



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
Área de Concentração: Infraestrutura e Meio Ambiente**

Vanessa Rita dos Santos

Reator em batelada sequencial (RBS) para o tratamento de efluentes de pequenas e médias indústrias de laticínios

**Passo Fundo
2009**

Vanessa Rita dos Santos

Reator em batelada sequencial (RBS) para o tratamento de efluentes de pequenas e médias indústrias de laticínios

Orientador: Professor Paulo Roberto Koetz.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente

Passo Fundo

2009

Vanessa Rita dos Santos

Efeito da concentração de leite, na eficiência de remoção de demanda química de oxigênio, nitrogênio amoniacal total e fósforo num reator em batelada seqüencial tratando efluente sintético de laticínio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente

Local e data de aprovação: Passo Fundo, 29 de abril de 2009.

Os membros componentes da Banca Examinadora abaixo aprovam a Dissertação.

Paulo Roberto Koetz, Dr.
Orientador

Oswaldo Luis Vieira Faria, Dr.
Universidade Católica de Pelotas

Vera Maria Rodrigues, Dr.
Universidade de Passo Fundo

Vandré Barbosa Brião, Dr.
Universidade de Passo Fundo

Passo Fundo
2009

DEDICATÓRIA

À Deus.

Aos meus pais José e Marilene.

À minha irmã Jéssica.

Ao Filipe.

AGRADECIMENTO

A Jesus que me deu sentido para viver e esperança de conseguir superar mais um obstáculo.

Ao meu orientador Paulo Roberto Koetz pela orientação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes pela bolsa de estudo e ao programa de Pós-graduação em Engenharia da Universidade de Passo Fundo.

À indústria de laticínio Parmalat por ter cedido a biomassa.

Ao professor Christian Oliveira Reinehr pela ajuda.

Aos estagiários e bolsistas Adriano De Gregori, Aline Fillipi, Dienifer Bombana, João Carlos Barcelos Farezin e Lais Manica, que quando solicitados sempre me auxiliaram e se colocaram à disposição para ajudar.

À minha família e ao Filipe pelo constante apoio e incentivos, durante minha formação como pessoa e profissional.

Aos meus amigos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos vocês meu agradecimento.

Resumo

O cumprimento da legislação ambiental no atendimento dos padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos superficiais, é fundamental para a preservação dos recursos hídricos. As indústrias de laticínios apresentam um alto consumo de água em suas diferentes atividades dentro da indústria e conseqüentemente uma alta geração de efluentes por unidade produzida. Estes efluentes gerados têm em sua composição matéria orgânica, nitrogênio e fósforo. Os reatores em batelada têm sido modificados para alcançar a remoção destes. Este trabalho apresenta o estudo realizado em reator de batelada seqüencial no tratamento de efluente sintético de laticínio, tendo como objetivo estudar o uso deste reator na remoção da demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal total (N_t) e fósforo total (P_t). A quantidade de biomassa colocada no reator variou de 1 000 mg/L até 3 500 mg/L de sólidos suspensos totais. A sedimentação da biomassa durou 45 min a cada final de operação. O reator funcionou até 6 h de operação. As amostras para análise de DQO, nitrogênio amoniacal total, fósforo, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, pH e temperatura foram coletadas a cada início (0 h) e final (6 h) de operação. As amostras para DQO, temperatura e pH foram coletadas a cada 2 h até completar 6 h de operação. A aeração foi constante neste período de operação e a vazão de ar foi mantida a 1,8 L/min. As concentrações de leite foram de 1 000 mg/L, 2 000 mg/L, 3 000 mg/L, 4 000 mg/L, 5 000 mg/L e 6 000 mg/L para os resultados essas concentrações foram transformadas em concentrações de DQO correspondentes. As melhores eficiências de remoção de demanda química de oxigênio, nitrogênio amoniacal total e fósforo foram de 94 %, 75 % e 82 %, respectivamente. O reator em batelada seqüencial é uma importante alternativa para pequenos e médios laticínios.

Palavras-chaves: Reator em batelada seqüencial. Laticínios. Efluentes.

Abstract

The accomplishment of environmental legislation in the attending of effluents releasing standards in the superficial hydrous bodies is essential to the preservation of water resources. The dairy industries, have presented a high consumption of water on its various activities within the industry and consequently a high generation of effluents per unit produced. These effluents generated have on its composition organic matter, nitrogen and phosphorus. The in batch reactors have been modified to achieve the removal of these. This work presents the study accomplished in sequential batch reactor for the treatment of synthetic effluent from dairy, aiming to study the use of this reactor in the removal of chemical oxygen demand (COD), total ammonia nitrogen (N_t) and total phosphorus (P_t). The amount of biomass placed in the reactor ranged from 1 000 mg/L to 3 500 mg/L of total suspended solids. The sedimentation of biomass lasted 45 min at each end of operation. The reactor worked up to 6 h of operation. The samples for analysis of COD, total ammonia nitrogen, phosphorus, sediment solids, total suspended solids, pH and temperature were collected at each start (0 h) and end (6 h) of operation. The samples for analysis of COD, temperature and pH were collected every 2 h until complete 6 hours of operation. The aeration was constant in this period of operation and the flow of air was maintained at 1.8 L/min. The concentrations of milk were 1 000 mg/L, 2 000 mg/L, 3 000 mg/L, 4 000 mg/L, 5 000 mg/L and 6 000 mg/L for the results these concentrations were transformed into concentrations of COD correspondents. The best efficiency of removal of chemical oxygen demand, total ammonia nitrogen and total phosphorus were from 94 %, 75 % and 82 % respectively. The sequential batch reactor is an important alternative for small and medium dairy.

Keywords: Sequential batch reactor. Dairy. Effluents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama geral da produção de laticínios.....	16
Figura 2: Fluxograma da produção de queijo.....	17
Figura 3: Fluxograma dos sistemas de lodo ativado.....	21
Figura 4: Esquema do reator em batelada seqüencial.....	23
Figura 5: Esquema de montagem do reator RBS.....	30
Figura 6: Reator em batelada seqüencial tratando efluente sintético de laticínio.....	31
Figura 7: Fluxograma de operação da batelada.....	35
Figura 8: Eficiência de remoção de DQO das concentrações de 1 073 mg/L, 2 702 mg/L, 4 480 mg/L, 5 869 mg/L, 5 082 mg/L e 9 165 mg/L de acordo com o tempo de 0 h, 2 h, 4 h e 6 h de operação.....	40
Figura 9: Eficiência de remoção de DQO de todos os experimentos em relação ao tempo de operação.....	41
Figura 10: Eficiência de remoção de N_t em relação a concentração de DQO no tempo de 6 h de operação.....	43
Figura 11: Eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal total das concentrações com o tempo de 0 h e 6 h.....	44
Figura 12: Eficiência de remoção de fósforo total em relação a concentração de DQO.....	45
Figura 13: A eficiência geral de remoção de fósforo total das concentrações com o tempo de operação de 0 h e 6 h.....	46
Figura 14: As eficiências de remoções de DQO em 1 min a 5 min de operação para cada concentração de DQO respectivamente.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição centesimal do leite humano e de várias espécies de animais.....	14
Tabela 2: Requisitos físicos e químicos do leite.....	14
Tabela 3: Variação dos padrões de emissão para os parâmetros de fósforo.....	28
Tabela 4: Variação dos padrões de emissão para os parâmetros de nitrogênio total Kjeldahl.....	29
Tabela 5: Concentração de leite e a concentração de DQO correspondente.....	33
Tabela 6: Sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis e índice volumétrico de lodo (inicial e final) para 60 min.....	37
Tabela 7: Valores de concentração de DQO de acordo com o tempo de reação.....	39
Tabela 8: Concentração de nitrogênio amoniacal total para as concentrações de DQO de 1 073 mg/L a 9 165 mg/L.....	42
Tabela 9: Concentração de fósforo total para as concentrações de DQO de 1 073 mg/L a 5 869 mg/L.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

a.C – Antes de Cristo
°C – Grau Celsius
 $C_6H_{12}O_6$ – Glicose
 C_f – Concentração do efluente final do poluente
cm - Centímetro
 C_o – Concentração do efluente de alimentação
 CO_2 – Gás carbônico
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente
COT – Carbono orgânico total
d – Dia
D - Diâmetro
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
g – Grama
h - Hora
Hab - Habitante
 H_2O – Água
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IVL – Índice volumétrico de lodo
L - Litro
 m^3 – Metro cúbico
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mg – Miligrama
min - Minuto
Mín – Mínimo
mL - Mililitro
 N_t – Nitrogênio amoniacal total
 O_2 – Oxigênio
pH - Potencial hidrogeniônico
 P_t – Fósforo total
RBS – Reator em batelada sequencial
SSed – Sólidos sedimentáveis
SST – Sólidos suspensos totais
TR – Tempo de reação
UASB - Upflow anaerobic sludge blanket

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 LEITE	13
2.2 LATICÍNIOS.....	15
2.2.1 UNIDADE DE BENEFICIAMENTO	15
2.2.2 GERAÇÃO DE EFLUENTES.....	18
2.3 REATOR DE LODO ATIVADO.....	20
2.4 REATOR EM BATELADA SEQÜENCIAL (RBS).....	22
2.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS EFLUENTES.....	25
2.5.1 MATÉRIA ORGÂNICA.....	25
2.5.1.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FORMA E TAMANHO.....	25
2.5.1.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À BIODEGRADABILIDADE.....	26
2.5.2 FÓSFORO E NITROGÊNIO.....	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1 MATERIAL.....	30
3.2 MÉTODOS.....	31
3.3 PROCEDIMENTOS.....	32
3.3.1 PREPARAÇÃO DO EFLUENTE.....	32
3.3.2 ALIMENTAÇÃO DO REATOR.....	33
3.3.3 REAÇÃO.....	33
3.3.4 FASE DE SEDIMENTAÇÃO.....	34
3.3.5 DESCARGA.....	34
3.3.6 REPOUSO.....	35
3.3.7 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO - IVL.....	35
3.4 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE PARÂMETROS.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS, SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS E ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO.....	37
4.2 REMOÇÃO DE DQO.....	38
4.3 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONÍACAL TOTAL.....	42
4.4 REMOÇÃO DE FÓSFORO TOTAL.....	44
5 RECOMENDAÇÕES	47
6 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A - REMOÇÃO DE DQO INICIAL	53

1 INTRODUÇÃO

O cumprimento da legislação ambiental ao atendimento dos padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos superficiais, é fundamental para a preservação dos recursos hídricos. Apesar das exigências da legislação no País, poucas estações de tratamento contemplam uma etapa destinada à remoção de nitrogênio e fósforo, que são os maiores problemas nos efluentes.

As estações de tratamento de efluentes têm um alto custo devido ao seu processo com equipamentos, materiais e a mão de obra especializada muito onerosa. Apesar disto, as grandes cidades, devido ao seu crescimento, não possuem mais espaço reservado para a implantação de estações de tratamento.

Nos grandes centros urbanos a degradação da qualidade de água das fontes de abastecimento tem feito com que o homem tome consciência dos efeitos que o crescimento desordenado traz e dê maior importância aos problemas relacionados com a escassez de recursos hídricos. Baseado nisso, tem-se voltado a atenção para implantar sistemas de tratamento de efluentes capazes de conseguir tanto a remoção da matéria orgânica como a remoção de nitrogênio e fósforo, que são considerados os nutrientes de maior importância nos fenômenos de eutrofização e têm sido o foco de atenções para a melhoria da qualidade dos recursos hídricos.

