SSV ^(d)
Antes da Carga de Choque	7	7680	5742	298	238
	12	7888	6120	242	164
	14	7636	5624	276	182
	19	8178	6096	288	132
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA I.40: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no afluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(a)}$	$N_{amon}^{(b)}$	NTK ^(c)
O	MEIO N°			
Antes da Carga de Choque	16	113	12,2	125
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(b) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

APÊNDICE II – Variáveis Monitoradas do Efluente do Reator

II.1. Operação em Batelada com Carga Orgânica Volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA II.1: Variáveis para condição operacional em que $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{\text{SF}}^{(b)}$	$\epsilon_{\text{SF}}^{(c)}$	$C_{\text{ST}}^{(d)}$	$\epsilon_{\text{ST}}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,00	146,5	85,2	208,1	78,9
	4,00	151,0	84,7	208,2	78,9
	5,00	102,1	89,7	190,3	80,7
	6,00	88,9	91,0	153,5	84,5
	7,33	68,9	93,0	132,5	86,6
	8,00	54,1	94,5	103,3	89,5
	11,00	55,2	94,4	99,3	89,9
	12,00	60,6	93,9	83,8	91,5
	13,00	58,8	94,0	94,3	90,5
	14,33	89,2	91,0	150,5	84,8
	15,00	90,7	90,8	146,1	85,2
	18,00	88,2	91,1	144,0	85,4
	19,00	65,6	93,4	112,1	88,7
	20,33	68,9	93,0	114,8	88,4
	21,33	74,8	92,4	115,5	88,3
	22,00	60,8	93,8	106,9	89,2
	25,00	34,2	96,5	92,0	90,7
	26,00	40,9	95,9	76,2	92,3
	27,00	34,1	96,5	96,3	90,3
	28,33	50,0	94,9	109,7	88,9
	29,33	15,7	98,4	70,0	92,9
	33,00	23,2	97,7	63,3	93,6
Carga de Choque	34,00	85,8	91,3	124,3	87,4
Após a Carga de Choque	34,33	20,2	98,0	70,9	92,8

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.2: Variáveis para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	4,00	7,47	503,58	114,45	618,03	581,65	51,24
	5,00	7,37	433,92	155,94	589,86	545,68	62,22
	6,00	7,23	433,92	155,94	589,86	558,68	43,92
	11,00	7,28	500,20	134,20	634,40	623,49	15,37
	13,00	7,27	311,10	109,80	420,90	409,47	16,10
	14,33	6,72	139,50	115,00	254,50	222,78	44,68
	15,00	6,63	179,00	117,00	296,00	250,55	64,02
	18,00	6,50	157,61	109,00	266,61	220,61	64,80
	19,00	6,46	136,99	108,02	245,01	216,02	40,82
	20,33	6,65	171,85	83,47	255,32	224,82	42,96
	21,33	6,50	121,28	112,93	234,21	200,16	47,95
	22,00	6,56	117,84	105,57	223,41	186,18	52,42
	25,00	6,50	138,05	117,64	255,69	240,05	22,03
	26,00	6,45	103,80	96,53	200,33	179,63	29,16
	27,00	6,52	131,48	122,83	254,31	226,02	39,85
	28,33	6,45	137,76	112,00	249,76	224,06	36,19
	29,33	6,73	140,86	78,29	219,15	207,43	16,50
	33,00	6,49	141,40	90,16	231,56	213,97	24,78
Carga de Choque	34,00	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	34,33	6,45	150,15	111,18	261,33	245,85	21,80

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.3: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	884	360	74	48
	2,33	1004	468	46	26
	7,00	1016	360	68	52
	9,33	648	388	68	46
	14,00	572	392	52	22
	16,33	632	442	46	38
	21,00	604	412	40	36
	23,33	646	456	98	44
	28,00	570	336	68	40
Carga de Choque	34,00	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	34,33	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.4: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	NTK ^(d)
O	TEMPO ^(a)			
Antes da	0,00	-	-	-
Carga de	22,00	4,52	0,941	5,46
Choque	29,33	10,3	0,884	11,2
Carga de	34,00	6,51	0,251	6,76
Choque				
Após a				
Carga de	-	-	-	-
Choque				

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.5: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
	0,00	-
	0,33	2,47
	1,00	2,52
	4,00	2,50
	5,00	2,52
	6,00	2,50
	7,33	2,49
	8,00	2,50
	11,00	2,50
	12,00	2,51
	13,00	2,50
Antes da Carga de Choque	14,33	2,51
	15,00	2,50
	18,00	2,52
	19,00	2,52
	20,33	2,50
	21,33	2,49
	22,00	2,50
	25,00	2,50
	26,00	2,50
	27,00	2,50
	28,33	2,47
	29,00	2,50
	32,00	2,51
	33,00	2,53
Carga de Choque	34,00	-
Após a Carga de Choque	34,33	-

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l.

II.2. Operação em Batelada com COV de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV_{CC} de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

TABELA II.6: Variáveis para condição operacional em que COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e COV_{CC} = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	C _{SF} ^(b)	ε _{SF} ^(c)	C _{ST} ^(d)	ε _{ST} ^(e)
Antes da Carga de Choque	1,00	259,1	87,1	374,8	81,3
	2,00	228,3	88,6	289,1	85,6
	5,67	212,9	89,4	299,1	85,1
	6,67	208,3	89,6	317,9	84,1
	8,00	168,4	91,6	248,9	87,6
	8,67	192,3	90,4	279,5	86,0
	12,00	186,7	90,7	255,8	87,2
	12,67	181,5	90,9	256,8	87,2
	13,67	165,7	91,7	248,0	87,6
	15,00	188,0	90,6	249,0	87,6
	16,00	277,7	86,1	308,7	84,6
	18,67	252,2	87,4	308,5	84,6
	19,67	252,6	87,4	312,9	84,4
	20,67	261,2	86,9	320,0	84,0
	25,67	380,5	81,0	424,5	78,8
	26,67	438,5	78,1	487,8	75,6
	30,00	370,0	81,5	439,1	78,1
	30,67	299,0	85,1	339,7	83,0
	32,67	476,8	76,2	533,1	73,4
	33,67	318,2	84,1	431,6	78,4
	35,00	463,5	76,8	569,7	71,5
	36,00	508,2	74,6	632,9	68,4
	37,00	490,0	75,5	764,4	61,8
	39,67	406,9	79,7	547,7	72,6
	40,67	386,6	80,7	543,9	72,8
	42,00	431,5	78,4	729,9	63,5
	42,67	429,2	78,6	568,6	71,6
	44,00	324,1	83,8	509,6	74,5
	46,67	365,9	81,7	487,1	75,7
	47,67	323,1	83,9	409,7	79,5
	49,00	336,2	83,2	428,0	78,6
	49,67	307,8	84,6	426,0	78,7
	51,00	432,0	78,4	531,2	73,5
	53,67	374,0	81,3	545,3	72,8
	54,67	345,1	82,8	467,3	76,7
	57,00	323,8	83,8	430,0	78,5
	58,00	343,0	82,9	459,1	77,1
	60,67	359,9	82,0	479,8	76,0
	62,00	331,2	83,5	468,3	76,6
Carga de Choque	62,67	908,9	77,4	1208,2	70,0
Após a Carga de Choque	63,00	308,9	84,6	448,2	77,6
	64,00	310,1	84,5	453,4	77,3
	65,67	317,6	84,1	444,2	77,8

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.7: Variáveis para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	1,00	6,98	747,83	429,00	1176,83	1079,73	136,75
	2,00	7,03	754,65	360,75	1115,40	1030,38	119,75
	4,67	7,00	640,92	439,31	1080,23	993,28	122,46
	5,67	6,90	609,82	464,39	1074,21	983,25	128,11
	6,67	6,77	610,83	661,98	1272,81	1187,73	119,82
	8,00	6,74	605,81	449,34	1055,16	978,38	108,14
	8,67	6,81	619,85	581,74	1201,59	1121,74	112,47
	12,00	7,00	431,00	347,43	778,43	723,32	77,62
	12,67	6,78	368,68	360,36	729,04	658,49	99,36
	13,67	6,85	360,36	249,48	609,84	550,07	84,18
	15,00	6,81	385,31	311,39	696,70	632,03	91,08
	16,00	6,70	328,94	366,83	695,77	607,59	124,20
	18,67	6,47	108,30	286,50	394,80	293,78	142,27
	19,67	6,59	135,80	229,20	365,00	272,05	130,92
	20,67	6,61	148,41	210,86	359,27	271,86	123,12
	25,67	6,56	184,14	259,47	443,61	279,23	231,52
	26,67	6,59	183,02	284,58	467,60	291,25	248,39
	30,00	6,82	284,02	275,09	559,12	436,34	172,92
	30,67	6,93	323,64	262,26	585,90	480,96	147,80
	32,67	6,59	327,75	374,32	702,07	530,57	241,55
	33,67	7,20	388,05	376,11	764,16	619,93	203,14
	35,00	6,85	393,42	373,13	766,55	576,89	267,12
	36,00	7,08	778,49	536,70	1315,19	1090,68	316,22
	37,00	7,09	775,50	542,67	1318,18	1097,09	311,39
	39,67	7,18	805,95	525,36	1331,31	1124,86	290,78
	40,67	7,26	875,16	451,31	1326,47	1147,48	252,10
	42,00	7,13	771,06	497,64	1268,70	1072,15	276,82
	42,67	7,16	859,72	474,76	1334,48	1136,64	278,64
	44,00	7,21	845,99	487,92	1333,90	1170,41	230,28
	46,67	7,12	776,83	524,21	1301,04	1136,65	231,54
	47,67	7,07	989,12	458,39	1447,51	1303,53	202,79
	49,00	6,85	469,06	343,94	813,00	664,04	209,80
	49,67	6,82	486,26	386,64	872,90	732,03	198,40
	51,00	6,78	361,73	396,12	757,85	574,82	257,80
	53,67	6,78	356,29	396,72	753,01	588,55	231,64
	54,67	6,87	385,59	369,18	754,77	607,08	208,01
	57,00	6,80	380,31	287,14	667,45	526,88	198,00
	58,00	7,07	441,72	320,64	762,36	602,03	225,82
	60,67	6,96	413,93	364,96	778,89	616,07	229,32
	62,00	6,94	406,35	343,39	749,74	602,19	207,81
Carga de Choque	62,67	6,62	947,38	839,52	1786,90	1382,18	570,02
Após a Carga de Choque	63,00	7,10	558,22	342,51	900,74	761,95	195,47
	64,00	7,08	411,02	350,38	761,40	629,59	185,64
	65,67	7,13	414,51	343,39	757,90	629,74	180,51

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.8: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,00	2010	774	122	74
	5,67	1812	652	88	80
	8,00	1466	626	50	38
	12,67	1286	556	74	50
	15,00	1320	700	84	74
	19,67	950	716	64	56
	26,67	1174	698	62	54
	33,67	1442	730	108	84
	36,00	2166	846	134	128
	40,67	2122	900	136	118
	42,67	2176	720	130	110
	47,67	2070	732	96	66
	49,67	1616	678	98	56
	54,67	1540	676	134	94
	62,00	1284	608	96	78
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-
(a) Tempo, d. (b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} . (c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} . (d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} . (e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .					

TABELA II.9: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da	0,00	-	-	-
Carga de	58,00	4,26	24,5	28,8
Choque				
Carga de	62,67	2,91	33,3	36,2
Choque				
Após a				
Carga de	63,00	8,19	20,9	29,1
Choque				

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.10: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
Antes da Carga de Choque	0,00	-
	1,00	2,50
	2,00	2,52
	5,67	2,50
	6,67	2,50
	8,00	2,47
	8,67	2,46
	12,67	2,52
	13,67	2,48
	15,00	2,40
	16,00	2,53
	18,67	2,49
	19,67	2,47
	20,67	2,55
	25,67	2,58
	26,67	2,49
	28,00	2,53
	29,00	2,50
	30,00	2,48
	30,67	2,50
	32,67	2,50
	33,67	2,48
	35,00	2,51
	36,00	2,50
	37,00	2,53
	39,67	2,50
	40,67	2,43
	42,00	2,52
	42,67	2,49
	44,00	2,50
	46,67	2,55
	47,67	2,48
	49,00	2,50
	49,67	2,57
	51,00	2,49
	53,67	2,50
	54,67	2,53
	55,67	2,50
	57,00	2,56
	57,67	2,47
	60,67	2,40
	61,67	2,52
Carga de Choque	62,67	2,42
Após a Carga de Choque	64,00	2,48
Choque	65,67	2,55

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, *l*.