O reator em batelada seqüencial (RBS) é uma alternativa viável e flexível para tratamento de efluentes na remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal total (N_T) e fósforo total (P_T). Os processos unitários e bioquímicos são realizados no mesmo tanque, é um sistema de carga e descarga. Apresenta vantagens aos processos contínuos, tais como a forma simplificada de construção e de operação, a alta eficiência na remoção de DQO, nitrogênio e fósforo, pequeno espaço requerido e apresenta um custo menor, fazendo com que este tipo de processo seja uma opção atrativa à pequenas e médias indústrias de laticínios.

Os reatores em batelada seqüencial, segundo dados da literatura, precisam de maiores estudos para comprovar a sua eficiência na remoção da matéria orgânica, do nitrogênio e do fósforo, principalmente nas pequenas e médias indústrias de laticínios, justificando assim a realização desta pesquisa.

O objetivo geral foi estudar a remoção da demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal total e fósforo total com efluente sintético em um reator em batelada seqüencial, para ser aplicado nas pequenas e médias indústrias de laticínios. Consideradas aqui como pequenas e médias indústrias aquelas cuja vazão de efluente seja até 50 m³/d.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Leite

O homem passou a consumir leite de origem animal há cerca de 20 000 a.C. Dados certificam que o leite bovino veio a ser aproveitado somente no século V na Europa após as invasões bárbaras e a queda do império romano (PRATIQUE LEITE, 2006).

O leite é fonte de proteínas e de minerais essenciais à promoção do crescimento e manutenção da vida. É um alimento consumido mundialmente pelo homem; ele é usado como leite fluido para consumo direto ou para produção de derivados.

O leite é uma emulsão de cor branca, ligeiramente amarelada, de odor suave e gosto adocicado. É um produto secretado pelas glândulas mamárias e alimento indispensável aos mamíferos, nos primeiros meses de vida, enquanto não podem digerir e assimilar outras substâncias necessárias à sua subsistência (BEHMER, 1968).

O principal constituinte do leite é a água. Os sólidos do leite são compostos de gordura, proteínas, lactose e sais minerais. Os sais minerais e a lactose formam uma solução verdadeira com a água, a gordura forma uma emulsão e a proteína uma dispersão coloidal. O leite contém também enzimas, anticorpos, hormônios, pigmentos, células, CO₂, O₂ e nitrogênio. A composição do leite varia em função do animal, da alimentação, do período de lactação etc. Essa variação é mais acentuada em função da espécie de animal do qual o leite é proveniente, conforme Tabela 1. Porém dentro de uma mesma espécie existem variações, que podem ser em função da alimentação, do período de lactação, da intensidade de ordenha, das condições climáticas, etc (AQUARONE, 2001).

Tabela 1: Composição centesimal do leite humano e de várias espécies de animais.

Espécie	Proteína (%)	Gordura (%)	Lactose (%)	Cinzas (%)	Água (%)
Humana	1,5	3,5	7,0	0,2	87,8
Bovina	3,5	3,8	5,0	0,7	87,0
Caprina	4,0	3,0	4,8	0,8	87,4
Ovina	5,4	8,2	4,8	0,9	80,7
Eqüina	2,6	1,6	6,1	0,4	89,3
Bufalina	4,1	7,7	4,8	0,7	82,7

Fonte: Oliveira (1986).

O leite é um produto muito sensível a ação de inúmeros microorganismos, sendo um excelente meio de cultura, necessitando de um meio de conservação apropriado, que pode ser por esterilização ou simplesmente resfriamento, para evitar a fermentação ou até mesmo a sua deterioração.

De acordo com a instrução normativa número 51 de 18/09/2002, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, o leite deve atender à inúmeros requisitos, conforme constantes na Tabela 2, para ser considerado próprio para consumo humano (BRASIL, 2002).

Tabela 2: Requisitos físicos e químicos do leite.

Requisitos	Unidades	Limites
Matéria Gorda	g/100 g	Mín. 3,0
Densidade relativa A 15/150 C	g/mL	1,028 a 1,034
Acidez titulável de ácido lático	g /100 mL	0,14 a 0,18
Extrato seco desengordurado	g/100 g	Mín. 8,4
Proteínas	g/100g	Mín. 2,9

Fonte: BRASIL, 2002.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no primeiro trimestre de 2006 foram adquiridos 4,174 bilhões de litros de leite, segundo a Pesquisa Trimestral do Leite. Este volume indica uma redução de 4,56 % na produção de leite em relação ao quarto trimestre de 2005, e um aumento de 4,99 % sobre o primeiro trimestre de 2005. Os principais

estados em aquisição de leite são: Minas Gerais (28 %), Goiás (13 %), São Paulo e Rio Grande do Sul (12 % cada um) (BRASIL, 2008).

A maior parte da produção de leite do Brasil concentra-se nas regiões Sudeste (50 %) e Sul (23 %). Entre os estados, Minas Gerais lidera a produção nacional, com 30 %, ficando em segundo lugar São Paulo com 14 % da produção. (GOMES, 1991).

A produção de leite no Brasil cresce em taxas ao redor de 4 % ao ano, nos últimos anos. No ano de 2007, estima-se que foram produzidos 26,4 bilhões de litros. Isso quer dizer que cada brasileiro tenha ingerido diariamente 0,387 L/(hab.d) de leite (ZOCCAL, 2008).

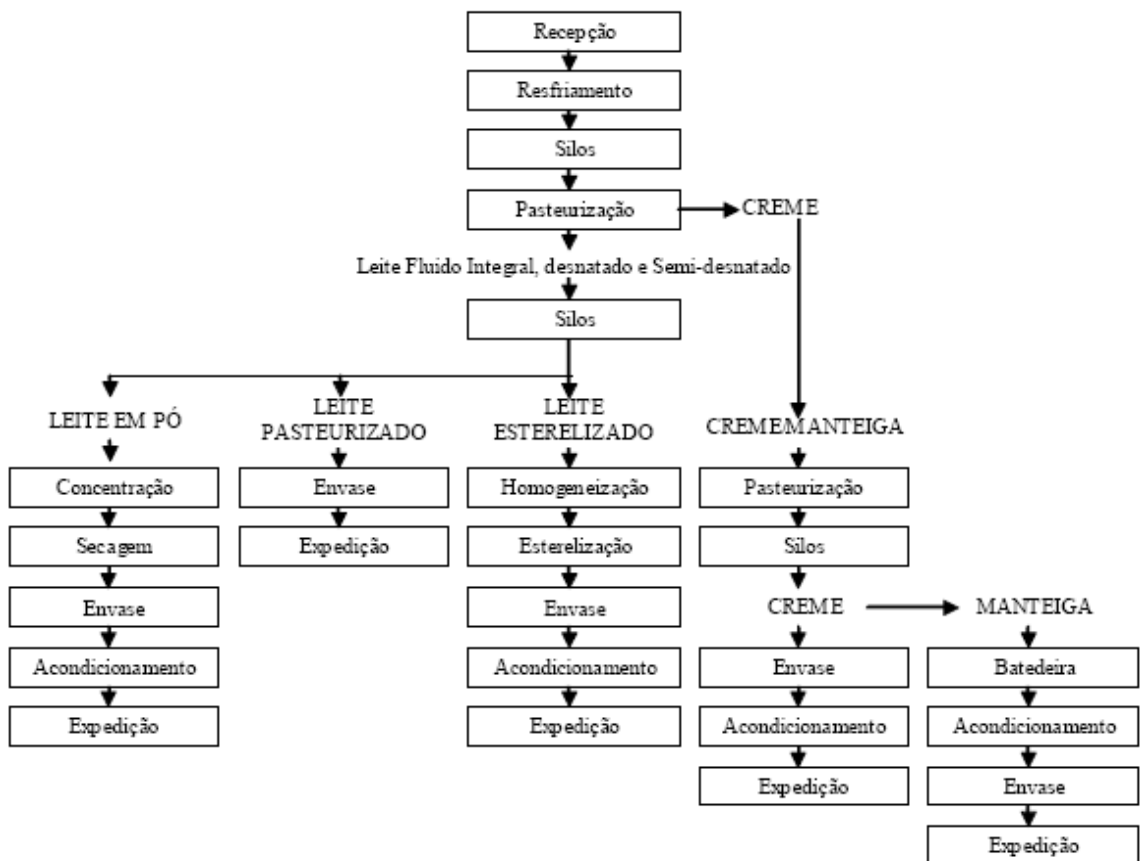
A quantidade de leite adquirido pelas indústrias também cresceu. Os investimentos das empresas no setor de lácteos, expandiu novas unidades e ampliações que contribuíram para ampliar em 9,31 % o volume de leite entregue nas indústrias nos três primeiros meses deste ano (ZOCCAL, 2008).

O crescimento no consumo de leite e conseqüente aumento na produção leiteira. O número de laticínios aumentou significativamente e com ele a quantidade de efluentes produzidos por estas indústrias. Necessitando deste modo de um sistema prático e eficiente de tratamento de efluentes.

2.2 Laticínios

2.2.1 Unidade de beneficiamento

No laticínio as etapas no beneficiamento do leite apresentam detalhes e diferenças entre processos, procedimentos e produtos, determinadas etapas são específicas para o produto que se deseja obter. Entretanto, um esquema geral da produção de laticínios pode ser resumido na Figura 1 e na Figura 2 o fluxograma da produção de queijo.



Fonte: Pires et al. (2007) adaptado de Brião (2000).

Figura 1: Diagrama geral da produção de laticínios.

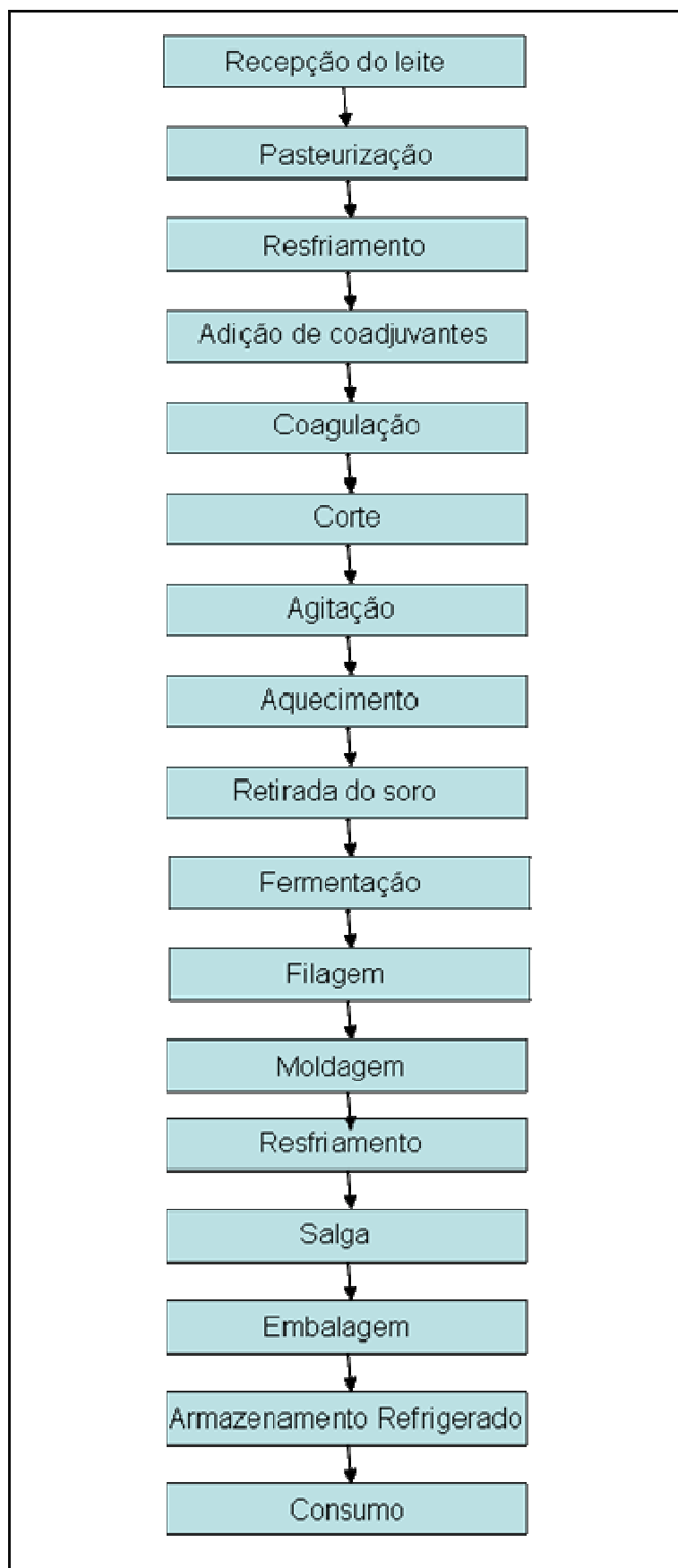


Figura 2: Fluxograma da produção de queijo.

A recepção do leite no laticínio é constituída pelo descarregamento dos caminhões-tanques, seguido de avaliação da qualidade do leite in natura. Depois ele passa por resfriadores de placas de modo a reduzir sua temperatura para cerca de 1°C a 2°C. O leite resfriado é armazenado em silos e segue para o processo de pasteurização, sendo realizada também nesta etapa o desnate total ou parcial, por meio de centrífugas, separando a gordura para a produção de creme e manteiga. O leite pasteurizado, com teor de gordura padronizado é destinado para diferentes produtos (BRIÃO, 2007).

2.2.2 Geração de efluentes

As indústrias de laticínios apresentam um alto consumo de água em suas diferentes atividades e uma alta geração de efluentes por unidade produzida. Os despejos apresentam características semelhantes podendo haver variações conforme o tipo de produção. O efluente gerado é constituído basicamente de leite diluído, apresentando elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo, etc. (BRIÃO, 2000).

O efluente é rico em gordura, carboidratos e proteínas, que passam a ser contaminantes se lançados diretamente em corpos receptores. Esta contaminação pode ser verificada por alguns dos principais parâmetros de controle de poluição líquida, tais como sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, nitrogênio, fósforo, demanda bioquímica de oxigênio e DQO.

A geração de efluente na indústria de laticínio tem um alto teor de matéria orgânica que é gerada de uma variedade de fontes, além de desinfetantes, detergentes, lubrificantes e esgoto doméstico (BRAILE e CAVALCANTI, 1993).

As principais fontes de efluentes em laticínios são: lavagem e desinfecção de produtos remanescentes nos caminhões-tanques, tubulações, tanques e equipamentos envolvidos na produção; derrames devido a vazamentos, operações deficientes de equipamentos e transbordamentos de unidades; perdas no processo durante as operações de equipamentos como pasteurizador e extravasamento de produtos, assim como o arraste de produto durante a operação de evaporação de leite condensado e leite em pó; descarte de subprodutos como soro e produtos rejeitados, tais como leite ácido e/ou fora dos padrões de qualidade de recepção; soluções utilizadas na limpeza e desinfecção de equipamentos; lubrificantes que são arrastados durante a limpeza de equipamentos; limpeza de pisos (BRIÃO 2000).

As operações de higienização são focadas tanto química como bacteriologicamente. Os equipamentos são primeiro submetidos a detergentes químicos e então desinfetados (BYYLUND, 1995).

Segundo Brião (2000), o volume de efluente gerado, de acordo com o coeficiente médio utilizado para projeto e estimativas para a indústria brasileira de laticínios é de um litro de efluente gerado para cada litro de leite produzido ou processado.

O despejo de efluentes com altos teores de DQO, nitrogênio e fósforo resulta em poluição hídrica. Líbanio (2005) define que poluição hídrica é toda alteração produzida no meio aquático.

A decomposição no corpo de água requer alto consumo de oxigênio e ocasionando varias conseqüências na fauna e flora (FERREIRA, 2007).

As tecnologias de tratamento para este efluente estão associadas aos processos tradicionais que combinam tratamento físico-químico com tratamento biológico. De acordo com Nunes (2001), as estações de tratamentos de efluentes tradicionais costumam ser divididas em quatro etapas:

2.2.2.1 O tratamento preliminar ocorre retenção de material grosseiro, flutuantes e material mineral sedimentável. Utiliza-se para isto grades, desarenadores (caixa de areia), caixas de retenção de óleo e gordura e peneiras.

2.2.2.2 O tratamento primário consiste na remoção de matéria orgânica em suspensão. Os processos ocorrem através de decantação primária, precipitação química, flotação e neutralização.

2.2.2.3 O tratamento secundário: separação da matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Os procedimentos mais conhecidos nesta etapa são os processos de lagoas de estabilização, lodo ativado, sistemas anaeróbicos com alta eficiência, filtros biológicos, lagoas aeradas e precipitação com produtos químicos.

2.2.2.4 O tratamento terciário é aplicado quando se pretende obter um efluente de alta qualidade, ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias. Pode ocorrer através de adsorção de carvão ativo, osmose inversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e remoção de organismos patogênicos.

O processo de lodo ativado, muito utilizado na indústria de laticínio, consiste em manter dentro do tanque de aeração uma concentração elevada de microorganismos. Isto é

garantido através do retorno do lodo gerado. Esta etapa garante remoção de 73 % a 99,3 % da demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Nos laticínios é utilizado o sistema de gradeamento para reter o material grosseiro. As gorduras em geral são separadas do efluente através dos equipamentos de flotação ou caixas de gordura. Para a remoção dos sólidos suspensos é utilizada a sedimentação. O sulfato de alumínio é utilizado para ajudar na floculação e na precipitação, reduz a DQO em cerca de 90 % (FERREIRA, 2007). Ao término destes processos se gera uma grande quantidade de lodo que se deve retirar e destinar, conforme legislação vigente.

Os filtros biológicos, valos de oxidação, lagoa de estabilização, irrigação e digestão anaeróbia também são utilizadas pelos laticínios (MORAIS, 2003).

Afonso et al. (2001), em escala de laboratório, verificaram a aplicabilidade do processo de Lodos Ativados por Batelada no tratamento de águas residuárias geradas em postos de resfriamento de leite. Os resultados indicaram boa eficiência de remoção de matéria orgânica. As porcentagens máximas de remoção para DQO solúvel alcançaram 98,5 %.

Segundo Ferreira (2007), o efluente de laticínios, quando tratado, não atende aos padrões de lançamento, por isso, propôs o tratamento terciário da indústria de laticínios através da adsorção de lactose em argila esmectítica. Os resultados foram positivos, pois se provou não só a adsorção como também a absorção da matéria orgânica.

Brião (2007), testou a ultrafiltração como processo de tratamento para o reúso de efluentes de laticínios, o trabalho objetivou testar duas membranas de ultrafiltração com diferentes tamanhos de poros para a recuperação de nutrientes do efluente de laticínios, procurando avaliar o comportamento de fluxo e a remoção de parâmetros de controle de poluição. Os resultados demonstraram uma remoção de DQO próxima de 75 %, mas a remoção de proteínas foi na faixa de 97 % e de gorduras na faixa de 91 % a 93 %.

2.3 Reator de lodo ativado

Os principais estudos foram sobre a operação do processo de lodos ativados, que na sua versão original funcionava em batelada. A criação deste sistema é atribuída a Edward Arden e William Lockett, no ano de 1914, que apresentaram o sistema à Sociedade de Química Industrial de Londres. Com o decorrer do tempo, apesar da simplicidade conceitual

do processo em batelada, foram feitas várias modificações no reator a fim de obter-se um melhor rendimento, sendo este logo substituído pelo processo contínuo. Com as limitações técnicas na época da invenção do processo de lodos ativados, para estabelecer a automação do ciclo operacional do RBS, os sistemas contínuos se proliferaram e passaram a ser o processo mais usado no tratamento de esgoto e industriais caracterizados por contaminação de carga orgânica e produtos nitrogenados (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Nos anos 80 do século XX, o desenvolvimento tecnológico alavancou o emprego do sistema de lodos ativados em batelada em função da mecanização seguida da automação deste processo de tratamento (SANTOS et al., 2006).

O reator de lodo ativado pode-se dizer que se trata de um processo biológico, que consiste em se provocar o desenvolvimento de uma cultura microbiológica na forma de flocos (lodos ativados) no qual o afluente e as bactérias fixadas são intimamente misturados, agitados e aerados, a fim de propiciar a floculação biológica nos tanques de aeração, e finalmente a separação dos flocos do meio líquido (efluente tratado) no decantador secundário e o retorno do lodo para o reator biológico. De acordo com a Figura 3, uma pequena parte do lodo gerado tem que ser tirada da recirculação. O lodo é chamado de “lodo em excesso” (COSTA, 2005).

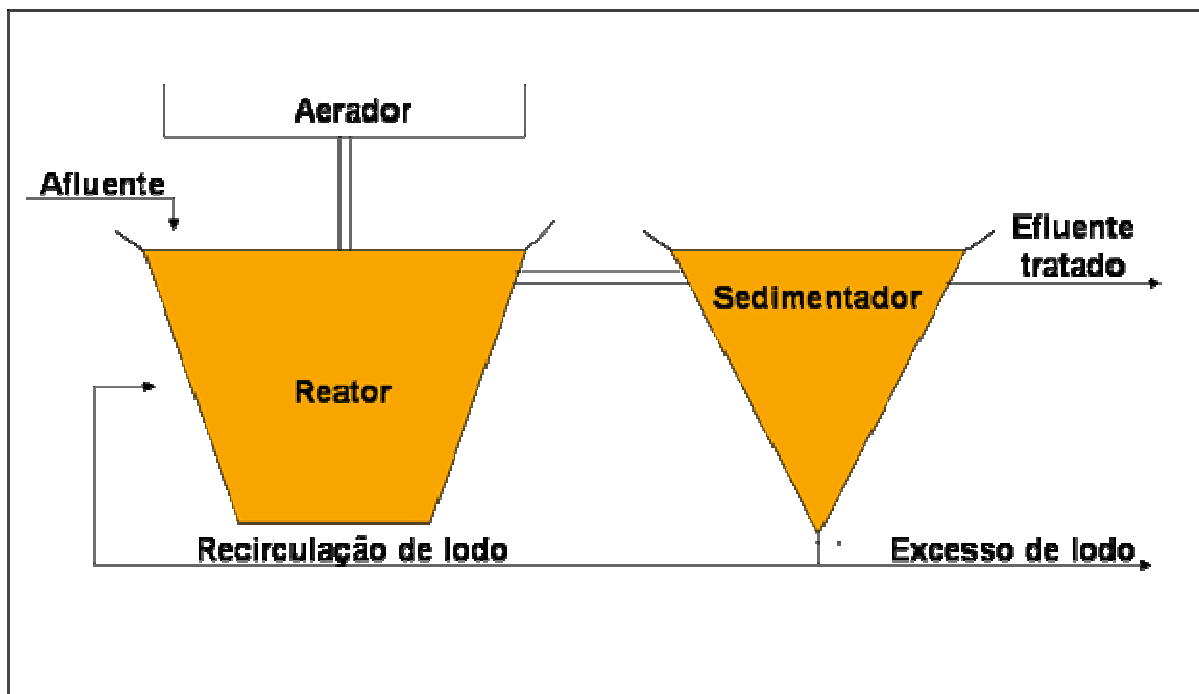


Figura 3: Fluxograma dos sistemas de lodo ativado.