II.3. Operação em Batelada com Carga Orgânica Volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA II.11: Variáveis para condição operacional em que $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $\text{COV}_{\text{CC}} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{\text{SF}}^{(b)}$	$\epsilon_{\text{SF}}^{(c)}$	$C_{\text{ST}}^{(d)}$	$\epsilon_{\text{ST}}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,00	935,9	76,7	1248,8	68,9
	2,33	934,0	76,7	1207,9	69,9
	3,33	955,2	76,2	1144,1	71,5
	4,33	899,8	77,6	1118,5	72,1
	7,00	805,6	79,9	994,8	75,2
	9,33	791,7	80,3	1106,8	72,4
	10,33	877,7	78,1	1217,0	69,7
	11,33	839,8	79,1	1199,0	70,1
	14,00	875,8	78,2	1206,6	69,9
	15,00	900,9	77,5	1107,1	72,4
	16,00	759,5	81,1	1032,6	74,3
	17,33	977,8	75,6	1235,2	69,2
	18,33	1014,7	74,7	1270,8	68,3
	21,00	1006,1	74,9	1334,2	66,7
	22,00	938,2	76,6	1304,7	67,5
	23,33	1188,2	70,4	1570,1	60,8
	24,00	942,3	76,5	1375,2	65,7
	25,00	1150,0	71,3	1508,1	62,4
	28,00	977,7	75,6	1209,9	69,8
	29,00	842,6	79,0	1210,0	69,8
	30,33	848,7	78,8	1286,2	67,9
	31,33	900,0	77,6	1298,7	67,6
	32,33	922,4	77,0	1370,1	65,8
	36,00	984,6	75,4	1408,4	64,9
	37,33	945,2	76,4	1421,1	64,6
	38,33	900,6	77,5	1417,3	64,7
	39,33	858,9	78,6	1389,5	65,4
	42,00	897,1	77,6	1423,1	64,5
	43,00	862,2	78,5	1445,5	64,0
Carga de Choque	44,00	4325,8	46,4	4904,3	39,3
Após a Carga de Choque	44,33	828,3	79,3	1394,2	65,2
	45,33	818,4	79,6	1408,0	64,9
	46,33	860,7	78,5	1380,8	65,6

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.12: Variáveis para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$
e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	1,00	7,59	1491,05	809,95	2301,00	1941,87	505,82
	2,33	7,30	1334,58	883,58	2218,16	1858,12	507,10
	3,00	7,43	1518,66	1017,04	2535,70	2194,17	481,03
	4,33	7,45	1603,80	920,40	2524,20	2146,29	532,26
	7,00	7,56	1577,10	808,83	2385,93	2062,59	455,40
	8,00	7,38	1532,04	786,30	2318,34	2033,24	401,54
	9,33	7,43	1552,32	898,95	2451,26	2105,72	486,68
	10,33	7,44	1577,10	869,66	2446,76	2095,73	494,41
	11,33	7,39	1583,86	835,86	2419,72	2071,51	490,45
	14,00	7,07	833,22	766,87	1600,09	1262,84	475,01
	15,00	7,21	881,05	600,23	1481,28	1155,20	459,26
	16,00	7,21	915,00	597,14	1512,14	1214,55	419,14
	17,33	7,07	734,47	685,09	1419,56	1039,23	535,68
	18,33	7,18	910,37	709,78	1620,15	1234,36	543,36
	21,00	7,16	994,11	770,88	1764,99	1377,88	545,23
	22,00	7,17	966,81	761,24	1728,06	1357,54	521,86
	23,33	7,20	928,27	786,94	1715,21	1277,92	615,90
	24,00	7,20	929,87	692,19	1622,06	1262,22	506,82
	25,33	7,25	931,48	785,33	1716,81	1303,84	581,65
	28,00	7,25	982,87	690,58	1673,45	1287,50	543,60
	29,00	7,44	990,16	596,52	1586,67	1263,04	455,82
	30,33	7,50	953,82	567,75	1521,57	1190,04	466,94
	31,33	7,32	1101,60	581,40	1683,00	1320,71	510,26
	32,33	7,27	958,36	602,57	1560,93	1186,67	527,14
	36,00	7,22	946,80	676,96	1623,76	1240,79	539,40
	37,33	7,36	992,56	680,12	1672,68	1302,90	520,82
	39,33	7,25	1017,81	669,07	1686,88	1326,20	508,00
	42,00	7,30	1006,51	691,01	1697,52	1337,17	507,53
	43,00	7,21	969,57	664,85	1634,42	1269,65	513,75
Carga de Choque	44,00	-	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	44,33	7,39	1147,04	706,20	1853,24	1513,58	478,40
	45,33	7,08	955,72	692,55	1648,27	1274,33	526,68
	46,33	7,12	977,27	701,78	1679,05	1326,64	496,36

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA II.13: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,00	3548	870	116	98
	3,33	4044	1210	178	140
	8,00	3686	834	182	172
	10,33	4154	1166	268	234
	15,00	2748	1006	166	148
	17,33	2894	1180	276	222
	22,00	2760	952	246	238
	24,00	2730	1044	264	202
	29,00	2676	1070	204	184
	31,33	2906	1124	178	164
	36,00	2724	1226	218	174
	38,33	2828	1086	220	154
	43,00	2800	1078	190	78
Carga de Choque	44,00	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	45,33	2842	1098	212	190

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.14: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(a)			
Antes da Carga de Choque	22	4,48	0,918	5,40
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.15: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
	0,00	-
	1,00	2,46
	2,33	2,57
	3,00	2,52
	4,33	2,49
	7,00	2,54
	8,00	2,42
	9,33	2,58
	10,33	2,40
	11,33	2,59
	14,00	2,37
	15,00	2,55
	16,00	2,37
	17,33	2,58
Antes da Carga de Choque	18,33	2,46
	21,00	2,39
	22,00	2,34
	23,33	2,45
	24,00	2,37
	25,00	2,59
	28,00	2,47
	29,00	2,30
	31,00	2,46
	32,33	2,58
	36,00	2,59
	37,33	2,39
	38,00	2,47
	38,33	2,54
	39,33	2,41
	42,00	2,59
	43,00	2,40
Carga de Choque	44,00	2,57
Após a Carga de Choque	45,33	2,61
	46,33	2,58

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l .

II.4. Ensaio Extras – *Etapas A, B e C* da Operação em Batelada com COV de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$

TABELA II.16: Variáveis para as *Etapas A, B e C* da condição operacional em que $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	C _{SF} ^(b)	ε _{SF} ^(c)	C _{ST} ^(d)	ε _{ST} ^(e)
Etapa A	0,00	-	-	-	-
	2,33	982,7	75,8	1137,4	72,0
	3,33	1061,3	73,9	1228,4	69,8
	4,00	989,9	75,7	1120,1	72,5
	8,00	949,1	76,7	1127,7	72,3
Etapa B	9,33	1156,8	71,6	1512,6	62,8
	10,00	1138,0	72,0	1405,3	65,4
	11,33	1119,4	72,5	1475,3	63,7
Etapa C	15,33	1235,3	75,7	1453,3	71,4
	17,33	1399,9	72,4	1513,5	70,2
	18,33	1396,5	72,5	1813,3	64,3
	21,00	1448,6	71,5	1667,2	67,2
	22,00	1327,6	73,9	1789,3	64,8

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.17: Variáveis para as *Etapas A, B e C* da condição operacional em que $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Etapa A	0,00	-	-	-	-	-	-
	2,33	7,17	980,21	784,77	1764,98	1392,28	524,92
	3,33	7,15	933,24	727,20	1660,44	1285,36	528,28
	4,00	7,17	940,82	725,69	1666,50	1251,65	584,30
	8,00	7,39	1010,26	679,83	1690,09	1340,44	492,47
Etapa B	9,33	7,29	790,50	657,70	1448,20	1010,60	616,33
	10,00	7,24	664,02	630,82	1294,84	876,47	589,25
	11,33	7,05	676,67	690,90	1367,57	923,56	625,36
Etapa C	15,33	7,05	844,85	622,20	1467,05	1104,74	510,30
	17,33	7,04	718,28	713,70	1431,98	1079,00	497,15
	18,33	6,95	686,25	818,93	1505,18	1038,09	657,87
	21,00	7,04	733,53	760,98	1494,50	1121,02	526,02
	22,00	7,20	641,77	619,01	1260,78	916,16	485,38

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.18: Concentração de sólidos no efluente para as *Etapas A, B e C* da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(A)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Etapa A	0,00	-	-	-	-
	3,33	2870	1056	176	134
Etapa B	8,00	2538	1196	134	110
	10,00	2612	1056	260	204
Etapa C	15,33	3340	1252	144	122
	17,33	3406	1294	178	134
	22,00	3092	1126	210	182

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.19: Volume de efluente descarregado por ciclo nas *Etapas A, B e C* da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
Etapa A	0,00	-
	1,00	2,46
	2,33	2,41
	3,33	2,59
	4,00	2,42
	8,00	2,39
Etapa B	9,33	2,47
	10,00	2,40
B	11,33	2,46
Etapa C	15,33	2,39
	17,33	2,43
	18,33	2,41
	21,00	2,53
	22,00	2,46

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l.

II.5. Ensaios Extras – Condição 1, 2 e 3 da Operação em Batelada com COV de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

TABELA II.20: Variáveis para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	C _{SF} ^(b)	ϵ_{SF} ^(c)	C _{ST} ^(d)	ϵ_{ST} ^(e)
1	0,00	-	-	-	-
	1,33	952,2	83,4	1158,7	79,8
	2,00	947,5	83,5	1143,3	80,1
	3,33	1167,6	79,6	1314,2	77,1
	6,00	1063,0	81,5	1372,3	76,1
	9,00	952,8	83,4	1194,8	79,2
	10,33	807,8	85,9	947,2	83,5
	13,33	776,9	86,4	923,4	83,9
2	14,00	966,4	88,1	1269,5	84,4
	15,33	994,5	87,7	1595,4	80,3
	16,33	808,5	90,0	1642,0	79,8
	17,33	847,0	89,6	1598,1	80,3
	20,00	798,2	90,2	1560,0	80,8
3	21,00	909,0	94,3	1427,5	91,1
	22,33	1004,6	93,7	1577,2	90,2
	23,00	808,6	95,0	1471,5	90,8
	24,33	913,5	94,3	1698,6	89,4
	27,00	813,2	94,9	1784,1	88,9

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.21: Variáveis para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que
 $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
1	0,00	-	-	-	-	-	-
	1,33	7,30	981,87	739,96	1721,83	1372,95	491,37
	2,00	7,35	1043,06	711,50	1754,56	1390,78	512,37
	3,33	7,14	932,07	859,49	1791,56	1307,83	681,30
	6,00	7,62	1106,49	761,00	1867,49	1399,92	658,56
	9,00	6,99	972,56	774,70	1747,26	1300,86	628,72
	10,33	7,09	1074,53	757,96	1832,49	1453,08	534,37
	13,33	7,34	1202,37	602,30	1804,67	1470,45	470,74
2	14,00	7,20	989,30	869,06	1858,36	1420,94	616,09
	15,33	7,44	1065,40	1088,23	2153,63	1682,71	663,26
	16,33	7,35	1350,88	948,86	2299,74	1887,87	580,09
	17,33	7,70	1620,55	863,96	2484,52	2121,60	511,14
	20,00	7,42	1707,95	1093,69	2801,63	2415,17	544,32
3	21,00	7,57	1732,92	1051,24	2784,16	2400,63	540,17
	22,33	7,99	1910,21	1403,31	3313,52	2896,13	587,87
	23,00	7,73	1995,10	1268,48	3263,58	2906,92	502,33
	24,33	7,79	2052,53	1221,03	3273,57	2843,30	606,01
	27,00	7,78	2247,30	1251,00	3498,30	3133,91	513,22

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.22: Concentração de sólidos no efluente para as condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
1	0,00	-	-	-	-
	2,00	3484	1058	196	138
	9,00	3088	1048	232	192
2	14,00	3566	1338	246	176
3	21,00	4762	1224	248	148
	23,00	6052	1494	192	136

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.23: Volume de efluente descarregado por ciclo nas condições 1, 2 e 3 da condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
1	0,00	-
	1,33	1,55
	2,33	1,74
	3,33	1,78
	6,00	1,83
	9,00	1,95
	10,33	1,88
	13,00	1,82
2	14,00	1,25
	15,33	1,16
	16,33	1,20
	17,33	1,31
	20,00	1,29
3	21,00	0,62
	22,33	0,64
	23,00	0,60
	24,33	0,65
	27,00	0,61

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l .

II.6. Operação em Batelada Alimentada (2 h) Seguida de Batelada (6 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.24: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 3,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$	$C_{ST}^{(d)}$	$\epsilon_{ST}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,00	112,8	93,3	219,8	87,0
	2,33	94,2	94,4	227,4	86,5
	5,33	71,1	95,8	219,4	87,0
	6,33	58,6	96,5	159,6	90,6
	7,33	55,3	96,7	152,4	91,0
	8,00	50,5	97,0	177,1	89,5
	9,33	41,2	97,6	132,2	92,2
	13,00	51,0	97,0	99,0	94,1
	14,33	43,1	97,4	110,2	93,5
	16,33	70,0	95,9	129,9	92,3
	19,00	52,5	96,9	111,3	93,4
	20,00	35,9	97,9	88,8	94,7
	21,00	20,2	98,8	48,7	97,1
	23,33	26,7	98,4	70,3	95,8
Carga de Choque	26,00	2168,0	84,1	2503,0	81,7
Após a Carga de Choque	26,33	784,0	53,6	1319,0	22,0
	27,00	60,8	96,4	189,1	88,8
	28,33	40,0	97,6	138,6	91,8
	29,00	50,3	97,0	133,6	92,1
	30,33	39,9	97,6	100,7	94,0
	31,33	47,6	97,2	81,9	95,2

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.25: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
	0,00	-	-	-	-	-	-
	1,00	7,63	962,48	229,27	1191,75	1139,86	73,08
	2,33	7,48	880,31	291,01	1171,32	1118,54	74,34
	5,33	7,37	572,49	256,51	829,00	788,96	56,40
	6,33	7,09	344,59	200,21	544,80	500,45	62,46
Antes da	7,33	7,03	363,20	158,90	522,10	488,49	47,34
Carga de	8,00	7,02	286,02	181,60	467,62	416,03	72,66
Choque	9,33	6,90	191,59	146,19	337,78	293,30	62,64
	13,00	7,28	207,02	90,35	297,37	260,35	52,14
	14,33	7,06	195,96	76,25	272,21	233,18	54,96
	16,33	7,20	174,23	72,45	246,68	201,73	63,31
	20,00	6,84	237,36	100,05	337,41	296,66	57,39
	23,33	6,95	188,60	78,03	266,63	232,47	48,11
Carga de	26,00	5,95	31,79	407,50	439,29	0,00-	741,15
Choque	26,33	6,59	176,04	497,15	673,19	429,57	343,13
Após a	27,00	6,87	191,69	167,89	359,58	302,82	79,93
Carga de	28,33	6,88	224,61	165,28	389,90	347,18	60,17
Choque	29,00	6,80	220,38	101,39	321,76	273,24	68,34
	30,33	6,85	225,92	126,81	352,73	307,27	64,03

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.26: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(A)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	6,33	1002	356	92	88
	8,00	1054	454	140	102
	13,00	712	360	52	30
	15,33	854	398	128	116
	20,00	828	348	96	56
Carga de Choque	26,00	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	27,00	1066	448	126	94
	29,00	934	204	102	74

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.27: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-
Carga de Choque	26,00	47,2	10,6	57,8
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.28: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
Antes da Carga de Choque	0,00	-
	1,00	1,54
	2,33	1,47
	5,33	1,52
	6,33	1,51
	7,33	1,50
	8,00	1,57
	9,33	1,52
	13,00	1,33
	14,33	1,58
	16,33	1,56
	20,00	1,51
	21,00	1,47
	23,00	1,53
Carga de Choque	26,00	1,56
Após a Carga de Choque	27,00	1,48
	28,33	1,54
	29,00	1,54
	30,33	1,50
	31,33	1,51

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l.