O princípio geral deste processo consiste em acelerar o processo de oxidação e decomposição natural da matéria orgânica que acontece nos corpos hídricos receptores.

De acordo com Melchior et al. (2003), as seguintes unidades são partes fundamentais da etapa biológica do processo de lodos ativados:

- a) Tanque de aeração;
- b) Sistema de aeração;
- c) Tanque de decantação;
- d) Recirculação de lodo.

O processo de degradação da matéria orgânica consome oxigênio. Por isso, o reator deverá ser integrado por um equipamento de aeração. O suprimento constante de oxigênio é necessário para as atividades respiratórias dos microrganismos aeróbios e para manter os flocos em suspensão, assegurando um contato permanente entre estes e a matéria orgânica.

A equação geral da respiração aeróbia pode ser expressa como mostra a Equação 1, considerando a glicose como substrato. Esta liberação de energia é responsável pela formação de biomassa, ou seja, novas células dos microrganismos.



2.4 Reator em batelada seqüencial (RBS)

Arden e Lockett foram os primeiros a desenvolver o processo em batelada na qual as operações de enchimento, aeração, sedimentação e descarga do efluente tratado ocorrem no mesmo tanque (IRVINE; BUSCH, 1979).

O RBS tem os mesmos processos de purificação dos que os processos convencionais de lodos ativados. Von Sperling (1997) define o processo como um reator de mistura completa onde ocorrem todas as etapas do tratamento. A massa biológica permanece no reator durante todos os processos, eliminando dessa forma a necessidade de decantadores separados e das elevatórias de recirculação do lodo, conforme mostra a Figura 4.

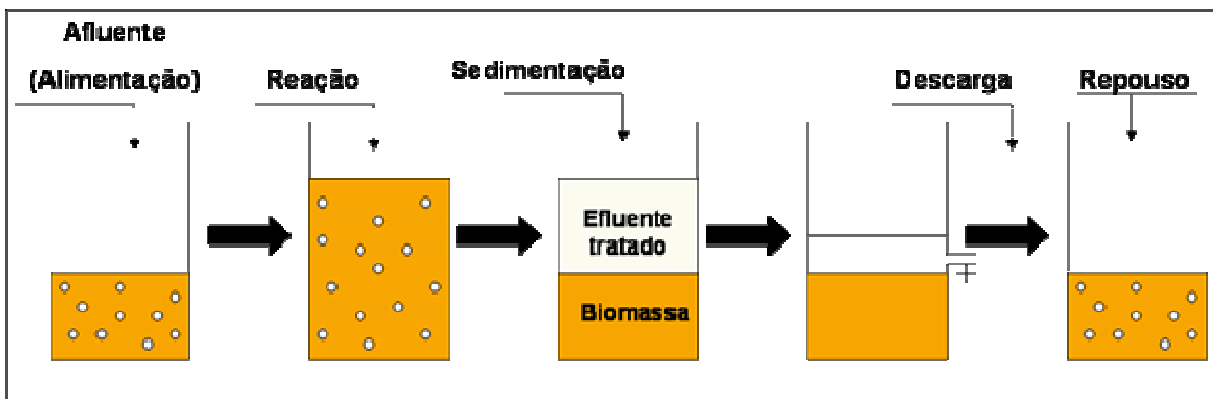


Figura 4: Esquema do reator em batelada seqüencial.

Os ciclos do tratamento são:

- Alimentação: entrada de efluente bruto, o inicial;
- Reação: aeração/mistura da biomassa e do efluente contidos no reator;
- Sedimentação: separação dos sólidos em suspensão do efluente tratado;
- Descarga ou esvaziamento, retirada do efluente tratado do reator;
- Repouso: remoção do lodo excedente.

A etapa da reação tem como objetivo completar as reações iniciais na fase do enchimento. A fase de reação é realizada com mistura completa, podendo ser em condições aeróbias, e anaeróbias (WILDERER et al., 1997). A separação sólido-líquido é pela fase de decantação. É semelhante ao que acontece em clarificadores de tratamentos biológicos, sendo mais eficientes do que os decantadores contínuos (FERREIRA, 2000).

Os processos descontínuos têm as vantagens em relação aos métodos convencionais de lodos ativados que são elas: flexibilidade, forma simplificada de construção, facilidade de colocação de equipamentos com instalações tecnicamente simples, funcionamento simplificado, não precisa recircular o lodo e boa decantabilidade do lodo (Van HAANDEL; LETTINGA, 1994). Os processos descontínuos são adequados para vazões menores que 50 m³/d. Os processos contínuos são necessários, por questões econômicas e técnicas, para vazões maiores.

O RBS apresenta uma operação cíclica e descontínua, proporciona uma diversidade de ambientes que facilita a sua utilização para diferentes objetivos operacionais (remoção de carbono, nitrificação, desnitrificação, remoção biológica de fósforo, etc). Diversos são os

mecanismos utilizados para o controle dos processos, inclusive técnicas de controle “on-line” (Von SPERLING, 1997).

De acordo com a literatura, muitos pesquisadores testaram o reator em batelada em diferentes formas, explorando sua capacidade.

Irvine e Busch. (1979) trabalhando com esgoto sintético em um RBS, obtiveram os melhores resultados de remoção de fósforo quando o oxigênio dissolvido e o nitrato eram ausentes. Isto implica em uma desnitrificação completa durante o período de enchimento. Conseguiram ainda nesses estudos, cerca de 50 % de eficiência na remoção de fósforo total e 90 % da remoção do nitrogênio.

Sousa e Foresti (1996) avaliaram um sistema combinado de tratamento de substrato sintético para remoção de nitrogênio, fósforo e DQO de efluente, simulando esgoto doméstico, empregando um reator UASB seguido de um reator aeróbio em batelada seqüencial. Nesse sistema, o reator anaeróbio removeu considerável fração de matéria orgânica afluyente, enquanto o reator aeróbio oxidou parte da matéria orgânica remanescente. Os resultados do sistema mostraram eficiência de remoção de 95 % de DQO, 96 % de SST e 85 % de N_t .

Segundo Callado e Foresti (2000), o desempenho de um sistema composto de três reatores em batelada seqüenciais (RBS), na remoção biológica de carbono, nitrogênio e fósforo de esgoto doméstico sintético. O trabalho foi realizado em escala de laboratório, configurando um sistema anaeróbio/aeróbio/anaeróbio, que foi operado com oito litros por batelada e em ciclos de 12 h. O sistema experimental foi operado em quatro etapas, diferenciadas pela concentração de DQO do substrato sintético e pela fonte de carbono adicionada para remoção biológica de fosfato, onde foi testada a utilização acetato de sódio. A remoção média de matéria orgânica (DQO), nitrogênio e fósforo foram de 88 %, 84 % e 51%, respectivamente.

Saraiva (2000) avaliou a remoção de nutrientes em efluentes de parboilização de arroz em um sistema de tratamento composto por um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) e um reator em batelada (RBS). Os reatores foram operados a uma temperatura média de 24° C e o reator (RBS) em programa de quatro ciclos de seis horas. O sistema se mostrou eficiente na remoção de DQO e também para N_t , apresentando uma eficiência de remoção de 87 % e 76 %, respectivamente. Para o fósforo não se obteve a mesma eficiência neste sistema, o qual apresentou uma remoção média de 14,2 %.

Zenatti (2007) teve como objetivo estudar o efeito do tempo de reação (TR) e da aeração na eficiência da remoção de nitrogênio amoniacal e na conversão do nitrogênio amoniacal a nitrato, de água residuária de abate de tilápia num reator em batelada seqüencial com biomassa imobilizada. O experimento foi executado usando dois TR (6 e 12 horas). Os resultados mais significativos foram para o tratamento TR 12 h, onde se obteve média de eficiência para conversão e remoção de $57,27 \pm 27,05\%$ e $81,90 \pm 3,80$, respectivamente.

Segundo Arora et al. (1985) sugeriram estratégias diferentes de operação no reator em batelada seqüencial, com a finalidade de atingir diferentes objetivos no que se refere à qualidade desejada do efluente, principalmente na remoção de nitrogênio e fósforo.

Os reatores em batelada têm sido modificados para se alcançar a remoção de nitrogênio e fósforo devido a crescente preocupação quanto a estes nutrientes (Von SPERLING, 1997).

2.5 Características físico-químicas dos efluentes

2.5.1 Matéria orgânica

Segundo Von Sperling (1996), a matéria orgânica presente nos efluentes a uma estação de tratamento divide-se nas seguintes frações:

2.5.1.1 Classificação quanto à forma e tamanho

- a) em suspensão (particulada);
- b) dissolvida (solúvel);
- c) coloidal.

2.5.1.2 Classificação quanto à biodegradabilidade

- a) inerte;
- b) biodegradável.

A remoção de matéria orgânica em processos de tratamento de efluentes reside no fato que um alimento afluente (substrato) é fornecido aos microrganismos que o metabolizam, isto foi, incorporam parte do material biodegradável, enquanto o que resta foi oxidado a compostos simples.

O efeito ecológico da poluição orgânica em um curso d'água é, principalmente, o decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido. Por isso foi fundamental e adequado o fornecimento de oxigênio, para que os microrganismos possam realizar os processos metabólicos conduzidos a estabilização da matéria orgânica (Von SPERLING,1996).

A concentração de substrato pode ser quantificada utilizando-se uma medida direta de medição, como o carbono orgânico total (COT) ou representada indiretamente através da medição do consumo de oxigênio, pelos testes da demanda química de oxigênio (DQO) e pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

As bactérias heterotróficas, responsáveis pela degradação do material orgânico, oxidam o composto transformando-o em gás carbônico e água, utilizando o oxigênio dissolvido para isso (Von SPERLING, 1996).

2.5.2 Fósforo e Nitrogênio

O fósforo e o nitrogênio são uns dos elementos essenciais à vida, fazendo parte de organismos vivos e dos processos vitais de plantas e animais. As formas de fósforo são importantes do ponto de vista limnológico, porém apenas a parcela solúvel encontra-se imediatamente disponível para o crescimento de plantas e algas, o fósforo solúvel tem maior interesse limnológico sobre outras frações.

O fósforo total corresponde à soma do conteúdo de fósforo dissolvido, do fósforo não disponível e do fósforo incorporado ao fitoplâncton. O fósforo solúvel chega à água na forma

de íons inorgânicos (PO_4^{3-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) e assume diversas formas, em função do pH do meio (CHAO, 2006).