II.7. Operação em Batelada Alimentada (4 h) Seguida de Batelada (4 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.29: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 3,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$	$C_{ST}^{(d)}$	$\epsilon_{ST}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	3,00	60,3	96,4	209,1	87,6
	4,00	57,1	96,6	185,8	89,0
	6,00	70,1	95,8	195,6	88,4
	7,33	80,8	95,2	173,5	89,7
	10,33	53,6	96,8	115,5	93,2
	13,00	33,9	98,0	90,8	94,6
	14,33	33,8	98,0	130,6	92,3
	17,33	39,8	97,6	103,1	93,9
	18,00	51,2	97,0	102,8	93,9
	19,33	50,3	97,0	114,6	93,2
	20,00	43,8	97,4	104,2	93,8
	24,33	43,2	97,4	118,6	93,0
	25,00	31,5	98,1	100,9	94,0
Carga de Choque	26,00	2566,0	81,0	3135,8	76,8
Após a Carga de Choque	26,33	1312,3	22,3	1553,8	8,0
	27,33	35,1	97,9	151,0	91,1
	28,33	29,8	98,2	102,9	93,9

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.30 Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	3,00	6,84	237,98	130,40	368,38	320,02	68,12
	4,00	6,87	207,99	124,21	332,19	277,56	76,95
	6,00	6,76	149,25	152,06	301,31	259,51	58,87
	7,33	6,69	200,45	107,26	307,71	261,94	64,46
	10,33	6,79	203,78	111,87	315,65	275,33	56,79
	13,00	6,94	197,12	66,82	263,94	224,96	54,89
	14,33	6,81	173,30	81,67	254,98	218,63	51,19
	17,33	7,08	242,03	99,60	341,63	298,92	60,15
	18,00	6,99	245,76	82,42	328,18	288,36	56,09
	19,33	6,92	221,36	91,88	313,24	274,67	54,33
	20,00	6,88	219,12	97,61	316,73	277,89	54,70
	24,33	6,84	237,16	100,49	337,65	301,15	51,41
	25,00	6,86	209,84	125,50	335,34	294,79	57,10
Carga de Choque	26,00	5,07	0,00	421,68	421,68	0,00	824,25
Após a Carga de Choque	26,33	5,63	0,00	412,27	412,27	0,00	582,16
	27,33	6,98	237,95	140,31	378,26	338,89	55,44
	28,33	6,86	225,65	143,07	368,72	327,45	58,12

- (a) Tempo, d.
 (b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.
 (c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.
 (d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.
 (e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.
 (f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.31: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	762	464	74	54
	4,00	790	324	106	74
	6,00	656	266	80	50
	13,00	730	404	78	56
	18,00	652	280	12	10
	20,00	716	330	86	42
	25,00	762	464	74	54
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.32: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		N _{org} ^(b)	N _{amon} ^(c)	NTK ^(d)
O	TEMPO ^(a)			
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-
Carga de Choque	24,33	11,3	5,36	16,6
Carga de Choque	26,00	44,7	5,71	50,4
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.33: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
Antes da Carga de Choque	0,00	-
	3,00	1,43
	4,00	1,53
	6,00	1,58
	7,33	1,50
	10,33	1,47
	13,00	1,54
	14,33	1,51
	17,33	1,38
	18,00	1,52
	19,33	1,53
	20,00	1,46
	24,00	1,54
	25,00	1,50
Carga de Choque	26,00	1,51
Após a Carga de Choque	27,33	1,52
	28,33	1,50

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l .

II.8. Operação em Batelada Alimentada (6 h) Seguida de Batelada (2 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.34: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 3,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$	$C_{ST}^{(d)}$	$\epsilon_{ST}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	3,00	55,8	96,7	169,1	89,9
	4,00	39,7	97,6	107,1	93,6
	5,33	37,0	97,8	129,5	92,3
	6,00	47,2	97,2	105,2	93,7
	7,33	52,2	96,9	118,1	93,0
	17,00	34,1	98,0	98,8	94,1
	18,00	45,7	97,3	96,2	94,3
	20,33	33,2	98,0	94,0	94,4
Carga de Choque	24,00	1755,8	87,0	2015,4	85,1
Após a Carga de Choque	24,33	698,5	58,4	758,2	54,9
Carga de Choque	25,33	38,5	97,7	95,3	94,3
	26,00	29,4	98,3	110,6	93,4

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.35: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	3,00	7,02	264,30	146,33	410,64	355,86	77,15
	4,00	6,95	238,92	95,26	334,18	293,11	57,85
	5,33	6,82	215,38	123,86	339,24	289,09	70,63
	6,00	6,86	231,22	116,82	348,04	296,98	71,91
	7,33	6,86	249,26	113,08	362,34	309,77	74,04
	12,33	6,74	206,58	110,00	316,58	274,90	58,70
	13,33	6,95	264,00	94,82	358,82	309,16	69,95
	14,33	6,81	241,18	126,90	368,08	319,60	68,29
	17,00	7,05	245,89	96,51	342,40	289,50	74,50
	18,00	6,93	235,19	106,79	341,97	284,16	81,43
	20,33	7,00	219,40	124,60	344,00	297,90	64,93
Carga de Choque	24,00	5,48	0,00	636,65	636,65	81,59	781,77
Após a Carga de Choque	24,33	6,42	155,15	428,00	583,15	250,34	468,75
	25,33	6,90	271,14	150,01	421,15	244,68	248,55
	26,33	6,92	274,78	132,68	407,46	321,52	121,03
	27,33	6,94	241,61	110,64	352,24	300,04	73,53

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.36: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	4,00	870	486	100	88
	6,00	756	286	68	46
	18,00	732	314	62	40
	20,33	692	266	32	14
Carga de Choque	24,00	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	26,00	966	346	106	86

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.37: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da	0,00	-	-	-
Carga de				
Choque	20,33	8,32	7,33	15,6
Carga de				
Choque	24,00	37,5	7,78	45,3
Após a				
Carga de	-	-	-	-
Choque				

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.38: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
Antes da Carga de Choque	0,00	-
	3,00	1,43
	4,00	1,53
	5,33	1,47
	6,00	1,55
	7,33	1,58
	12,33	1,54
	13,33	1,52
	14,33	1,49
	17,00	1,29
	18,00	1,52
	20,00	1,49
Carga de Choque	24,00	1,56
Após a Carga de Choque	25,33	1,39
	26,00	1,46

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l .

II.9. Operação em Batelada Alimentada (2 h) Seguida de Batelada (6 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.39: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	C_{SF} ^(b)	ϵ_{SF} ^(c)	C_{ST} ^(d)	ϵ_{ST} ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,33	108,3	96,9	157,5	95,5
	2,00	144,8	95,8	214,6	93,8
	3,33	159,8	95,4	302,1	91,3
	4,00	199,1	94,3	284,1	91,8
	7,00	130,0	96,3	179,9	94,8
	8,00	83,1	97,6	119,4	96,6
	9,33	56,8	98,4	79,2	97,7
	10,00	54,5	98,4	64,4	98,1
	15,00	58,9	98,3	91,1	97,4
	16,33	31,8	99,1	75,2	97,8
	17,00	30,2	99,1	66,2	98,1
	18,33	42,2	98,8	68,4	98,0
	23,33	59,2	98,3	100,6	97,1
	24,33	62,5	98,2	111,0	96,8
	25,33	50,6	98,5	107,0	96,9
Carga de Choque	28,00	295,4	97,8	426,0	96,8
Após a Carga de Choque	28,33	119,6	96,6	199,4	94,3
	29,33	68,4	98,0	98,2	97,2
	30,33	53,7	98,5	69,0	98,0

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.40: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
	0,00	-	-	-	-	-	-
	1,33	7,80	1659,00	576,75	2235,75	2167,64	95,92
	2,00	7,60	1419,00	620,25	2039,25	1957,38	115,32
	4,00	7,25	1125,00	628,50	1753,50	1655,91	137,45
	7,00	7,35	1152,75	444,00	1596,75	1502,45	132,82
	8,00	7,29	975,00	432,75	1407,75	1317,71	126,81
Antes da	9,33	7,05	966,75	426,00	1392,75	1314,80	109,79
Carga de	10,00	7,03	903,75	339,75	1243,50	1153,32	127,02
Choque	15,00	7,36	950,25	360,75	1311,00	1224,65	121,63
	16,33	7,25	905,59	289,94	1195,53	1096,46	139,53
	17,00	7,30	837,86	404,09	1241,95	1149,40	130,36
	18,33	7,16	769,37	277,77	1047,14	959,47	123,48
	23,33	7,15	648,88	378,77	1027,65	955,81	101,18
	24,33	7,09	770,89	264,05	1034,94	954,40	113,42
	25,33	7,15	741,52	334,13	1075,65	1004,53	100,17
Carga de	28,00	6,85	1197,31	497,74	1695,05	1513,42	255,82
Choque							
Após a	28,33	7,11	883,19	359,65	1242,83	1136,52	149,74
Carga de	29,33	7,09	732,65	352,06	1084,71	992,24	130,23
Choque	30,33	6,97	679,23	328,39	1007,62	925,47	115,71

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.41: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	8,00	1778	504	60	18
	10,00	1660	496	52	28
	15,00	2308	612	46	42
	17,00	1798	598	52	24
	23,33	1616	520	56	44
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	29,33	1668	482	44	32

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.42: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da	0,00	-	-	-
Carga de				
Choque	25,33	57,8	18,2	76,1
Carga de				
Choque	-	-	-	-
Após a				
Carga de	-	-	-	-
Choque				

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.43: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
Antes da Carga de Choque	0,00	-
	1,33	1,54
	2,00	1,39
	4,00	1,53
	7,00	1,36
	8,00	1,47
	9,33	1,51
	10,00	1,46
	15,00	1,54
	16,33	1,50
	17,00	1,51
	18,33	1,37
	23,33	1,46
	24,33	1,48
	25,00	1,44
Carga de Choque	28,00	1,40
Após a Carga de Choque	29,33	1,52
	30,33	1,49

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l.

II.10. Operação em Batelada Alimentada (4 h) Seguida de Batelada (4 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.44: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	C_{SF} ^(b)	ϵ_{SF} ^(c)	C_{ST} ^(d)	ϵ_{ST} ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	2,67	53,9	98,7	104,0	97,4
	6,67	67,5	98,3	169,1	95,8
	9,00	69,1	98,3	114,8	97,2
	11,00	89,9	97,8	152,9	96,2
	13,67	55,8	98,6	108,0	97,3
	16,00	59,7	98,5	89,8	97,8
	17,00	40,9	99,0	68,8	98,3
	18,00	67,0	98,3	75,9	98,1
	21,67	51,4	98,7	80,7	98,0
	23,00	63,7	98,4	100,6	97,5
	25,00	48,6	98,8	76,2	98,1
Carga de Choque	27,67	708,1	94,2	893,2	92,7
Após a Carga de Choque	28,00	78,5	98,1	104,3	97,4
Carga de Choque	28,67	41,5	99,0	76,2	98,1
	29,67	48,9	98,8	87,0	97,9

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.45: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	6,67	7,01	705,31	322,32	1027,63	929,04	138,86
	9,00	6,89	901,90	610,18	1512,08	1419,89	129,85
	11,00	6,94	730,85	268,08	998,93	900,21	139,05
	13,67	7,22	708,46	388,75	1097,21	1006,52	127,72
	16,00	6,91	675,58	270,35	945,93	855,05	128,01
	17,00	6,83	693,84	326,31	1020,15	940,82	111,73
	18,00	6,79	728,59	326,90	1055,49	965,28	127,06
	21,67	7,09	759,22	245,61	1004,83	917,42	123,12
	23,00	6,79	749,96	347,52	1097,48	1013,15	118,77
	25,00	6,72	703,27	275,06	978,33	884,17	132,62
Carga de Choque	27,67	6,76	1150,02	674,41	1824,43	1513,94	437,31
Após a Carga de Choque	28,00	6,79	911,48	379,91	1291,38	1154,67	192,55
	28,67	6,87	745,67	311,58	1057,26	962,04	134,11
	29,67	6,90	707,98	287,43	995,41	905,30	126,92

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.46: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	2,67	2252	518	40	36
	9,00	2292	646	102	80
	16,00	1430	562	24	16
	21,67	1458	464	18	14
	22,67	1444	538	36	18
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.47: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e

$$COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}.$$

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-
Carga de Choque	23,00	61,0	21,2	82,3
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.48: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
	0,00	-
	2,67	1,44
	9,00	1,52
	11,00	1,46
Antes da	16,00	1,39
Carga de	17,00	1,48
Choque	18,00	1,54
	21,67	1,39
	22,67	1,57
	23,67	1,43
	25,00	1,38
Carga de		
Choque	27,67	1,55
Após a	28,67	1,53
Carga de		
Choque	29,67	1,57

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l .

II.11. Operação em Batelada Alimentada (6 h) Seguida de Batelada (2 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.49: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 6,00 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO}.l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$	$C_{ST}^{(d)}$	$\epsilon_{ST}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	6,00	104,1	96,9	122,4	96,4
	7,00	169,3	95,0	205,6	93,9
	8,33	95,3	97,2	99,3	97,0
	9,00	117,3	96,5	136,9	95,9
	10,33	142,2	95,8	174,2	94,8
	13,00	87,9	97,4	100,0	97,0
	14,00	94,4	97,2	120,9	96,4
	15,33	90,6	97,3	123,3	96,3
	17,33	89,6	97,3	103,2	96,9
	20,33	85,4	97,5	87,7	97,4
	23,33	96,9	97,1	117,0	96,5
Carga de Choque	24,00	736,4	94,5	1087,0	91,9
Após a Carga de Choque	24,33	95,7	97,2	111,8	96,7
	27,00	82,6	97,5	100,8	97,0

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.50: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	6,00	6,87	758,40	300,00	1058,40	966,38	129,60
	7,00	6,90	600,00	225,60	825,60	703,31	172,24
	8,33	7,03	813,33	374,85	1188,18	1095,40	130,67
	9,00	7,02	825,93	267,12	1093,05	993,31	140,48
	10,33	6,92	755,37	305,55	1060,92	955,89	147,93
	13,00	7,46	675,84	231,79	907,63	824,29	117,39
	14,00	6,99	791,47	301,49	1092,96	1007,24	120,73
	15,33	7,01	780,38	229,15	1009,54	931,92	109,32
	17,33	6,97	772,75	247,50	1020,25	944,41	106,82
	20,33	7,03	739,73	204,34	944,06	868,41	106,56
	23,33	6,99	731,81	269,28	1001,09	916,27	119,46
Carga de Choque	24,00	6,71	1056,00	652,08	1708,08	1389,50	448,70
Após a Carga de Choque	24,33	7,07	967,56	422,40	1389,96	1268,29	171,36
	27,00	7,01	754,51	249,22	1003,73	920,38	117,39

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.51: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	6,00	1748	698	42	34
	8,33	1734	686	48	16
	13,00	1864	826	46	36
	15,33	1630	600	58	28
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.52: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e

$$COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}.$$

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-
Carga de Choque	17,33	64,0	18,7	82,7
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.53: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
	0,00	-
	6,00	1,46
	7,00	1,33
	8,33	1,51
	9,00	1,52
Antes da Carga de Choque	10,33	1,52
	13,00	1,30
	14,00	1,37
	15,33	1,42
	16,00	1,51
	17,00	1,46
	20,33	1,35
	23,33	1,50
Carga de Choque	24,00	1,53
Após a Carga de Choque	27,00	1,46

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l .