As atividades humanas têm alterado significativamente o ciclo do nitrogênio e do fósforo na terra, com efeitos, tanto sobre a saúde dos seres humanos, quanto sobre o equilíbrio ecológico dos ecossistemas naturais. Merecem destaque os lançamentos, no meio líquido, dos compostos nitrogenados oriundos das mais diversas atividades antrópicas: esgotos domésticos; efluentes industriais; escoamento de águas de irrigação de diversas culturas agrícolas fertilizadas artificialmente com produtos ricos em amônia; o líquido oriundo da degradação do lixo urbano (chorume); águas residuárias resultantes da decomposição dos dejetos da criação de animais em escala industrial (RANDALL, 2004).

As principais fontes de fósforo presentes em ecossistemas aquáticos continentais têm origem em fontes naturais e artificiais. A quantidade de fósforo de fontes naturais no sistema aquático depende diretamente do teor presente nos minerais primários de rochas da bacia de drenagem e outras importantes fontes são as que provêm do material particulado presente na atmosfera e o fósforo resultante da decomposição de organismos (ESTEVES, 1998). As fontes artificiais mais importantes são de esgoto doméstico e da atividade industrial. Além do esgoto bruto, o efluente tratado tem um impacto forte no lançamento de nutrientes como nitrogênio e fósforo.

A eutrofização, que é o crescimento excessivo de plantas aquáticas e a proliferação de organismos com predominância de algas, tem graves conseqüências para o meio ambiente e à saúde pública. O fósforo é considerado o nutriente de maior importância nos fenômenos de eutrofização e têm sido o foco de atenções para a melhoria da qualidade dos recursos hídricos. Os problemas desencadeados com a eutrofização dos corpos hídricos pelo lançamento de nutrientes, levam à proliferação e predominância principalmente de cianobactérias, as quais produzem toxinas.

As toxinas são muito difíceis de serem removidas, isso se deve a sua característica de persistência, podem estar na água mesmo após seu tratamento, assim pode agravar seu efeito crônico, reduzindo a qualidade e as possibilidades de uso (LORENZI, 2004). Entre as outras conseqüências está a morte de peixes e de invertebrados por ausência de oxigênio dissolvido, liberação de gases tóxicos com odores desagradáveis e diminuição da produção de peixes (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Randall (2004), os problemas associados ao lançamento do nitrogênio presente em efluentes podem causar os seguintes prejuízos: toxicidade à vida aquática,

consumo do oxigênio do meio aquático no processo de oxidação da amônia, causando um grave problema de saúde pública, a Metahemoglobinemia, popularmente conhecida como “doença dos bebês azuis”, que resulta na morte prematura dos recém nascidos e prejudicam o reúso da água, principalmente para fins industriais.

A poluição por nitrogênio está diretamente relacionada à acidificação dos solos, eutrofização em ecossistemas marinhos próximos à costa e perda da biodiversidade em vários ecossistemas aquáticos e terrestres (HOWARTH, 2004).

Os problemas relacionados à saúde pública e diante dos problemas ambientais, os órgãos ambientais regulamentam o lançamento de despejos contendo nitrogênio e fósforo.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução n. 357 de 17 de março de 2005, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes de acordo com o seu enquadramento (BRASIL, 2005). Ela permite aos órgãos ambientais estaduais adotarem valores mais restritivos, como é o caso da resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA N° 128/2006, determina valores de fósforo como limites para lançamento de acordo com a vazão de lançamento no Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2006). De acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Variação dos padrões de emissão para os parâmetros de fósforo.

Faixa de vazão (m ³ /d)	Concentração (P) (mg/L)	Eficiência (%)
Q < 100	4	75
100 ≤ Q < 1000	3	75
1000 ≤ Q < 10000	2	75
10000 ≤ Q	1	75

Fonte: CONSEMA, 2006.

O impacto negativo das cargas de fósforo nos corpos de água é preocupante e exigem por parte do poder público medidas de controle e de monitoramento, independente de estar ou não na legislação.

Os valores de nitrogênio como limites para lançamento conforme a vazão de lançamento no Rio Grande do Sul de acordo com a resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA N° 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006). A determinação deste

valor, como limite de lançamento, está associada à toxicidade conferida pela amônia aos organismos aquáticos. O limite para lançamento de nitrogênio é de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Variação dos padrões de emissão para os parâmetros Nitrogênio Total Kjeldahl.

Faixa de vazão (m ³ /d)	Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	Eficiência de Nitrogênio Total Kjeldahl (%)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
Q < 100	20	75	20
100 ≤ Q < 1 000	20	75	20
1 000 ≤ Q < 10 000	15	75	20
10 000 ≤ Q	10	75	20

Fonte: CONSEMA, 2006.

A opção pelo atendimento à eficiência mínima fixada para remoção de Nitrogênio total, deve ser atendida, concomitantemente, o limite máximo de 20 mg/L para Nitrogênio Amoniacal, para qualquer vazão de lançamento.

As principais formas de remoção de fósforo podem ser efetuadas por meio de processos biológicos e/ou físico-químicos. Mas os processos físico-químicos com sua alta eficiência têm algumas desvantagens devido ao custo operacional relativamente elevado, devido aos gastos com produtos químicos e o grande volume de lodo gerado (LIMA, 2003).

A alternativa mais aplicada para remoção biológica de nitrogênio pode ser um processo em duas etapas. A primeira é a oxidação da amônia a nitrato em ambiente aeróbio (nitrificação) e a segunda é a utilização do nitrato, formado na primeira etapa, como aceptor de elétrons para respiração biológica, promovendo a redução desse íon a nitrogênio molecular (desnitrificação) (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Lloyd (1987) provou, com auxílio de técnicas de espectrofotometria de massa, a ocorrência da desnitrificação, realizada por diferentes bactérias, em escala laboratorial, mesmo quando a concentração de oxigênio dissolvido aproximou-se dos valores de saturação. Os processos biológicos mostram cada vez mais maneiras simples, eficazes, fáceis de serem projetados e operados. As etapas de remoção de nitrogênio estão encontrando aplicações crescentes à medida que as diversas atividades humanas se intensificam.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

O reator biológico em batelada seqüencial aerado, em escala piloto, foi instalado no laboratório de Aulas Práticas do Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade de Passo Fundo, Brasil.

O reator foi construído no formato cilíndrico em vidro borosilicato, com diâmetro de 9,0 cm e altura de 45,0 cm, com capacidade máxima de 2,5 L. A aeração foi feita por compressor de ar e a vazão controlada por um rotômetro, conforme a Figura 5.

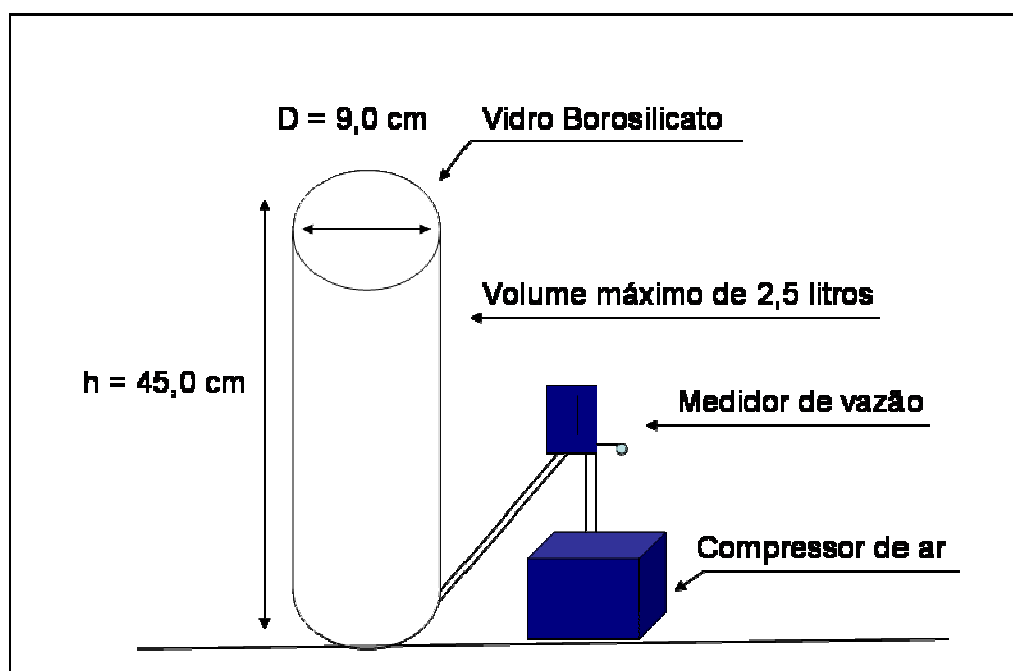


Figura 5: Esquema de montagem do reator RBS.

A alimentação do reator foi com efluente sintético, composto por leite em pó desnatado e água destilada. O uso do leite desnatado no processo foi como uma reprodução das condições de tratamento, onde no laticínio a gordura é retirada, flotada, antes de passar para o tratamento no reator em batelada seqüencial.

A inoculação do reator piloto foi realizada com o lodo secundário da estação de tratamento de efluentes cedido pela indústria de Laticínios da Unidade Parmalat de Carazinho – Rio Grande do Sul.

A aferição de oxigênio dissolvido, temperatura e pH foram efetuados utilizando um oxímetro, potenciômetro e a temperatura verificada com termômetro. A amostra que foi coletada no reator para análise, foi filtrada em papel filtro Whatmann® número 1.

Na Figura 6 se observa o RBS tratando efluente sintético de laticínio.



Figura 6: Reator em batelada seqüencial tratando efluente sintético de laticínio.

3.2 Métodos

O efluente foi adicionado no reator manualmente. O volume de efluente adicionado no reator foi de dois litros.

A concentração de biomassa colocada no reator variou de 1 000 mg/L até 3 500 mg/L de sólidos suspensos totais, esta concentração de biomassa foi estipulada devido a quantidade de biomassa presente no reator até uma marcação estabelecida, que foi de um terço da

capacidade máxima. A biomassa foi trocada por uma nova depois de ser usada em seis bateladas.

As análises físico-químicas foram feitas em triplicata. A análise de DQO foi de acordo com o método colorimétrico de refluxo fechado, o nitrogênio amoniacal total foi pelo nitrogênio Total Kjeldahl e o fósforo pelo método colorimétrico reagente de Armstrong todos descritos no Standard Methods (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998).

A temperatura do efluente no reator variou de 19°C a 23°C. O pH do efluente no reator foi de 6,0 a 7,5.

A variável do projeto foi a concentração de DQO. As variáveis respostas foram a remoção de DQO, nitrogênio amoniacal total e fósforo total.

O dados obtidos foram colocados no programa de estatística “Statística 6 da StatSoft” para aferição dos resultados.

3.3 Procedimentos

3.3.1 Preparação do efluente

O efluente foi preparado a cada início de batelada, composto de leite desnatado em pó e água destilada que foram colocados em um béquer com capacidade de dois litros. A concentração de leite foi variada entre 1 000 mg/L a 6 000 mg/L. Foram feitas seis bateladas para cada concentração de leite. Foram escolhidas estas concentrações de leite para analisar como o reator se comporta nestas situações (baixa e alta concentração de nutrientes).

Nos dados obtidos não se usou a concentração de leite, mas a concentração de DQO correspondente, que está na Tabela 5.

Tabela 5: Concentração de leite e a concentração de DQO correspondente.

Concentração de leite em pó desnatado	Concentração de DQO
mg/L	
1 000	1 073
2 000	2 702

3 000	4 480
4 000	5 869
5 000	5 082
6 000	9 165

O efluente bruto foi analisado a cada início de batelada, pH, temperatura, DQO, P_t e N_t . O volume total de efluente colocado no reator foi de dois litros.