II.12. Operação em Batelada Alimentada (2 h) Seguida de Batelada (6 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.54: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 12,0 \text{ gDQO.}l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.}l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$	$C_{ST}^{(d)}$	$\epsilon_{ST}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,00	406,3	93,9	469,4	92,9
	2,33	389,3	94,1	464,3	93,0
	6,00	211,7	96,8	291,8	95,6
	7,33	240,3	96,4	361,3	94,5
	8,33	331,7	95,0	402,9	93,9
	13,00	198,4	97,0	230,6	96,5
	14,33	209,9	96,8	299,4	95,5
	15,33	252,7	96,2	374,0	94,4
	16,33	407,2	93,9	556,3	91,6
	19,00	335,7	94,9	442,0	93,3
	20,00	444,8	93,3	576,1	91,3
	21,33	217,3	96,7	291,2	95,6
	22,00	280,1	95,8	351,0	94,7
	23,33	200,0	97,0	268,6	95,9
	26,00	160,1	97,6	189,8	97,1
	27,00	203,9	96,9	257,1	96,1
	27,33	185,0	97,2	301,9	95,4
	28,33	223,9	96,6	322,3	95,1
	30,33	287,2	95,7	332,3	95,0
Carga de Choque	34,00	941,5	93,0	1136,9	91,5
Após a Carga de Choque	34,33	232,1	96,5	368,9	94,4
	35,33	121,6	98,2	210,1	96,8
	36,33	209,0	96,8	310,1	95,3

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.55: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 2$ h,
 $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	1,00	7,38	2817,78	733,15	3550,92	3331,60	308,90
	2,33	7,50	2749,60	996,27	3745,87	3530,09	303,91
	6,00	7,23	1553,29	549,97	2103,26	1930,19	243,77
	7,33	7,19	1643,95	548,78	2192,73	2010,73	256,34
	8,33	7,03	1122,61	487,94	1610,55	1414,73	275,81
	9,00	7,12	1144,09	384,15	1528,23	1347,38	254,72
	13,00	7,19	779,22	299,52	1078,74	908,19	240,21
	14,33	7,05	793,26	249,21	1042,47	898,62	202,60
	15,33	6,83	691,47	318,24	1009,71	862,42	207,46
	16,33	6,78	566,87	277,71	844,59	624,90	309,42
	19,00	7,19	1427,00	490,39	1917,39	1706,00	297,73
	20,00	7,22	1308,39	532,93	1841,32	1678,59	229,20
	21,33	7,29	1395,36	531,01	1926,37	1784,96	199,17
	22,00	7,14	1251,95	496,13	1748,08	1610,08	194,36
	23,33	7,02	1111,44	466,09	1577,53	1445,39	186,11
	26,00	7,13	1158,92	371,13	1530,05	1414,67	162,50
	27,00	7,05	1139,84	409,76	1549,60	1429,21	169,57
	27,33	7,01	1123,20	387,92	1511,12	1387,37	174,30
	28,33	7,03	1084,31	348,84	1433,15	1299,87	187,71
	30,33	7,02	1055,24	416,67	1471,91	1357,84	160,67
Carga de Choque	34,00	7,05	1676,10	777,48	2453,59	2117,29	473,66
Após a Carga de Choque	34,33	7,29	1383,17	411,87	1795,04	1708,21	122,29
	35,33	7,14	994,65	371,78	1366,43	1245,11	170,88
	36,33	7,20	962,93	359,45	1322,38	1196,20	177,72

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA II.56: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	6,00	3174	998	54	56
	8,33	3570	1628	142	86
	13,00	2454	832	84	50
	15,33	2072	902	142	118
	21,33	2708	796	112	88
	27,00	2512	848	108	90
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.57: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-
Carga de Choque	27,33	5,97	31,0	36,9
Carga de Choque	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.58: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 2$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
	0,00	-
	1,00	1,44
	2,33	1,52
	6,00	1,53
	7,33	1,44
	8,33	1,41
	9,00	1,57
	13,00	1,50
	14,33	1,43
Antes da Carga de Choque	15,33	1,53
	16,33	1,42
	19,00	1,47
	20,00	1,44
	21,33	1,51
	22,00	1,46
	26,00	1,53
	27,00	1,44
	28,33	1,52
	29,00	1,43
	30,33	1,54
	33,33	1,39
Carga de Choque	34,00	1,53
Após a Carga de Choque	35,33	1,43
	36,33	1,52

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l.

II.13. Operação em Batelada Alimentada (4 h) Seguida de Batelada (4 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA II.59: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 12,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$	$C_{ST}^{(d)}$	$\epsilon_{ST}^{(e)}$
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	1,00	319,9	95,2	515,0	92,3
	2,00	567,9	91,5	787,0	88,3
	3,33	523,6	92,2	716,0	89,3
	4,00	392,2	94,1	458,1	93,2
	5,33	340,7	94,9	565,5	91,6
	8,00	396,9	94,1	571,2	91,5
	9,00	449,3	93,3	658,4	90,2
	10,33	340,0	94,9	519,5	92,2
	15,00	346,7	94,8	544,2	91,9
	16,00	380,0	94,3	589,6	91,2
	17,00	325,0	95,2	503,8	92,5
	17,33	308,4	95,4	414,4	93,8
	18,33	370,0	94,5	451,0	93,3
	19,33	276,7	95,9	489,2	92,7
	23,33	292,9	95,6	559,2	91,7
	24,00	390,0	94,2	614,0	90,8
	25,33	333,2	95,0	470,0	93,0
Carga de Choque	26,00	600,0	95,2	775,0	93,9
Após a Carga de Choque	26,33	475,0	92,9	520,0	92,2
	27,33	347,0	94,8	482,0	92,8

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.60: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 4$ h,
 $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	3,33	7,22	1166,16	571,33	1737,49	1516,75	310,90
	4,00	7,18	1313,51	452,00	1765,51	1568,34	277,70
	8,00	7,35	1102,88	272,10	1374,98	1209,84	232,60
	9,00	7,50	1017,00	386,01	1403,01	1260,39	200,87
	10,33	6,99	914,53	391,72	1306,24	1184,08	172,06
	15,00	7,03	909,03	399,57	1308,60	1194,58	160,58
	16,00	7,02	886,27	405,06	1291,33	1164,94	178,00
	17,00	6,98	937,71	424,31	1362,02	1237,42	175,50
	17,33	7,14	930,92	407,70	1338,62	1222,16	164,03
	19,33	7,21	933,24	385,56	1318,80	1210,95	151,90
	22,00	7,32	915,60	404,88	1320,48	1208,93	157,11
	23,33	7,14	956,32	444,54	1400,86	1294,57	149,70
	24,00	7,08	909,65	493,58	1403,23	1288,13	162,12
	25,33	7,42	1014,85	342,50	1357,36	1252,21	148,10
Carga de Choque	26,00	7,19	1544,43	686,19	2230,62	2012,21	307,61
Após a Carga de Choque	26,33	7,30	1540,47	411,32	1951,79	1799,55	214,43
	27,33	7,22	957,90	465,90	1423,80	1313,10	155,91

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA II.61: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	3,33	3804	1496	206	168
	9,00	2988	1290	202	164
	16,00	2818	1208	192	160
	18,33	2630	1018	164	120
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.62: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da	0,00	-	-	-
Carga de	17,33	29,0	21,3	50,3
Choque	-	-	-	-
Carga de	-	-	-	-
Choque	-	-	-	-
Após a	-	-	-	-
Carga de	-	-	-	-
Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.63: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 4$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
	0,00	-
	1,00	1,48
	2,00	1,52
	3,33	1,48
	4,00	1,43
	8,00	1,39
	9,00	1,49
Antes da	10,33	1,50
Carga de	15,00	1,43
Choque	16,00	1,51
	17,00	1,46
	18,33	1,48
	19,33	1,42
	22,00	1,44
	23,33	1,52
	24,00	1,50
	25,33	1,38
Carga de Choque	26,00	1,47
Após a Carga de Choque	27,33	1,56

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l .

II.14. Operação em Batelada Alimentada (6 h) Seguida de Batelada (2 h) com Carga Orgânica Volumétrica de 12,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹ e Carga de Choque de 24,0 gDQO.l⁻¹.d⁻¹.

TABELA II.64: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	C _{SF} ^(b)	ε _{SF} ^(c)	C _{ST} ^(d)	ε _{ST} ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	2,33	486,0	92,8	687,0	89,8
	5,33	523,0	92,2	647,0	90,4
	6,33	612,0	90,9	818,0	87,9
	7,33	739,0	89,0	960,0	85,8
	8,33	532,0	92,1	812,0	88,0
	9,33	699,0	89,6	937,0	86,1
	12,00	546,0	91,9	936,0	86,1
	13,00	667,0	90,1	928,0	86,2
	14,33	702,0	89,6	881,0	86,9
	15,33	581,0	91,4	783,0	88,4
	16,33	483,0	92,8	891,0	86,8
	19,00	422,8	93,7	817,9	87,9
	19,33	491,2	92,7	918,3	86,4
	21,33	448,9	93,3	690,0	89,8
	23,33	477,2	92,9	796,7	88,2
Carga de Choque	26,00	755,9	94,3	1481,4	88,8
Após a Carga de Choque	26,33	388,3	94,2	1002,2	85,1
Carga de Choque	27,00	411,1	93,9	940,5	86,0
	28,33	379,9	94,4	609,0	91,0

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l⁻¹.

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada (%).

(d) Concentração de matéria orgânica não-filtrada, mgDQO.l⁻¹.

(e) Eficiência de remoção de matéria orgânica não-filtrada (%).

TABELA II.65: Variáveis para condição operacional em que $t_A = 6$ h,
 $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Condição	Tempo ^(a)	pH	AP ^(b)	AI ^(c)	AT ^(d)	AB ^(e)	AVT ^(f)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-	-	-
	6,33	7,18	1062,89	493,77	1556,66	1294,69	368,97
	7,33	7,15	1018,93	447,45	1466,38	1225,39	339,42
	8,33	7,14	965,55	416,84	1382,39	1161,41	311,23
	9,33	7,31	949,07	388,58	1337,64	1064,49	384,72
	12,00	7,35	1175,15	584,83	1759,97	1556,52	286,55
	13,00	7,23	1117,47	474,51	1591,98	1432,19	225,06
	14,33	7,11	1029,49	518,13	1547,62	1375,67	242,17
	15,33	7,50	1149,81	497,07	1646,88	1486,82	225,43
	16,33	7,19	964,06	437,66	1401,73	1228,60	243,85
	19,00	7,33	1048,11	351,21	1399,32	1228,91	240,01
	19,33	7,29	1030,17	387,78	1417,95	1240,33	250,17
	21,33	7,26	939,55	376,68	1316,23	1152,94	229,98
	23,33	7,57	1028,77	377,12	1405,89	1250,51	218,85
Carga de Choque	26,00	6,90	1011,06	575,64	1586,70	1280,69	431,00
Após a Carga de Choque	26,33	7,23	1009,22	546,12	1555,34	1438,34	164,78
	27,00	7,19	923,24	383,02	1306,26	1148,01	222,89
	28,33	7,21	1032,46	369,00	1401,46	1249,08	214,63

(a) Tempo, d.

(b) Alcalinidade parcial, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Alcalinidade intermediária, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(d) Alcalinidade total, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(e) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA II.66: Concentração de sólidos no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO	TEMPO ^(a)	ST ^(b)	STV ^(c)	SST ^(d)	SSV ^(e)
Antes da Carga de Choque	0,00	-	-	-	-
	7,33	3184	1300	220	218
	13,00	3522	1520	282	226
	15,33	3198	1116	216	172
	21,33	2716	1190	224	182
Carga de Choque	-	-	-	-	-
Após a Carga de Choque	-	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de sólidos totais, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de sólidos totais voláteis, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de sólidos suspensos totais, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de sólidos suspensos voláteis, mg.l^{-1} .

TABELA II.67: Concentração de nitrogênio orgânico, amoniacal e total Kjeldahl no efluente para condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		$N_{org}^{(b)}$	$N_{amon}^{(c)}$	$NTK^{(d)}$
O	TEMPO ^(A)			
Antes da	0,00	-	-	-
Carga de	19,33	19,6	39,6	59,1
Choque	-	-	-	-
Carga de	-	-	-	-
Choque	-	-	-	-
Após a	-	-	-	-
Carga de	-	-	-	-
Choque	-	-	-	-

(a) Tempo, d.

(b) Concentração de nitrogênio orgânico, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de nitrogênio amoniacal, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de nitrogênio total Kjeldahl, mg.l^{-1} .

TABELA II.68: Volume de efluente descarregado por ciclo na condição operacional em que $t_A = 6$ h, $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e $COV_{CC} = 24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

CONDIÇÃO		
O	TEMPO ^(A)	V _{DESCARREGADO} ^(B)
Antes da Carga de Choque	0,00	-
	2,33	1,47
	6,33	1,43
	7,33	1,53
	8,33	1,44
	9,33	1,46
	12,00	1,44
	13,00	1,53
	14,33	1,50
	15,33	-
	16,33	1,52
	21,33	1,47
	23,33	1,39
Carga de Choque	26,00	1,43
Após a Carga de Choque	27,00	1,52
	28,33	1,36

(a) Tempo, d.

(b) Volume descarregado por ciclo, l.