O efluente antes de ser colocado no reator a cada início de batelada foi chamado de efluente bruto.

3.3.2 Alimentação do reator

O efluente foi adicionado manualmente e lentamente ao reator, uma quantidade de dois litros, mantendo-se a aeração com uma vazão de ar de 1,8 L/min.

3.3.3 Reação

Ao colocar o efluente bruto no reator se espera 5 min para fazer a primeira coleta para análise, este foi o tempo zero (efluente inicial); o efluente foi homogeneizado neste tempo com a biomassa aerando até a mistura total. Uma amostra de 160 mL foi coletada por uma válvula do reator e filtrada para análise de DQO, N_t e P_t . Outra amostra de 50 ml foi coletada sem ser filtrada para os sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais. Se verificou neste tempo que a remoção de DQO inicial foi grande em 5 min de operação (tempo zero); por isso foi feito análises de DQO em 1 min em 1 min até completar 5 min, os valores de remoção de DQO conforme o tempo para as concentrações de DQO de 1 073 mg/L, 2 702 mg/L, 4 480 mg/L, 5 869 mg/L, 5 082 mg/L e 9 165 mg/L estão no Apêndice A.

A análise tem como objetivo verificar se a remoção inicial foi por diluição, por demanda química imediata ou ela remove gradativamente neste tempo de 5 min.

A temperatura, pH e DQO foram analisadas de 2 h em 2 h, até completar 6 h de operação.

Ao final do tempo de reação foi coletada uma nova alíquota de 160 mL do reator e filtrada para análise de DQO, N_t e P_t . Novamente se procede a coleta de 50 ml para avaliação dos sólidos sedimentáveis e após foi filtrada para os sólidos suspensos totais.

O oxigênio dissolvido no reator foi de 2 mg/L de O_2 .

3.3.4 Fase de Sedimentação

A aeração foi desligada e o reator foi deixado em repouso por 45 min.

3.3.5 Descarga

O efluente sobrenadante da sedimentação da biomassa foi retirado pelos pontos de amostragem do reator.

3.3.6 Repouso

A quantidade de biomassa, foi ajustada para a realização do próximo experimento. A biomassa foi ajustada até a marcação do reator correspondente a um terço.

A biomassa foi mantida por constante aeração, mesmo quando não estavam sendo executados experimentos.

A Figura 7 apresenta o fluxograma de operação da batelada.

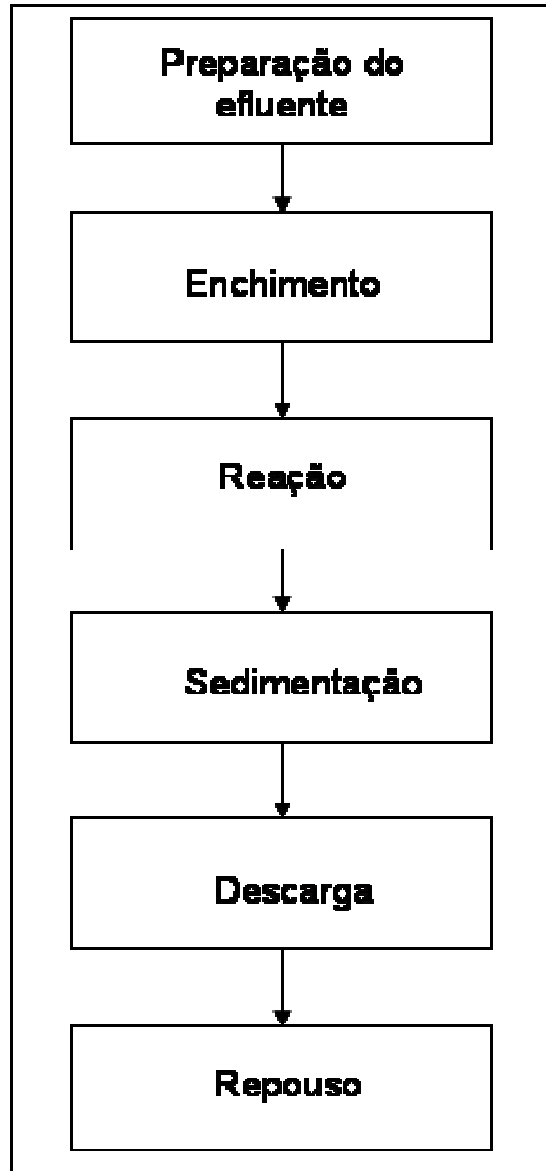


Figura 7: Fluxograma de operação da batelada.

3.3.7 Índice Volumétrico de lodo – IVL

O cálculo do índice volumétrico de lodo foi de acordo com a Equação 2:

$$IVL = \frac{SSed}{SST} \quad (2)$$

Sendo:

IVL = Índice volumétrico de lodo (mL/g).

SST = Sólidos suspensos totais (mg/L).

SSed = Sólidos sedimentáveis (mL/L).

3.4 Eficiência de remoção de parâmetros

A eficiência em termos de remoção dos parâmetros como a DQO, N_t e P_t foram calculadas utilizando a Equação 3:

$$E = \left(1 - \frac{C_f}{C_o} \right) \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

E = Eficiência de remoção (%).

C_f = Concentração do efluente final do poluente (mg/L).

C_o = Concentração do efluente de alimentação (mg/L).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da remoção de DQO, N_t e P_t foram comparados com a legislação de lançamento de efluentes nos corpos hídricos receptores no Rio Grande do Sul, para vazões menores que $50 \text{ m}^3/\text{d}$ (RIO GRANDE DO SUL, 2006).

4.1 Sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e índice volumétrico de lodo

Os sólidos suspensos totais no início e no final da operação, sólidos sedimentáveis (inicial e final) e índice volumétrico de lodo (inicial e final) em 60 min estão nas Tabelas 6.

Tabela 6: Sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis e índice volumétrico de lodo (inicial e final) para 60 min.

Concentração de DQO (mg/L)	SST (g/L)		Sólidos Sedimentáveis inicial (mL/L)	Sólidos Sedimentáveis final (mL/L)	IVL inicial (mL/g)	IVL final (mL/g)
	Inicial	Final	60 min	60 min	60 min	60 min
1 073	1,584	2,085	334	256	211	123
2 702	1,602	1,795	222	261	139	145
4 480	1,392	2,118	223	179	160	85
5 869	0,706	1,484	273	133	387	90
5 082	0,64	1,347	293	332	458	246
9 165	1,625	2,76	582	501	358	182

Os valores de sólidos suspensos totais no início ao final do processo de operação conferiu um crescimento de biomassa. A biomassa por ser composta basicamente por microrganismos, com o fornecimento de nutrientes tendem a aumentar a quantidade destas no meio.

Os valores de sólidos sedimentáveis foram usados para calcular o índice volumétrico de lodo.

O IVL, segundo Von Sperling (1997), pode ser interpretado da seguinte forma: ótimo de 0 mL/g a 50 mL/g , bom de 50 mL/g a 100 mL/g , médio de 100 mL/g a 200 mL/g , ruim de

200 mL/g a 300 mL/g e péssimo maior que 300 mL/g de sedimentabilidade para tratamento de esgoto.

A Tabela 6 apresenta os valores de IVL em 60 min inicial e final se comparados com o lodo ativado são: a concentração de 1 073 mg/L de DQO ruim a média, 2 702 mg/L média, 4 480 mg/L média a boa, 5 869 mg/L péssima a boa, 5 082 mg/L péssima a ruim e 9 165 mg/L péssima a média sedimentabilidade.

O melhor índice volumétrico de lodo inicial foi de 2 702 mg/L e 4 480 mg/L de DQO, verificando que os sólidos suspensos totais foram de 1,602 g/L e 1,392 g/L que interferiram significativamente no IVL inicial. As menores concentrações de SST (0,706 g/L e 0,64 g/L) para as concentrações de DQO de 5 869 mg/L e 5 082 mg/L não ajudaram na sedimentabilidade.

O IVL final, a melhor sedimentabilidade foi para as concentrações de DQO de 4 480 mg/L e 5 869 mg/L, tendo como SST a quantidade de 2,118 g/L e 1,484 g/L. A pior sedimentabilidade em 5 082 mg/L com a quantidade de SST de 1,347 g/L.

A quantidade de biomassa presente no meio vai influenciar na sedimentabilidade. A maior concentração de SST para menores concentrações de DQO influenciam positivamente na sedimentabilidade, menos para a maior concentração de DQO. O IVL final é fundamental na sedimentabilidade da biomassa e é muito importante em uma indústria, pois quando acaba o processo de operação do reator, o efluente tratado tem que ser separado da biomassa e retirado do reator, maior sedimentabilidade maior quantidade de retirada do efluente tratado. Neste caso a concentração de DQO e os SST influenciaram significativamente na sedimentabilidade da biomassa.

4.2 Remoção de DQO

A concentração de DQO estipulada pela resolução do CONSEMA N° 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006), o limite de DQO para vazão de lançamentos menores de 100 m³/d, a concentração limite é de 360 mg O₂/L.

A concentração de DQO do efluente para concentrações de DQO de 1 073 mg/L a 9 165 mg/L é de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7: Valores de concentração de DQO de acordo com o tempo de reação.

Concentração de DQO (Bruto)	Inicial	2 h	4 h	6 h
1 073	498	216	162	103
2 702	1775	1 015	165	165
4 480	3 072	2 694	2 106	1 626
5 869	4 531	3 579	2 500	1 800
5 082	2 193	1 467	1 227	1 227
9 165	5 322	3 833	1 500	1 073

A concentração de DQO de 1 073 mg/L, em 2 h de operação já atingiu a concentração desejada pela legislação. A concentração de 2 702 mg/L de DQO a remoção em 4 h alcançou a concentração de lançamento. As concentrações de 4 480 mg/L a 9 165 mg/L não atingiram a concentração almejada para limite máximo de DQO.

As eficiências de remoção de DQO das concentrações de 1 073 mg/L, 2 702 mg/L, 4 480 mg/L, 5 869 mg/L, 5 082 mg/L e 9 165 mg/L de acordo com o tempo de 0 h, 2 h, 4 h e 6 h de operação, estão na Figura 8.