APÊNDICE III – Dados de Perfis ao Longo do Ciclo de Operação do Reator

III.1. Operação em Batelada com Carga Orgânica Volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA III.1: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 88	
	$C_{\text{SF}}^{(b)}$	$\epsilon_{\text{SF}}^{(c)}$
0,00	607,1	0,0
0,50	322,3	46,9
1,00	252,2	58,5
1,67	213,5	64,8
2,33	158,2	73,9
3,00	119,4	80,3
4,00	72,6	88,0
5,00	39,6	93,5
6,00	25,0	95,9
7,00	21,8	96,4
7,67	15,7	97,4

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.2: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 103	
	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$
0,00	626,7	0,0
0,50	314,8	49,8
1,00	242,1	61,4
1,67	208,1	66,8
2,33	177,7	71,6
3,00	140,1	77,6
4,00	115,0	81,6
5,00	67,1	89,3
6,00	51,4	91,8
7,00	58,9	90,6
7,67	20,2	96,8

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.3: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 88	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	164	63
0,50	131	105
1,00	126	105
1,67	116	101
2,33	129	83
3,00	143	69
4,00	172	43
5,00	193	28
6,00	195	21
7,00	221	19
7,67	207	17

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.4: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 103	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	182	72
0,50	160	120
1,00	142	141
1,67	169	109
2,33	170	110
3,00	182	86
4,00	198	67
5,00	203	51
6,00	229	39
7,00	227	35
7,67	246	22

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.5: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para
 $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$

Tempo ^(a)	Perfil nº 88							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	13,11	-	6,98	-	-	-	20,09
0,50	-	54,57	-	26,27	-	-	-	80,84
1,00	-	-	4,13	23,05	4,22	-	-	31,40
1,67	-	56,27	4,94	14,12	5,65	-	-	80,98
2,33	-	36,42	4,07	5,40	5,13	-	-	51,02
3,00	50,85	27,23	3,54	1,89	4,51	-	-	88,02
4,00	-	-	-	-	1,35	-	-	1,35
5,00	-	-	-	-	-	-	-	-
6,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,67	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.6: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para
 $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil n° 103							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	24,69	-	4,68	-	-	-	29,37
0,50	-	-	1,62	16,20	2,68	-	-	20,50
1,00	-	-	2,39	14,92	4,37	-	-	21,68
1,67	-	-	2,67	9,52	5,25	-	-	17,44
2,33	-	81,21	3,12	6,23	6,22	-	-	96,78
3,00	-	-	2,99	3,33	5,98	-	-	12,30
4,00	-	54,32	2,44	-	4,53	-	-	61,29
5,00	-	33,06	-	-	2,76	-	-	35,82
6,00	-	23,95	-	-	-	-	-	23,95
7,00	-	11,50	-	-	-	-	-	11,50
7,67	-	4,65	-	-	-	-	-	4,65

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.7: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para
 $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a) (h)	Perfil	
	Ciclo nº 97	
	C _{CH₄} ^(b)	C _{CO₂} ^(c)
0,00	0,0485	0,1176
0,19	0,3585	1,2161
0,29	0,5743	1,7927
0,43	0,7800	2,4048
0,58	0,9880	2,9499
0,78	1,3326	3,5801
0,98	1,7073	3,9744
1,16	2,0176	4,2189
1,44	2,6857	4,4244
1,72	3,2392	4,6945
2,00	3,7584	4,7139
2,31	4,4078	4,8306
2,69	5,1875	4,9938
3,01	5,7755	5,0278
3,49	6,3932	4,9709
4,00	7,0973	5,0088
4,51	7,7902	5,0860
5,02	8,2277	4,9917
5,53	8,5686	4,9693
6,05	9,2518	5,1925
6,57	9,5784	5,0842
7,08	10,0826	5,1553
7,67	10,2367	5,0969

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l⁻¹.

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l⁻¹.

TABELA III.8: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição operacional em que $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a) (h)	Perfil	
	Ciclo nº 97	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	29,20	70,80
0,19	22,77	77,23
0,29	24,26	75,74
0,43	24,49	75,51
0,58	25,09	74,91
0,78	27,13	72,87
0,98	30,05	69,95
1,16	32,35	67,65
1,44	37,77	62,23
1,72	40,83	59,17
2,00	44,36	55,64
2,31	47,71	52,29
2,69	50,95	49,05
3,01	53,46	46,54
3,49	56,26	43,74
4,00	58,63	41,37
4,51	60,50	39,50
5,02	62,24	37,76
5,53	63,29	36,71
6,05	64,05	35,95
6,57	65,33	34,67
7,08	66,17	33,83
7,67	66,76	33,24

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

TABELA III.9: Perfil de produção de metano para condição operacional em que
 $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo n° 97
	V _{acumulado} ^(b)
0,00	0,0
0,19	8,2
0,29	16,8
0,43	24,1
0,58	31,4
0,78	40,0
0,98	47,5
1,16	54,2
1,44	62,1
1,72	69,0
2,00	76,9
2,31	84,1
2,69	91,0
3,01	97,9
3,49	105,1
4,00	111,8
4,51	117,7
5,02	123,2
5,53	127,0
6,05	130,0
6,57	132,6
7,08	135,1
7,67	137,2

(a) Tempo, h.

(b) Volume acumulado de metano produzido na CNTP, ml.

III.2. Operação em Batelada com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA III.10: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para COV = 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 172	
A)	C _{SF} ^(b)	ϵ_{SF} ^(c)
0,00	1448,0	0,0
0,50	1076,2	25,7
1,00	913,4	36,9
1,67	800,9	44,7
2,33	733,2	49,4
3,00	691,2	52,3
4,00	605,9	58,2
5,00	524,4	63,8
6,00	453,3	68,7
7,00	387,8	73,2
7,67	343,0	76,3

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.11: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 187	
	$C_{sf}^{(b)}$	$\epsilon_{sf}^{(c)}$
0,00	1471,8	0,0
0,50	1000,8	32,0
1,00	846,7	42,5
1,67	729,5	50,4
2,33	647,3	56,0
3,00	622,1	57,7
4,00	528,5	64,1
5,00	445,2	69,8
6,00	385,4	73,8
7,00	324,3	78,0
7,67	308,9	79,0

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.12: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para COV = 6,00 gDQO. l^{-1} .d $^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 172	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	572	190
0,50	499	273
1,00	458	370
1,67	441	391
2,33	442	384
3,00	462	381
4,00	508	332
5,00	536	292
6,00	574	256
7,00	599	244
7,67	602	226

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA III.13: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 187	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	708	191
0,50	624	339
1,00	564	384
1,67	571	409
2,33	633	355
3,00	623	321
4,00	650	285
5,00	700	264
6,00	715	236
7,00	725	231
7,67	762	195

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.14: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para
 $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$

Tempo ^(a)	Perfil n° 172							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	41,73	45,52	-	-	-	-	-	87,25
0,50	90,97	100,40	-	2,46	1,50	-	-	195,33
1,00	129,31	145,17	-	3,39	2,31	-	-	280,18
1,67	-	-	-	-	-	-	-	-
2,33	-	-	-	-	-	-	-	-
3,00	166,83	217,52	-	5,17	7,32	-	-	396,84
4,00	151,32	193,69	-	4,75	9,13	-	-	358,89
5,00	126,98	162,43	-	3,98	10,21	-	-	303,60
6,00	126,23	151,35	-	3,27	10,13	-	-	290,98
7,00	110,04	124,55	-	2,52	10,01	-	-	247,12
7,67	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.15: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil n° 187							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	40,96	52,57	-	1,64	2,01	-	-	97,18
0,50	113,89	152,50	-	3,56	3,01	-	2,53	275,49
1,00	-	188,85	-	6,25	7,85	-	5,72	208,67
1,67	166,82	247,01	-	5,38	6,48	-	2,87	428,56
2,33	-	236,85	-	5,03	7,39	-	2,62	251,89
3,00	-	207,57	-	4,54	8,19	1,18	2,49	223,97
4,00	-	195,74	-	4,27	10,20	1,37	2,60	214,18
5,00	-	155,15	-	3,23	10,32	1,25	2,60	172,55
6,00	102,23	124,63	-	2,21	9,32	-	-	238,39
7,00	88,01	100,32	-	1,52	8,92	-	-	198,77
7,67	71,28	72,09	-	-	7,42	-	-	150,79

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.16: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para
 $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a) (h)	Perfil	
	Ciclo nº 184	
	C_{CH_4} ^(b)	C_{CO_2} ^(c)
0,00	-	-
0,12	0,4576	1,3970
0,25	0,6560	2,2849
0,43	0,9978	3,2938
0,54	1,2287	3,9546
0,67	1,5443	4,6275
0,81	2,3828	5,7065
0,95	2,7938	6,0916
1,09	3,4253	6,6152
1,23	4,0904	7,2811
1,37	4,5870	7,6138
1,54	-	-
1,73	5,8450	7,9564
1,96	6,8046	8,2424
2,22	7,7148	8,2445
2,48	-	-
2,78	9,4896	8,4678
3,08	10,4501	8,3327
3,40	11,0885	8,3122
3,73	12,0570	8,3125
4,03	12,5313	8,1267
4,42	13,3994	8,2435
4,93	14,5455	8,3229
5,45	-	-
5,97	15,6363	8,1778
6,49	-	-
7,01	16,0877	8,0033
7,52	16,4155	7,9109
7,67	16,5636	7,9247

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.17: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição operacional em que $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a) (h)	Perfil	
	Ciclo nº 184	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	-	-
0,12	24,68	75,32
0,25	22,31	77,69
0,43	23,25	76,75
0,54	23,71	76,29
0,67	25,02	74,98
0,81	29,46	70,54
0,95	31,44	68,56
1,09	34,11	65,89
1,23	35,97	64,03
1,37	37,60	62,40
1,54	-	-
1,73	42,35	57,65
1,96	45,22	54,78
2,22	48,34	51,66
2,48	-	-
2,78	52,85	47,15
3,08	55,64	44,36
3,40	57,16	42,84
3,73	59,19	40,81
4,03	60,66	39,34
4,42	61,91	38,09
4,93	63,61	36,39
5,45	-	-
5,97	65,66	34,34
6,49	-	-
7,01	66,78	33,22
7,52	67,48	32,52
7,67	67,64	32,36

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

TABELA III.18: Perfil de produção de metano para condição operacional em que
 $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 184
	V _{acumulado} ^(b)
0,00	0,0
0,12	7,7
0,25	15,6
0,43	22,5
0,54	29,8
0,67	38,0
0,81	45,7
0,95	53,7
1,09	61,8
1,23	70,3
1,37	77,3
1,54	84,2
1,73	91,6
1,96	99,6
2,22	107,0
2,48	114,2
2,78	121,2
3,08	128,1
3,40	134,9
3,73	142,4
4,03	148,9
4,42	155,1
4,93	162,6
5,45	169,3
5,97	174,9
6,49	180,2
7,01	184,5
7,52	188,4
7,67	189,2

(a) Tempo, h.

(b) Volume acumulado de metano produzido na CNTP, ml.

III.3. Operação em Batelada com Carga Orgânica Volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA III.19: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 94	
A)	$C_{\text{SF}}^{(b)}$	$\epsilon_{\text{SF}}^{(c)}$
0,00	3646,4	0,0
0,50	3163,4	13,2
1,00	2433,2	33,3
1,67	1976,9	45,8
2,33	1767,9	51,5
3,00	1620,7	55,6
4,00	1400,6	61,6
5,00	1333,8	63,4
6,00	1190,1	67,4
7,00	1033,5	71,7
7,67	900,0	75,3

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.20: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 136	
	C_{sf} ^(b)	ϵ_{sf} ^(c)
0,00	3742,0	0,0
0,50	3266,3	12,7
1,00	2373,1	36,6
1,67	1972,3	47,3
2,33	1960,7	47,6
3,00	1646,7	56,0
4,00	1409,7	62,3
5,00	1165,6	68,9
6,00	1080,0	71,1
7,00	900,1	75,9
7,67	828,3	77,9

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.21: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 94	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1310	280
0,50	1275	433
1,00	1073	549
1,67	971	667
2,33	968	754
3,00	966	751
4,00	1017	722
5,00	1106	649
6,00	1158	595
7,00	1214	577
7,67	1321	510

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA III.22: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 136	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1440	341
0,50	1432	494
1,00	1196	805
1,67	1108	918
2,33	1246	906
3,00	1217	847
4,00	1329	727
5,00	1499	722
6,00	1511	614
7,00	1529	527
7,67	1514	478

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.23: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para
 $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

Tempo ^(a)	Perfil n° 94							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	72,99	75,99	1,56	10,16	3,10	-	-	163,80
0,50	137,75	183,16	2,23	33,55	4,16	1,28	-	362,13
1,00	252,02	291,51	2,87	51,57	5,42	1,84	-	605,23
1,67	332,02	408,75	3,95	73,08	7,48	2,70	2,57	830,55
2,33	333,49	419,89	4,18	71,01	8,07	3,00	2,05	841,69
3,00	411,30	533,43	5,92	81,36	11,49	4,17	2,27	1049,94
4,00	425,77	560,68	8,29	79,97	16,62	5,65	2,57	1099,55
5,00	396,61	520,14	9,58	72,63	19,62	6,40	2,70	1027,68
6,00	-	455,72	12,38	77,05	27,76	8,84	3,36	585,11
7,00	337,99	435,63	11,16	58,25	24,10	7,19	2,85	877,17
7,67	309,99	387,01	11,04	50,31	23,53	6,91	2,56	791,35

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

TABELA III.24: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil n° 136							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	124,92	113,63	3,72	39,53	5,77	2,54	2,77	292,88
0,50	236,54	210,37	4,54	97,27	6,76	3,24	2,40	561,12
1,00	317,19	284,91	5,48	143,84	8,03	4,03	2,58	766,06
1,67	403,08	381,02	7,10	197,04	10,32	5,28	-	1003,84
2,33	527,99	525,93	10,08	211,24	12,02	5,71	2,25	1295,22
3,00	551,08	552,74	12,20	200,71	14,97	6,95	2,29	1340,94
4,00	526,65	519,88	14,80	170,76	18,67	7,77	2,30	1260,83
5,00	331,57	323,72	12,58	121,37	20,24	8,38	2,11	819,97
6,00	290,43	274,25	13,52	90,96	22,49	8,17	1,90	701,72
7,00	265,44	231,14	13,88	69,48	22,87	7,61	2,09	612,51
7,67	231,22	197,03	13,09	50,12	22,19	7,43	2,01	523,09

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.25: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para
 $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo nº 118	
	C _{CH₄} ^(b)	C _{CO₂} ^(c)
0,00	-	-
0,09	0,1132	0,4970
0,17	0,1791	0,6685
0,25	-	-
0,32	0,3723	1,0955
0,38	0,4060	1,0653
0,45	0,4293	1,0564
0,53	0,5576	1,2587
0,61	0,6529	1,3704
0,68	0,7148	1,4059
0,75	0,6566	1,2131
0,83	0,8864	1,5584
0,90	1,5436	2,5668
0,97	0,6964	1,1681
1,04	0,9122	1,4721
1,12	0,9385	1,4811
1,19	0,5660	0,8677
1,28	1,3235	1,9799
1,37	0,9571	1,4073
1,46	1,5377	2,1714
1,56	0,7197	0,9971
1,69	1,0997	1,4845
1,81	0,8569	1,1202
1,94	1,3483	1,7006
2,09	0,9001	1,0759
2,25	1,5519	1,7526
2,41	1,1961	1,2814
2,61	1,2185	1,2317
2,80	2,4345	2,2986
3,04	1,5411	1,3718
3,47	1,7014	1,3534
3,95	1,6404	1,1859
4,48	1,6455	1,0855
4,99	0,4351	0,2677
5,51	0,8559	0,4971
6,03	0,8184	0,4426
6,54	2,7378	1,5007
7,06	7,2978	3,9719
7,67	10,2101	5,3403

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l⁻¹.

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l⁻¹.

TABELA III.26: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição operacional em que $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo nº 118	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	-	-
0,09	18,55	81,45
0,17	21,13	78,87
0,25	-	-
0,32	25,36	74,64
0,38	27,59	72,41
0,45	28,90	71,10
0,53	30,70	69,30
0,61	32,27	67,73
0,68	33,71	66,29
0,75	35,12	64,88
0,83	36,26	63,74
0,90	37,55	62,45
0,97	37,35	62,65
1,04	38,26	61,74
1,12	38,79	61,21
1,19	39,48	60,52
1,28	40,06	59,94
1,37	40,48	59,52
1,46	41,46	58,54
1,56	41,92	58,08
1,69	42,55	57,45
1,81	43,34	56,66
1,94	44,22	55,78
2,09	45,55	54,45
2,25	46,96	53,04
2,41	48,28	51,72
2,61	49,73	50,27
2,80	51,44	48,56
3,04	52,91	47,09
3,47	55,70	44,30
3,95	58,04	41,96
4,48	60,25	39,75
4,99	61,91	38,09
5,51	63,26	36,74
6,03	64,90	35,10
6,54	64,59	35,41
7,06	64,76	35,24
7,67	65,66	34,34

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

TABELA III.27: Perfil de produção de metano para condição operacional em que
 $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 118
	V _{acumulado} ^(b)
0,00	0,0
0,09	12,4
0,17	24,0
0,25	34,4
0,32	44,2
0,38	52,9
0,45	62,5
0,53	73,4
0,61	84,3
0,68	93,4
0,75	102,1
0,83	112,8
0,90	120,8
0,97	129,0
1,04	137,6
1,12	145,9
1,19	153,6
1,28	162,5
1,37	171,0
1,46	179,0
1,56	187,5
1,69	196,9
1,81	205,9
1,94	214,3
2,09	221,2
2,25	228,5
2,41	235,2
2,61	241,8
2,80	248,7
3,04	254,9
3,47	261,5
3,95	268,0
4,48	274,5
4,99	280,0
5,51	285,4
6,03	290,3
6,54	295,1
7,06	299,9
7,67	304,6

(a) Tempo, h.

(b) Volume acumulado de metano produzido na CNTP, ml.

III.4. Ensaio Extras – Condição 1 da Operação em Batelada com Carga Orgânica Volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA III.28: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para a condição 1 com $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 39	
	$C_{\text{SF}}^{(b)}$	$\epsilon_{\text{SF}}^{(c)}$
0,00	3644,1	0,0
0,50	2631,8	27,8
1,00	2175,6	40,3
1,67	1815,6	50,2
2,33	1652,0	54,7
3,00	1527,5	58,1
4,00	1344,3	63,1
5,00	1086,9	70,2
6,00	943,7	74,1
7,00	900,0	75,3
7,67	776,9	78,7

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.29: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para a condição 1 com COV = 12,0 gDQO. l^{-1} .d $^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 39	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1772	335
0,50	1374	531
1,00	1169	676
1,67	1099	769
2,33	1066	762
3,00	1206	740
4,00	1263	672
5,00	1329	585
6,00	1320	568
7,00	1453	533
7,67	1470	471

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, mgCaCO₃. l^{-1} .

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc. l^{-1} .

TABELA III.30: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para a condição 1 com COV = 12,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$

Tempo ^(a)	Perfil nº 39							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	110,56	120,47	2,96	8,50	5,81	3,68	-	251,98
0,50	177,16	216,02	2,96	16,41	5,79	5,82	2,31	426,47
1,00	331,84	412,14	4,73	31,89	9,19	11,11	2,78	803,68
1,67	408,35	510,03	5,89	39,62	11,84	15,24	2,88	993,85
2,33	423,81	553,98	6,99	41,93	14,14	17,25	2,71	1060,81
3,00	450,31	594,94	8,63	40,45	17,54	17,81	2,73	1132,41
4,00	395,92	504,99	9,31	33,03	19,69	15,88	2,72	981,54
5,00	372,95	473,64	11,62	29,92	25,34	15,82	3,23	932,52
6,00	335,20	382,55	11,23	21,97	22,51	11,25	2,22	786,93
7,00	238,27	286,64	10,61	16,34	22,63	10,37	3,05	587,91
7,67	104,15	117,52	4,73	6,13	9,46	3,73	1,21	246,93

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg. l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg. l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg. l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg. l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg. l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg. l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg. l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg. l^{-1} .

III.5. Operação em Batelada Alimentada (2h) Seguida de Batelada (6h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA III.31: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 69
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	28,3
0,50	245,7
1,00	314,2
1,67	353,9
2,33	303,4
3,00	202,1
4,00	121,9
5,00	89,8
6,00	39,9
7,00	32,3
7,83	26,7

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

TABELA III.32: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo n° 78	
	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$
0,00	2162,0	0,0
0,50	1842,9	14,8
1,00	1720,4	20,4
1,67	1429,2	33,9
2,33	1400,3	35,2
3,00	1331,6	38,4
4,00	1230,7	43,1
5,00	1163,5	46,2
6,00	1148,9	46,9
7,00	1051,7	51,4
7,83	784,8	63,7

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.33: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 69	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	303	53
0,50	206	95
1,00	181	130
1,67	108	134
2,33	114	143
3,00	159	118
4,00	184	97
5,00	216	59
6,00	214	55
7,00	216	52
7,83	232	48

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.34: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 78	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	0	741
0,50	0	636
1,00	0	604
1,67	0	524
2,33	0	520
3,00	0	516
4,00	81	494
5,00	204	461
6,00	267	451
7,00	355	390
7,83	430	343

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.35: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil n° 69							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	15,76	-	5,37	-	-	-	21,13
1,00	-	27,56	1,06	9,44	1,28	-	2,02	41,36
1,67	-	-	1,59	14,29	2,01	-	2,36	20,25
2,33	-	-	1,55	12,08	2,04	-	1,81	17,48
3,00	-	-	2,41	11,83	3,24	-	2,73	20,21
4,00	-	13,07	1,61	3,92	2,16	-	2,10	22,86
5,00	-	-	-	-	-	-	1,83	1,83
6,00	-	-	-	-	-	-	2,86	2,86
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.36: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2 \text{ h}$ e $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 78							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	7,55	142,89	14,56	9,91	3,71	178,62
0,50	-	-	6,21	106,73	12,71	8,47	3,20	137,32
1,00	-	-	5,75	94,61	11,83	7,72	2,82	122,73
1,67	-	-	5,96	88,07	11,68	7,21	2,58	115,50
2,33	-	-	5,79	80,08	11,95	7,30	2,57	107,69
3,00	-	-	7,26	84,00	15,29	9,02	3,21	118,78
4,00	-	-	7,81	69,23	16,37	9,44	3,31	106,16
5,00	-	-	9,17	62,79	19,19	10,41	3,52	105,08
6,00	-	-	11,72	60,75	23,39	11,78	3,77	111,41
7,00	-	-	10,83	40,79	21,81	10,81	3,30	87,54
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.37: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 63	
	$C_{CH_4}^{(b)}$	$C_{CO_2}^{(c)}$
0,00	0,3021	0,1774
0,25	0,9724	0,9142
0,50	1,3807	2,1787
0,75	1,7664	2,9903
1,00	2,2396	3,6806
1,25	2,7176	4,2239
1,50	3,3058	4,6878
1,75	4,1029	5,0979
2,00	4,9191	5,4854
2,25	5,6952	5,7587
2,50	7,3140	5,9779
2,75	7,4554	5,9454
3,00	8,0112	5,9616
3,50	8,8717	5,8833
4,00	9,8366	5,8589
4,50	10,3911	5,7551
5,00	10,8838	5,7075
5,50	11,3347	5,6471
6,00	11,5302	5,5739
6,50	11,6921	5,5235
7,00	11,8785	5,5308
7,50	11,8921	5,4157
7,83	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.38: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo n° 63	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	63,00	37,00
0,25	51,54	48,46
0,50	38,79	61,21
0,75	37,13	62,87
1,00	37,83	62,17
1,25	39,15	60,85
1,50	41,36	58,64
1,75	44,59	55,41
2,00	47,28	52,72
2,25	49,72	50,28
2,50	55,03	44,97
2,75	55,63	44,37
3,00	57,33	42,67
3,50	60,13	39,87
4,00	62,67	37,33
4,50	64,36	35,64
5,00	65,60	34,40
5,50	66,75	33,25
6,00	67,41	32,59
6,50	67,92	32,08
7,00	68,23	31,77
7,50	68,71	31,29
7,83	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.6. Operação em Batelada Alimentada (4h) Seguida de Batelada (4h) com Carga Orgânica Volumétrica de 3,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA III.39: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 71
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	59,9
0,50	111,7
1,00	138,8
1,67	177,7
2,33	184,8
3,00	200,9
4,00	204,8
5,00	120,5
6,00	80,7
7,00	52,9
7,83	43,2

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

TABELA III.40: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 77	
A)	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$
0,00	2488,1	0,0
0,50	2316,7	6,9
1,00	2233,4	10,2
1,67	1965,6	21,0
2,33	1900,0	23,6
3,00	1814,2	27,1
4,00	1675,3	32,7
5,00	1600,1	35,7
6,00	1546,7	37,8
7,00	1439,8	42,1
7,83	1312,3	47,3

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.41: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 71	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	343	50
0,50	287	72
1,00	242	92
1,67	221	109
2,33	205	141
3,00	200	152
4,00	187	153
5,00	233	126
6,00	237	67
7,00	264	55
7,83	301	51

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.42: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 77	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	0	824
0,50	0	820
1,00	0	766
1,67	0	744
2,33	0	735
3,00	0	682
4,00	0	692
5,00	0	650
6,00	0	654
7,00	0	641
7,83	0	582

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot \text{l}^{-1}$.

TABELA III.43: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 71							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	8,47	-	-	-	-	-	8,47
1,00	-	16,28	-	3,87	-	-	-	20,15
1,67	-	-	-	5,04	-	-	-	5,04
2,33	-	-	-	7,96	2,54	-	-	10,50
3,00	-	-	1,95	8,32	2,68	-	-	12,95
4,00	-	31,44	2,38	10,04	3,24	-	-	47,10
5,00	-	-	2,00	2,23	2,80	-	-	7,03
6,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.44: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 77							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	10,92	216,31	16,06	10,23	4,29	257,81
0,50	-	-	13,18	245,40	18,58	11,85	5,06	294,07
1,00	-	-	12,91	236,39	18,65	11,64	4,96	284,55
1,67	-	-	12,20	222,18	18,83	11,67	5,13	270,01
2,33	-	-	12,61	221,63	19,48	11,93	5,18	270,83
3,00	-	-	14,40	231,11	21,19	13,00	5,64	285,34
4,00	-	-	-	-	-	-	-	-
5,00	-	-	15,36	230,57	26,13	14,36	6,02	292,44
6,00	-	-	17,61	212,98	28,72	15,07	6,37	280,75
7,00	-	-	16,76	183,93	34,55	17,58	7,18	260,00
7,83	-	-	18,43	167,50	37,04	18,07	7,16	248,20

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.45: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 65	
	$C_{CH_4}^{(b)}$	$C_{CO_2}^{(c)}$
0,00	-	-
0,25	0,3038	1,0529
0,50	0,5492	1,5559
0,75	0,8896	2,0172
1,00	1,1896	2,4100
1,25	-	-
1,50	2,1979	3,1322
1,75	2,4103	3,3114
2,00	2,6218	3,4369
2,25	3,1814	3,6559
2,50	3,5266	3,8289
2,75	4,0404	4,0248
3,00	4,2476	4,1857
3,50	5,0071	4,4342
4,00	-	-
4,50	6,7995	4,5353
5,00	-	-
5,50	7,9558	4,5179
6,00	8,3364	4,4895
6,50	8,6372	4,4462
7,00	8,6995	4,3934
7,50	8,8504	4,3407
7,83	8,8459	4,3383

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.46: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a) (h)	Perfil	
	Ciclo nº 65	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	-	-
0,25	22,39	77,61
0,50	26,09	73,91
0,75	30,60	69,40
1,00	33,05	66,95
1,25	-	-
1,50	41,24	58,76
1,75	42,13	57,87
2,00	43,27	56,73
2,25	46,53	53,47
2,50	47,95	52,05
2,75	50,10	49,90
3,00	50,37	49,63
3,50	53,03	46,97
4,00	-	-
4,50	59,99	40,01
5,00	-	-
5,50	63,78	36,22
6,00	65,00	35,00
6,50	66,02	33,98
7,00	66,44	33,56
7,50	67,09	32,91
7,83	67,09	32,91

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.7. Operação em Batelada Alimentada (6h) Seguida de Batelada (2h) com Carga Orgânica Volumétrica de $3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA III.47: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6 \text{ h}$ e $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 61
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	32,0
0,50	46,4
1,00	59,8
1,67	61,3
2,33	63,4
3,00	64,9
4,00	67,3
5,00	70,9
6,00	54,1
7,00	39,1
7,83	33,2

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.48: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo n° 73	
	$C_{SF}^{(b)}$	$\epsilon_{SF}^{(c)}$
0,00	1791,1	0,0
0,50	1643,8	8,2
1,00	1484,2	17,1
1,67	1396,0	22,1
2,33	1295,2	27,7
3,00	1202,7	32,9
4,00	1133,6	36,7
5,00	1025,0	42,8
6,00	890,1	50,3
7,00	860,8	51,9
7,83	698,5	61,0

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

(c) Eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada, %.