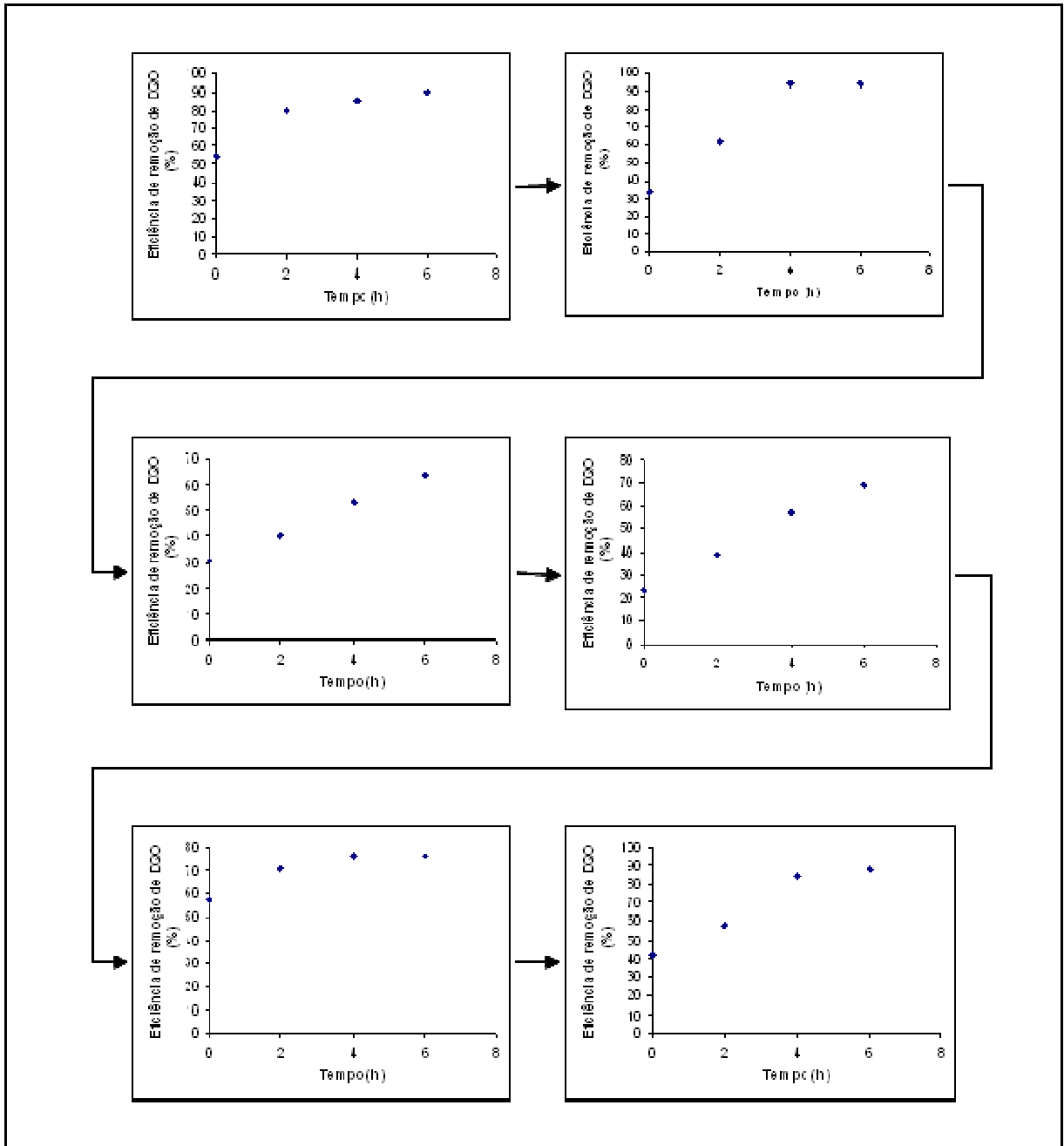


Figura 8: Eficiência de remoção de DQO das concentrações de 1 073 mg/L, 2 702 mg/L, 4 480 mg/L, 5 869 mg/L, 5 082 mg/L e 9 165 mg/L de acordo com o tempo de 0 h, 2 h, 4 h e 6 h de operação.

A melhor eficiência de remoção de DQO foi de 94 % para a concentração de DQO de 2 702 mg/L. As menores eficiências de remoção têm uma sedimentabilidade considerada boa. As melhores eficiências de remoção de DQO têm o IVL entre 123 mL/g e 182 mL/g, considerada como uma média sedimentabilidade em consideração a Von Sperling (1997). Isso

quer dizer que tendo uma boa sedimentabilidade, não quer dizer que a eficiência de remoção também será.

A remoção de DQO aumenta com o tempo de operação, só na concentração de 2 702 mg/L e 5 082 mg/L a remoção estabiliza em 4 h de operação.

A eficiência de remoção de DQO de todos os experimentos em relação ao tempo de operação, está na Figura 9.

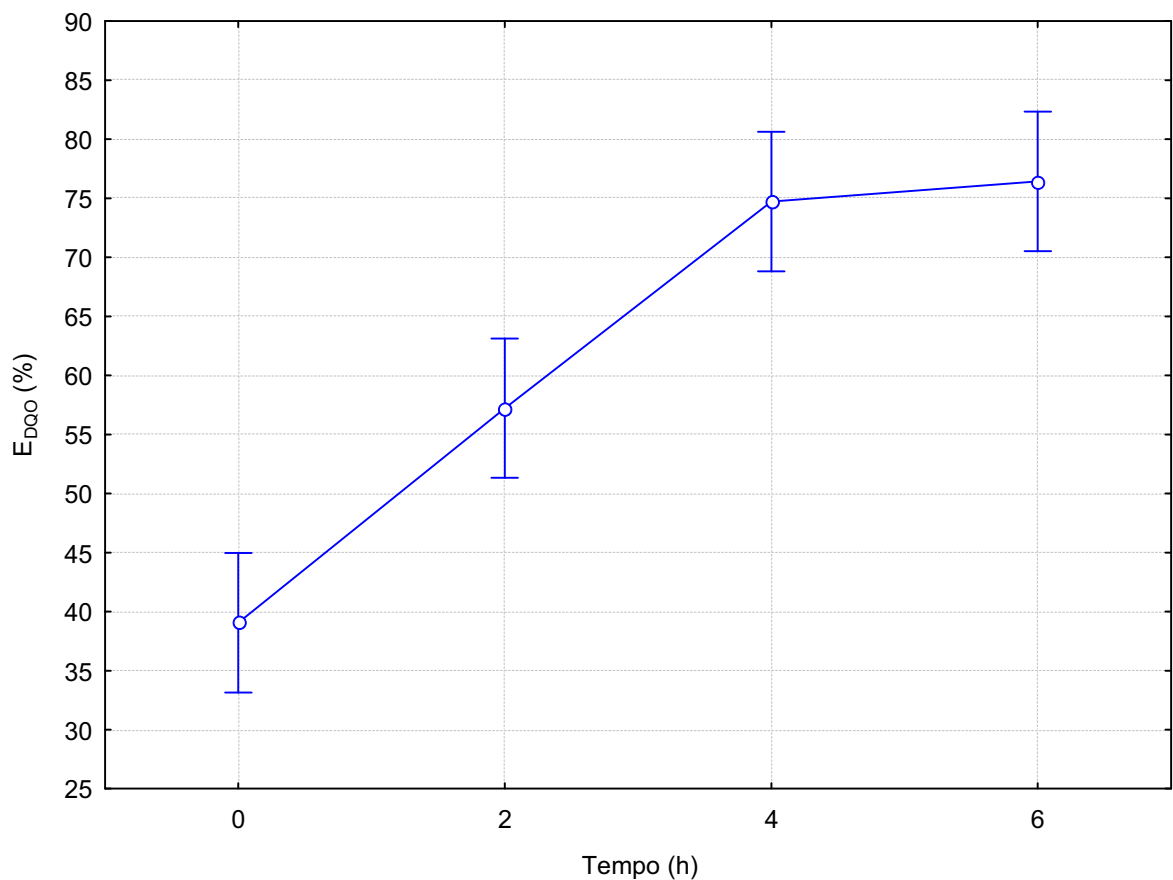


Figura 9: Eficiência de remoção de DQO de todos os experimentos em relação ao tempo de operação.

A eficiência de remoção foi crescente até o tempo de 4 h e tendendo a se estabilizar até o tempo de 6 h. A crescente remoção até o tempo de 4 h pode ser explicada devido à disponibilidade do carbono orgânico degradável. Subseqüente a esse tempo, devido ao decréscimo do carbono orgânico disponível, a eficiência tende a se estabilizar. Em termo estatístico a eficiência de remoção de DQO no tempo de 4 h e 6 h não é significativa, pois o valor de p deu 0,976912, isso quer dizer que são iguais nestes tempos.

O tempo de operação do reator é muito importante em uma indústria de laticínios, pois menos tempo operando, significa menor custo com operário e equipamentos. Neste caso, no tempo de operação de 4 h é suficiente para uma remoção significativa, depois deste tempo se percebe que a remoção de DQO estabiliza.

4.3 Remoção de nitrogênio amoniacal total

A concentração de N_t estipulado pela resolução do CONSEMA N° 128/2006, o limite para vazões de lançamentos menores de 100 m³/d a concentração limite é de 20 mg/L ou atinja uma eficiência de remoção de 75 % (RIO GRANDE DO SUL, 2006).

A concentração de N_t para as concentrações de DQO de 1 073 mg/L a 9 165 mg/L é de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8: Concentração de nitrogênio amoniacal total para as concentrações de DQO de 1 073 mg/L a 9 165 mg/L.

Concentração de DQO	Bruto	Inicial	Final
	mg/L		
1 073	48	40	18
2 702	100	70	40
4 480	155	96	39
5 869	209	136	91
5 082	274	140	88
9 165	324	130	79

A concentração de DQO de 1 073 mg/L, no final da operação atingiu a desejada pela legislação. As concentrações de 2 702 mg/L a 9 165 mg/L de DQO não atingiram a concentração almejada para limite de N_t .

A eficiência de remoção de N_t em relação a concentração de DQO no tempo de 6 h de operação está na Figura 15.

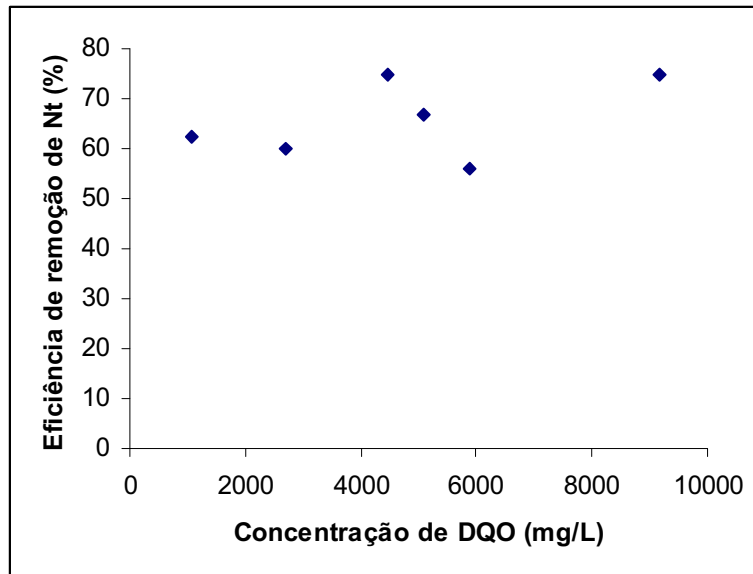


Figura 10: Eficiência de remoção de N_t em relação a concentração de DQO no tempo de 6 h de operação.

Ao atendimento da resolução do CONSEMA N° 128/2006, as concentrações que ficaram dentro do padrão estipulado por eficiência de remoção foram de 4 480 mg/L e 9 165 mg/L, as demais não atingiram a remoção desejada por eficiência. No geral as concentrações de DQO que atenderam a legislação por eficiência de remoção e concentração foram as concentrações de 1 073 mg/L, 4 480 mg/L e 9 165 mg/L.

Os SST, para as melhores faixas de eficiência de remoção de N_t , foram consideradas como boa e média sedimentabilidade e a menor eficiência com uma boa sedimentabilidade, com isso se observa que a sedimentabilidade não está relacionada com a remoção de N_t .

A eficiência geral de remoção de N_t das concentrações com o tempo de operação de 0 h e 6 h, de acordo com a Figura 11.