TABELA III.49: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 61	
A)	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	292	74
0,50	278	85
1,00	249	107
1,67	251	91
2,33	251	87
3,00	247	86
4,00	229	84
5,00	249	82
6,00	263	72
7,00	276	67
7,83	298	65

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.50: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 73	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	82	782
0,50	60	703
1,00	23	695
1,67	25	683
2,33	33	667
3,00	30	660
4,00	98	602
5,00	140	550
6,00	146	531
7,00	169	519
7,83	250	469

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.51: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 61							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1,67	-	-	-	-	-	-	-	-
2,33	-	-	-	-	-	-	-	-
3,00	-	-	-	-	-	-	-	-
4,00	-	-	-	-	-	-	-	-
5,00	-	-	-	-	-	-	-	-
6,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.52: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6 \text{ h}$ e $\text{COV} = 3,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 73							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	7,92	84,05	15,47	8,51	2,69	118,64
0,50	-	-	8,76	95,20	17,37	9,71	3,12	134,16
1,00	-	-	9,82	101,23	19,95	10,95	3,56	145,51
1,67	-	-	10,43	95,48	21,83	11,83	3,89	143,46
2,33	-	-	10,96	89,37	23,51	12,47	4,04	140,35
3,00	-	-	11,93	84,10	26,46	13,40	4,25	140,14
4,00	-	-	12,87	75,57	29,44	14,16	4,35	136,39
5,00	-	-	13,80	54,04	32,23	14,53	4,12	118,72
6,00	-	-	15,97	47,38	37,34	15,72	3,98	120,39
7,00	-	-	17,88	35,99	41,01	16,73	3,77	115,38
7,83	-	-	18,86	23,81	41,42	16,26	2,92	103,27

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

TABELA III.53: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 52	
	$C_{CH_4}^{(b)}$	$C_{CO_2}^{(c)}$
0,00	-	-
0,25	5,3852	2,5310
0,50	5,5822	2,7831
0,75	5,0994	2,4903
1,00	4,5871	1,7858
1,25	4,0461	1,8525
1,50	3,9969	1,8062
1,75	4,3141	1,9399
2,00	4,3286	1,9386
2,25	-	-
2,50	5,0364	2,2122
2,75	4,7816	2,1368
3,00	5,1009	2,3872
3,50	5,2535	2,2484
4,00	5,7127	2,4885
4,50	6,0215	2,5348
5,00	5,9137	2,6038
5,50	6,7925	2,7333
6,00	7,1241	2,7460
6,50	7,2229	2,6629
7,00	7,4597	2,9241
7,50	7,8261	3,5408
7,83	8,4334	4,4092

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.54: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 3,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo nº 52	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	-	-
0,25	68,03	31,97
0,50	66,73	33,27
0,75	67,19	32,81
1,00	71,98	28,02
1,25	68,59	31,41
1,50	68,88	31,12
1,75	68,98	31,02
2,00	69,07	30,93
2,25	-	-
2,50	69,48	30,52
2,75	69,11	30,89
3,00	68,12	31,88
3,50	70,03	29,97
4,00	69,66	30,34
4,50	70,38	29,62
5,00	69,43	30,57
5,50	71,31	28,69
6,00	72,18	27,82
6,50	73,06	26,94
7,00	71,84	28,16
7,50	68,85	31,15
7,83	65,67	34,33

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.8. Operação em Batelada Alimentada (2h) Seguida de Batelada (6h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA III.55: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 76
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	63,3
0,50	349,8
1,00	504,7
1,67	614,6
2,33	594,6
3,00	496,2
4,00	327,0
5,00	194,8
6,00	128,0
7,00	76,7
7,83	50,6

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

TABELA III.56: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 85
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	295,4
0,50	825,6
1,00	799,4
1,67	783,8
2,33	689,2
3,00	497,1
4,00	319,7
5,00	308,0
6,00	242,8
7,00	197,0
7,83	119,6

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.57: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 76	
A)	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	961	99
0,50	932	162
1,00	858	226
1,67	715	258
2,33	651	305
3,00	706	271
4,00	762	217
5,00	849	159
6,00	894	125
7,00	962	116
7,83	1005	100

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.58: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 85	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1513	256
0,50	1032	376
1,00	1077	387
1,67	988	390
2,33	899	403
3,00	1023	346
4,00	1012	285
5,00	1042	222
6,00	1111	175
7,00	1122	156
7,83	1137	150

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.59: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 76							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	44,35	-	3,19	1,88	-	-	49,42
1,00	-	84,91	1,64	3,67	2,70	-	-	92,92
1,67	-	-	2,25	4,74	3,94	-	-	10,93
2,33	-	-	2,42	5,13	4,72	-	-	12,27
3,00	-	-	2,84	4,98	5,83	1,33	-	14,98
4,00	-	110,78	3,22	3,57	6,46	1,43	-	125,46
5,00	-	57,47	2,51	-	4,48	-	-	64,46
6,00	-	29,41	2,09	-	3,15	-	-	34,65
7,00	-	8,43	-	-	-	-	-	8,43
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.60: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 85							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	3,63	3,03	5,79	-	-	12,45
0,50	-	-	3,50	6,14	6,16	-	-	15,80
1,00	-	-	4,28	7,76	8,02	1,83	-	21,89
1,67	-	-	4,16	7,71	8,19	2,14	-	22,20
2,33	-	-	5,11	9,03	10,27	2,76	-	27,17
3,00	-	-	5,21	7,44	10,52	2,80	-	25,97
4,00	-	-	4,97	4,23	9,06	2,23	-	20,49
5,00	-	-	3,97	-	5,87	-	-	9,84
6,00	-	-	1,62	-	1,84	-	-	3,46
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

TABELA III.61: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 64	
	$C_{CH_4}^{(b)}$	$C_{CO_2}^{(c)}$
0,00	0,0229	0,0610
0,25	0,4557	1,5532
0,50	1,0120	2,7329
0,75	2,4048	2,7270
1,00	3,6221	4,4944
1,25	4,4085	5,4838
1,50	5,5009	5,9908
1,75	6,6210	6,6406
2,00	7,9829	7,1226
2,25	9,3527	7,7144
2,50	10,0014	7,6436
2,75	11,2233	7,8242
3,00	12,6473	7,6565
3,50	13,7963	7,2737
4,00	14,1709	7,0503
4,50	14,4459	6,7345
5,00	14,2642	6,5039
5,50	13,7714	6,0432
6,00	13,0201	5,5898
6,50	12,4149	5,2899
7,00	11,7232	5,0193
7,50	-	-
7,83	11,4610	4,9679

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.62: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 64	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	27,30	72,70
0,25	22,68	77,32
0,50	27,02	72,98
0,75	46,86	53,14
1,00	44,63	55,37
1,25	44,56	55,44
1,50	47,87	52,13
1,75	49,93	50,07
2,00	52,85	47,15
2,25	54,80	45,20
2,50	56,68	43,32
2,75	58,92	41,08
3,00	62,29	37,71
3,50	65,48	34,52
4,00	66,78	33,22
4,50	68,20	31,80
5,00	68,68	31,32
5,50	69,50	30,50
6,00	69,96	30,04
6,50	70,12	29,88
7,00	70,02	29,98
7,50	-	-
7,83	69,76	30,24

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.9. Operação em Batelada Alimentada (4h) Seguida de Batelada (4h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA III.63: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 70
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	58,6
0,50	265,3
1,00	326,6
1,67	350,1
2,33	375,2
3,00	363,7
4,00	208,2
5,00	122,9
6,00	89,4
7,00	72,9
7,83	63,7

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

TABELA III.64: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 85
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	708,1
0,50	696,3
1,00	651,2
1,67	580,6
2,33	557,6
3,00	513,2
4,00	436,9
5,00	245,5
6,00	173,3
7,00	82,7
7,83	78,5

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.65: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 70	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1075	106
0,50	1035	113
1,00	1007	150
1,67	907	186
2,33	900	189
3,00	913	175
4,00	898	175
5,00	953	161
6,00	1022	131
7,00	1029	122
7,83	1013	119

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.66: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 85	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1514	437
0,50	1347	379
1,00	1228	365
1,67	1150	338
2,33	1084	319
3,00	1075	311
4,00	1034	298
5,00	1127	275
6,00	1187	211
7,00	1137	199
7,83	1155	193

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.67: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 70							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	11,37	-	-	-	-	-	11,37
1,00	-	-	-	-	1,82	-	-	1,82
1,67	-	58,34	1,45	1,70	2,44	-	-	63,93
2,33	-	-	1,97	2,42	3,27	-	-	7,66
3,00	-	73,66	2,23	3,27	3,70	-	-	82,86
4,00	-	52,99	2,39	-	3,73	-	-	59,11
5,00	-	14,31	-	-	-	-	-	14,31
6,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.L^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.L^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.L^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.L^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.L^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.L^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.L^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.L^{-1} .

TABELA III.68: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 85							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	13,63	14,85	29,31	11,65	-	69,44
0,50	-	-	11,97	18,58	21,82	11,19	-	63,56
1,00	-	-	11,33	13,51	19,40	9,65	-	53,89
1,67	-	-	8,97	9,18	14,23	7,12	-	39,50
2,33	-	-	7,75	7,93	11,58	5,59	-	32,85
3,00	-	-	6,73	7,07	9,73	4,44	-	27,97
4,00	-	-	5,13	6,20	7,30	3,13	-	21,76
5,00	-	-	4,68	3,82	6,54	2,30	-	17,34
6,00	-	-	2,76	-	3,32	-	-	6,08
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

TABELA III.69: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 73	
	$C_{CH_4}^{(b)}$	$C_{CO_2}^{(c)}$
0,00	0,0114	0,0327
0,25	0,8672	2,7640
0,50	1,4172	3,7173
0,75	2,0988	4,4869
1,00	2,7679	4,9721
1,25	3,6063	5,4461
1,50	4,0852	5,6309
1,75	4,8394	6,0549
2,00	5,4754	6,3634
2,25	6,2305	6,6700
2,50	6,8018	6,8468
2,75	7,5431	7,1341
3,00	8,2754	7,3353
3,50	9,4866	7,6374
4,00	10,8942	7,9536
4,50	12,1361	7,8339
5,00	13,6865	7,8377
5,50	15,0101	8,1126
6,00	14,8201	7,5654
6,50	15,2630	7,5122
7,00	15,4719	7,4020
7,83	16,8054	6,3287

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.70: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo n° 73	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	25,85	74,15
0,25	23,88	76,12
0,50	27,60	72,40
0,75	31,87	68,13
1,00	35,76	64,24
1,25	39,84	60,16
1,50	42,05	57,95
1,75	44,42	55,58
2,00	46,25	53,75
2,25	48,30	51,70
2,50	49,84	50,16
2,75	51,39	48,61
3,00	53,01	46,99
3,50	55,40	44,60
4,00	57,80	42,20
4,50	60,77	39,23
5,00	63,59	36,41
5,50	64,91	35,09
6,00	66,20	33,80
6,50	67,02	32,98
7,00	67,64	32,36
7,83	72,64	27,36

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.10. Operação em Batelada Alimentada (6h) Seguida de Batelada (2h) com Carga Orgânica Volumétrica de 6,00 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$ e Carga de Choque de 24,0 gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TABELA III.71: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 52
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	79,3
0,50	129,7
1,00	158,5
1,67	178,2
2,33	190,7
3,00	195,5
4,00	201,6
5,00	218,2
6,00	200,0
7,00	129,8
7,83	89,6

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO. l^{-1} .

TABELA III.72: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 73
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	736,4
0,50	694,4
1,00	586,1
1,67	542,3
2,33	387,6
3,00	347,4
4,00	326,0
5,00	300,0
6,00	257,6
7,00	186,8
7,83	95,7

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.73: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 52	
A)	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	937	105
0,50	940	107
1,00	914	109
1,67	908	113
2,33	899	117
3,00	902	119
4,00	922	131
5,00	911	132
6,00	926	130
7,00	973	112
7,83	944	107

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.74: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 73	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1390	449
0,50	1251	414
1,00	1186	372
1,67	1086	326
2,33	1030	299
3,00	910	283
4,00	923	264
5,00	1077	259
6,00	1100	241
7,00	1217	199
7,83	1268	171

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.75: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 52							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	17,31	-	2,67	-	-	-	19,98
1,00	-	25,88	-	2,98	-	-	-	28,86
1,67	-	32,65	-	3,89	-	-	-	36,54
2,33	-	-	-	-	-	-	-	-
3,00	-	41,74	-	5,56	2,43	-	-	49,73
4,00	-	43,46	-	6,35	2,56	-	-	52,37
5,00	-	46,95	-	6,95	2,69	-	-	56,59
6,00	-	53,02	-	7,78	3,22	-	-	64,02
7,00	-	17,37	-	-	-	-	-	17,37
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.76: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6 \text{ h}$ e $\text{COV} = 6,00 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 73							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	8,05	13,49	17,56	6,18	-	45,28
0,50	-	-	8,19	15,21	16,73	5,97	-	46,10
1,00	-	-	7,65	10,69	14,36	5,18	-	37,88
1,67	-	-	7,31	8,19	12,18	4,11	-	31,79
2,33	-	-	5,56	5,97	8,70	2,68	-	22,91
3,00	-	-	4,32	4,94	6,33	-	-	15,59
4,00	-	-	3,53	4,83	5,09	-	-	13,45
5,00	-	-	3,05	4,76	4,39	-	-	12,20
6,00	-	-	2,64	4,25	3,96	-	-	10,85
7,00	-	-	-	-	2,25	-	-	2,25
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

TABELA III.77: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 49	
	$C_{CH_4}^{(b)}$	$C_{CO_2}^{(c)}$
0,00	-	-
0,25	0,4891	1,5697
0,50	0,9773	2,5079
0,75	1,4014	3,5205
1,00	2,7600	4,4628
1,25	3,4737	4,9948
1,50	4,3602	6,3582
1,75	5,0982	5,3489
2,00	-	-
2,25	6,5143	6,4447
2,50	6,9728	7,0287
2,75	11,1649	9,2495
3,00	11,0187	9,1620
3,50	11,6990	8,6024
4,00	10,5203	9,4665
4,50	10,8472	8,6519
5,00	10,8573	8,8805
5,50	18,6891	8,7409
6,00	16,0622	7,9038
6,50	17,7347	8,0968
7,00	18,7307	7,8580
7,83	17,6860	7,3460

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.78: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 6,00 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 49	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	-	-
0,25	23,76	76,24
0,50	28,04	71,96
0,75	28,47	71,53
1,00	38,21	61,79
1,25	41,02	58,98
1,50	40,68	59,32
1,75	48,80	51,20
2,00	-	-
2,25	50,27	49,73
2,50	49,80	50,20
2,75	54,69	45,31
3,00	54,60	45,40
3,50	57,63	42,37
4,00	52,64	47,36
4,50	55,63	44,37
5,00	55,01	44,99
5,50	68,13	31,87
6,00	67,02	32,98
6,50	68,66	31,34
7,00	70,45	29,55
7,83	70,65	29,35

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.11. Operação em Batelada Alimentada (2h) Seguida de Batelada (6h) com Carga Orgânica Volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA III.79: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2 \text{ h}$ e $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 82
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	203,9
0,50	933,2
1,00	1273,3
1,67	1667,7
2,33	1477,6
3,00	1228,6
4,00	973,8
5,00	677,4
6,00	430,2
7,00	253,1
7,83	185,0

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.80: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo n° 103
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	941,5
0,50	1691,2
1,00	1898,8
1,67	2102,0
2,33	2223,4
3,00	1899,5
4,00	1170,9
5,00	641,2
6,00	309,1
7,00	269,2
7,83	232,1

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.81: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 82	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1429	170
0,50	1219	239
1,00	1037	315
1,67	972	401
2,33	876	456
3,00	859	498
4,00	889	485
5,00	1018	366
6,00	1219	321
7,00	1379	228
7,83	1387	174

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.82: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 103	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	2117	474
0,50	1753	540
1,00	1492	629
1,67	1206	656
2,33	1063	736
3,00	1093	664
4,00	1207	515
5,00	1462	320
6,00	1534	197
7,00	1672	151
7,83	1708	122

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.83: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 82							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	2,49	-	4,22	-	-	6,71
1,00	-	-	2,53	2,85	4,62	-	-	10,00
1,67	-	-	3,25	4,93	6,34	2,28	-	16,80
2,33	-	-	3,84	6,63	7,86	3,12	-	21,45
3,00	-	-	5,08	8,95	10,76	4,36	-	29,15
4,00	-	-	5,54	9,39	11,98	4,75	-	31,66
5,00	-	-	8,76	11,54	17,61	5,55	-	43,46
6,00	-	-	7,54	8,64	15,10	4,59	-	35,87
7,00	-	-	6,25	5,90	12,04	3,42	-	27,61
7,83	-	-	5,79	4,15	10,02	-	-	19,96

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.84: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 2 \text{ h}$ e $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 103							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	4,73	6,26	9,68	4,11	-	24,78
1,00	-	-	5,68	8,90	11,86	5,36	-	31,80
1,67	-	-	-	-	-	-	-	-
2,33	-	-	6,54	13,75	15,25	7,88	-	43,42
3,00	-	-	8,00	15,86	19,17	9,31	-	52,34
4,00	-	-	9,88	15,94	23,52	10,07	-	59,41
5,00	-	-	9,64	10,09	19,88	7,14	-	46,75
6,00	-	-	3,19	-	4,21	-	-	7,40
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

TABELA III.85: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo nº 88	
	$C_{CH_4}^{(b)}$	$C_{CO_2}^{(c)}$
0,00	0,0350	0,1172
0,25	0,7674	2,6776
0,50	1,7842	4,6686
0,75	3,1831	6,3318
1,00	4,3629	7,6069
1,25	6,2759	9,1443
1,50	7,5789	9,9183
1,75	10,2090	11,4956
2,00	11,5707	12,6523
2,25	12,7899	13,4045
2,50	14,5775	14,2236
2,75	15,4566	14,5668
3,00	16,2114	14,4970
3,50	18,0367	14,3542
4,00	19,0304	13,7004
4,50	20,2581	12,7274
5,00	19,9930	12,0122
5,50	21,6939	12,0549
6,00	22,1749	11,8205
6,50	22,4988	11,4430
7,00	22,3383	10,9741
7,83	23,2923	11,1247

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol. l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol. l^{-1} .

TABELA III.86: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 2$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo n° 88	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	23,00	77,00
0,25	22,28	77,72
0,50	27,65	72,35
0,75	33,45	66,55
1,00	36,45	63,55
1,25	40,70	59,30
1,50	43,31	56,69
1,75	47,04	52,96
2,00	47,77	52,23
2,25	48,83	51,17
2,50	50,61	49,39
2,75	51,48	48,52
3,00	52,79	47,21
3,50	55,68	44,32
4,00	58,14	41,86
4,50	61,42	38,58
5,00	62,47	37,53
5,50	64,28	35,72
6,00	65,23	34,77
6,50	66,29	33,71
7,00	67,06	32,94
7,83	67,68	32,32

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.12. Operação em Batelada Alimentada (4h) Seguida de Batelada (4h) com Carga Orgânica Volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA III.87: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4 \text{ h}$ e $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 52
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	325,0
0,50	605,3
1,00	687,3
1,67	743,8
2,33	818,3
3,00	854,8
4,00	939,7
5,00	687,0
6,00	399,4
7,00	339,2
7,83	308,4

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.88: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 79
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	600,0
0,50	777,3
1,00	809,2
1,67	851,9
2,33	896,9
3,00	1052,7
4,00	979,3
5,00	732,0
6,00	594,1
7,00	505,0
7,83	475,0

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.89: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil Ciclo nº 52	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1237	176
0,50	1191	225
1,00	1063	259
1,67	1021	324
2,33	1010	334
3,00	993	360
4,00	999	369
5,00	1059	270
6,00	1214	209
7,00	1236	171
7,83	1222	164

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.90: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 79	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	2012	308
0,50	1874	452
1,00	1794	469
1,67	1576	465
2,33	1529	467
3,00	1444	465
4,00	1377	487
5,00	1478	420
6,00	1650	394
7,00	1740	296
7,83	1800	214

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.91: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 52							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	2,14	7,42	3,51	-	-	13,07
1,00	-	-	2,44	5,40	4,36	1,92	-	14,12
1,67	-	-	3,54	6,29	6,62	2,42	-	18,87
2,33	-	-	4,17	7,25	7,98	2,80	-	22,20
3,00	-	-	5,27	9,30	10,15	3,51	-	28,23
4,00	-	-	7,67	12,29	14,76	4,63	-	39,35
5,00	-	-	4,75	4,38	8,88	2,45	-	20,46
6,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.92: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 4 \text{ h}$ e $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 79							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	3,82	10,66	5,80	6,70	-	26,98
0,50	-	-	4,91	16,59	7,29	7,63	-	36,42
1,00	-	-	4,27	11,01	6,70	5,73	-	27,71
1,67	-	-	4,09	9,63	6,84	4,91	-	25,47
2,33	-	-	5,76	12,80	9,94	6,30	-	34,80
3,00	-	-	6,31	13,66	11,30	6,49	-	37,76
4,00	-	-	5,55	11,87	9,90	5,61	-	32,93
5,00	-	-	5,88	6,76	10,37	3,94	-	26,95
6,00	-	-	-	-	5,93	-	-	5,93
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

TABELA III.93: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo n° 68	
	C_{CH_4} ^(b)	C_{CO_2} ^(c)
0,00	0,0373	0,1786
0,25	0,4007	1,8137
0,50	1,2055	3,9576
0,75	2,3475	5,4794
1,00	2,8863	6,0101
1,25	4,6469	7,3040
1,50	5,2658	7,5528
1,75	6,6184	8,2378
2,00	8,0457	8,8796
2,25	10,7043	10,1695
2,50	11,2567	10,1254
2,75	12,4969	10,4240
3,00	12,5389	10,0847
3,50	16,4514	11,3175
4,00	18,4814	10,8026
4,50	18,7273	10,2114
5,00	17,0111	8,9862
5,50	20,4159	9,9946
6,00	20,3328	9,6331
6,50	20,3545	9,5509
7,00	20,0676	9,3023
7,83	20,1934	9,3505

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol.l^{-1} .

TABELA III.94: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 4$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo n° 68	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	17,28	82,72
0,25	18,10	81,90
0,50	23,35	76,65
0,75	29,99	70,01
1,00	32,44	67,56
1,25	38,88	61,12
1,50	41,08	58,92
1,75	44,55	55,45
2,00	47,54	52,46
2,25	51,28	48,72
2,50	52,65	47,35
2,75	54,52	45,48
3,00	55,42	44,58
3,50	59,24	40,76
4,00	63,11	36,89
4,50	64,71	35,29
5,00	65,43	34,57
5,50	67,13	32,87
6,00	67,85	32,15
6,50	68,06	31,94
7,00	68,33	31,67
7,83	68,35	31,65

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.

III.13. Operação em Batelada Alimentada (6h) Seguida de Batelada (2h) com Carga Orgânica Volumétrica de $12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ e Carga de Choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TABELA III.95: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6 \text{ h}$ e $\text{COV} = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 58
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	422,8
0,50	501,1
1,00	640,1
1,67	705,9
2,33	856,7
3,00	937,6
4,00	951,3
5,00	900,5
6,00	748,5
7,00	615,1
7,83	491,2

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.96: Perfil de concentração de matéria orgânica filtrada e eficiência de remoção de matéria orgânica filtrada para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil
	Ciclo nº 79
	$C_{SF}^{(b)}$
0,00	755,9
0,50	689,8
1,00	652,0
1,67	628,5
2,33	645,6
3,00	577,2
4,00	587,4
5,00	562,0
6,00	502,3
7,00	429,7
7,83	388,3

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de matéria orgânica filtrada, mgDQO.l^{-1} .

TABELA III.97: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 58	
A)	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1229	240
0,50	1220	240
1,00	1212	243
1,67	1198	248
2,33	1184	262
3,00	1169	265
4,00	1147	277
5,00	1167	290
6,00	1153	277
7,00	1217	266
7,83	1240	250

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3.\text{l}^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, mgHAc.l^{-1} .

TABELA III.98: Perfil de alcalinidade a bicarbonato e de concentração de ácidos voláteis totais para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

TEMPO ^(a)	Perfil	
	Ciclo nº 79	
	AB ^(b)	AVT ^(c)
0,00	1281	431
0,50	1263	417
1,00	1281	423
1,67	1272	418
2,33	1255	408
3,00	1265	381
4,00	1253	367
5,00	1264	351
6,00	1188	354
7,00	1345	247
7,83	1438	165

(a) Tempo, h.

(b) Alcalinidade a bicarbonato, $\text{mgCaCO}_3 \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácidos voláteis totais, $\text{mgHAc} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.99: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Tempo ^(a)	Perfil nº 58							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	2,32	-	3,44	-	-	5,76
0,50	-	-	-	-	3,62	-	-	3,62
1,00	-	-	3,08	-	5,33	-	-	8,41
1,67	-	-	3,85	2,75	7,10	-	-	13,70
2,33	-	-	3,70	3,12	7,23	-	-	14,05
3,00	-	-	4,44	4,12	8,91	-	-	17,47
4,00	-	-	4,65	4,86	9,59	1,76	-	20,86
5,00	-	-	5,29	5,90	10,83	2,19	-	24,21
6,00	-	-	6,41	6,93	12,85	2,56	-	28,75
7,00	-	-	6,12	4,90	12,21	2,32	-	25,55
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, mg.l^{-1} .

(c) Concentração de ácido propiônico, mg.l^{-1} .

(d) Concentração de ácido isobutírico, mg.l^{-1} .

(e) Concentração de ácido butírico, mg.l^{-1} .

(f) Concentração de ácido isovalérico, mg.l^{-1} .

(g) Concentração de ácido valérico, mg.l^{-1} .

(h) Concentração de ácido capróico, mg.l^{-1} .

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, mg.l^{-1} .

TABELA III.100: Perfil de concentração de ácidos voláteis intermediários para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$ (ciclo seguinte à carga de choque de $24,0 \text{ gDQO} \cdot l^{-1} \cdot d^{-1}$).

Tempo ^(a)	Perfil nº 79							Totais ⁽ⁱ⁾
	Acético ^(b)	Propiônico ^(c)	Isobutírico ^(d)	Butírico ^(e)	Isovalérico ^(f)	Valérico ^(g)	Capróico ^(h)	
0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1,67	-	-	-	-	-	-	-	-
2,33	-	-	-	-	-	-	-	-
3,00	-	-	-	-	-	-	-	-
4,00	-	-	-	-	-	-	-	-
5,00	-	-	-	-	-	-	-	-
6,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	-	-	-	-	-	-	-	-
7,83	-	-	-	-	-	-	-	-

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de ácido acético, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(c) Concentração de ácido propiônico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(d) Concentração de ácido isobutírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(e) Concentração de ácido butírico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(f) Concentração de ácido isovalérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(g) Concentração de ácido valérico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(h) Concentração de ácido capróico, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

(i) Concentração total de ácidos voláteis intermediários, $\text{mg} \cdot l^{-1}$.

TABELA III.101: Perfil de concentração de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0$ gDQO. $l^{-1}.d^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo n° 67	
	C _{CH₄} ^(b)	C _{CO₂} ^(c)
0,00	-	-
0,25	0,8833	3,5672
0,50	1,4910	4,8572
0,75	2,4526	5,9511
1,00	3,0366	6,1847
1,25	4,2806	7,2032
1,50	5,6341	8,0626
1,75	6,2337	8,2735
2,00	7,3875	8,7329
2,25	8,1261	8,9200
2,50	8,5705	9,0643
2,75	9,3875	8,8002
3,00	10,1157	8,9510
3,50	12,2876	9,9278
4,00	13,7339	10,3188
4,50	14,8553	10,5351
5,00	15,9136	10,7161
5,50	16,7417	10,8986
6,00	14,7958	9,4196
6,50	16,8324	10,0876
7,00	16,6149	9,2549
7,83	16,2515	9,4377

(a) Tempo, h.

(b) Concentração de metano no head-space do reator, mMol. l^{-1} .

(c) Concentração de gás carbônico no head-space do reator, mMol. l^{-1} .

TABELA III.102: Perfil de porcentagem molar de metano e gás carbônico para condição em que $t_A = 6$ h e $COV = 12,0 \text{ gDQO.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

TEMPO ^(a))	Perfil	
	Ciclo n° 67	
	%CH ₄ ^(b)	%CO ₂ ^(c)
0,00	-	-
0,25	19,85	80,15
0,50	23,49	76,51
0,75	29,18	70,82
1,00	32,93	67,07
1,25	37,28	62,72
1,50	41,13	58,87
1,75	42,97	57,03
2,00	45,83	54,17
2,25	47,67	52,33
2,50	48,60	51,40
2,75	51,61	48,39
3,00	53,05	46,95
3,50	55,31	44,69
4,00	57,10	42,90
4,50	58,51	41,49
5,00	59,76	40,24
5,50	60,57	39,43
6,00	61,10	38,90
6,50	62,53	37,47
7,00	64,23	35,77
7,83	63,26	36,74

(a) Tempo, h.

(b) Porcentagem molar de metano no head-space do reator, %.

(c) Porcentagem molar de gás carbônico no head-space do reator, %.