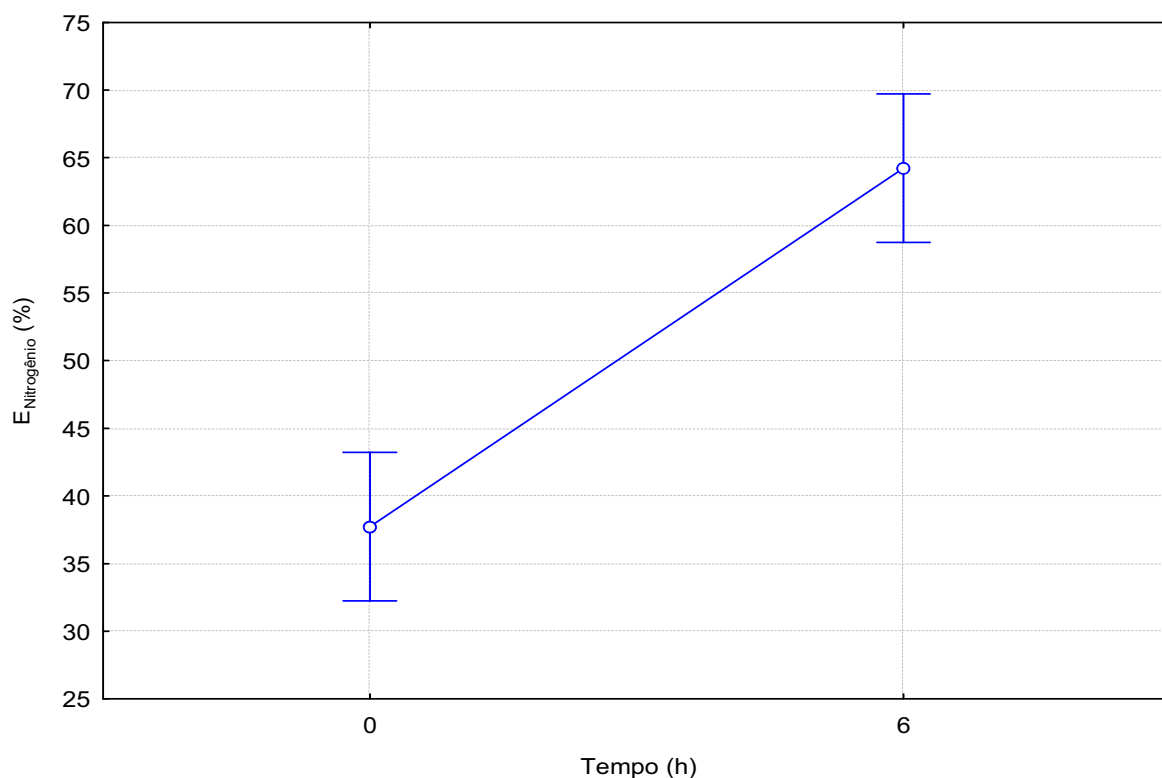


Figura 11: Eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal total das concentrações com o tempo de 0 h e 6 h.

A eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal total é crescente, de acordo com o tempo é significativa, com o valor de p igual a 0,000109.

4.4 Remoção de fósforo total

A concentração de P_t estipulado pela resolução do CONSEMA N° 128/2006, o limite de fósforo total para vazão de lançamentos menores de 100 m³/d, a concentração limite é de 4 mg/L ou atinja uma eficiência de remoção de 75 % (RIO GRANDE DO SUL, 2006).

A concentração de fósforo total para as concentrações de DQO de 1 073 mg/L a 5 869 mg/L é de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9: Concentração de fósforo total para as concentrações de DQO de 1 073 mg/L a 5 869 mg/L.

Concentração de DQO	Bruto mg/L	Inicial	Final
1 073	1,69	1,59	1,0
2 702	2,01	1,99	0,4
4 480	2,16	2,07	0,4
5 869	2,11	2,01	0,5

A concentração de DQO de 1 073 mg/L a 5 869 mg/L atingiram a concentração almejada para limite de fósforo total, pois todas as concentrações do efluente bruto são abaixo do limite estipulado pela legislação.

A eficiência de remoção de fósforo total em relação a concentração de DQO no tempo de 6 h (final) de acordo com a Figura 12.

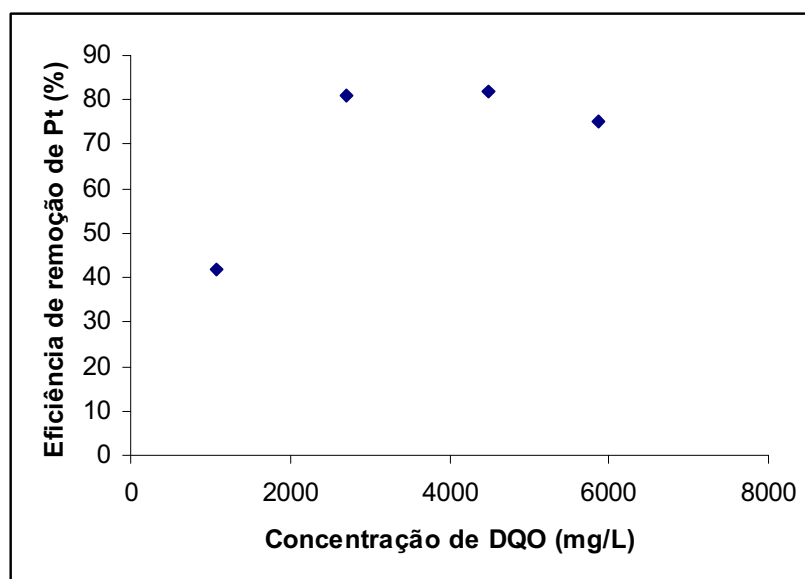


Figura 12: Eficiência de remoção de fósforo total em relação a concentração de DQO.

No atendimento da resolução do CONSEMA N° 128/2006 as concentrações que ficaram dentro do padrão estipulado por eficiência de remoção foram de 2 702 mg/L, 4 480 mg/L e 5 869 mg/L, a única que não atingiu a remoção desejada por eficiência foi a de 1 073 mg/L (RIO GRANDE DO SUL, 2006).

As melhores eficiências de remoção de fósforo total considerada em relação ao IVL, ficou com boa a média sedimentabilidade, já a menor eficiência ficou considerada como

média sedimentabilidade. O IVL não está relacionado com a eficiência de remoção do fósforo.

A eficiência geral de remoção de P_t das concentrações com o tempo de operação de 0 h e 6 h, de acordo com a Figura 13.

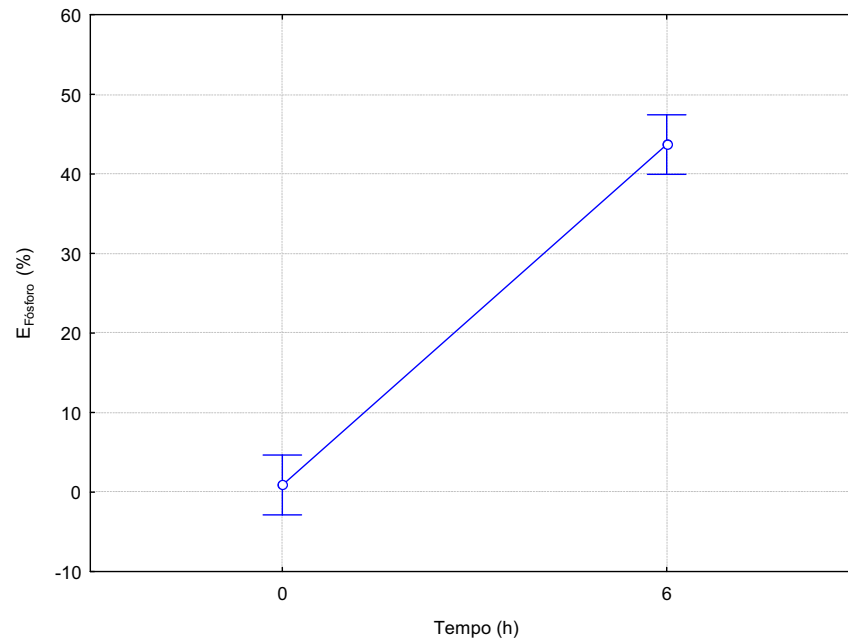


Figura 13: A eficiência geral de remoção de fósforo total das concentrações com o tempo de operação de 0 h e 6 h.

A eficiência de remoção de fósforo total é crescente, de acordo com o tempo é significativa, com o valor de p igual a 0,000000.

5 RECOMENDAÇÕES

Em vista das limitações do estudo se recomenda para trabalhos futuros: realizar um estudo de custo (operacional e de instalação); verificar a possibilidade de utilização deste reator para o tratamento de efluentes diversos; testar outras variáveis que não foram testadas neste trabalho (outros poluentes e outras análises) e analisar o efluente real de um laticínio em um RBS.

6 CONCLUSÕES

O reator em batelada seqüencial apresentou ser de fácil operação, controle e um bom desempenho na remoção de DQO, nitrogênio amoniacal total e fósforo total que alcançou níveis de até 94 %, 75 % e 82 % de remoção.

A eficiência de remoção de DQO apresentou uma estabilidade em 4 h de operação. Para a indústria de laticínios isso significa menor tempo para alcançar uma satisfatória remoção e assim diminuindo custos e principalmente tempo.

A remoção de nitrogênio amoniacal total e fósforo de acordo com o tempo, foram crescentes, podendo alcançar maiores remoções em maior tempo de operação.

O processo usando um reator em batelada seqüencial é uma importante alternativa para pequenas e médias indústrias de laticínios, possibilitando a retirada de grandes concentrações de nutrientes dos efluentes.

REFERÊNCIAS

AFONSO, M. L. C.; PAWLOWSKY, U.; PATZA, M. G. **Tratabilidade dos despejos de laticínios por lodos ativados**. Brasil Alimentos, 2001.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: DC, 1998.

AQUARONE, E. et al. **Biotecnologia Industrial**. São paulo, 2001.

ARORA, M.L.; BARTH, E.; UMPHRES, M.B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 57, n. 8, p. 867-875, ago. 1985.

BEHMER, M. L. A. **Laticínios**. 4. ed. São Paulo, 1968.

BYYLUND, G. Tetra Pak Dairy Processing Handbook. Sweden: Tetra Pak Processing System, 1995.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Cetesb, 1993.

BRASIL, CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução N°357, de 17 de março de 2005. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2008.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 8 jul. 2008.

BRASIL. Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 51 de 18/09/2002. Disponível em: <
<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/InstrucaoNormativa51.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2008.

BRIÃO, V. B. **Estudo de prevenção à poluição em uma indústria de laticínios**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2000.

BRIÃO, V. B. Processos de separação por membranas para reuso de efluentes de **laticínios**. Maringá, 2007. (Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em

Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá).

CALLADO, N. H.; FORESTI, E. Tratamento de esgoto doméstico com remoção de nitrogênio e fósforo em reatores seqüenciais em batelada. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 1-8.

CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo, CETESB, 1979.

CHAO, I. R. S. Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COSTA, T. B. **Desempenho de Reator em batelada Seqüencial (RBS) com enchimento escalonado no tratamento de esgoto sanitário doméstico.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Engenharia Ambiental) – Programa de Pós- graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERREIRA, E. S. Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e denitrificação biológica. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 1-25.

FERREIRA, I. C. S. **Tratamento terciário da indústria de laticínios através da adsorção de lactose em argila esmectítica.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GOMES, S. T. **Produção de leite no Brasil.** Embrapa, 1991.

HOWARTH, R. W. Human acceleration of the nitrogen cycle: drives, consequences, and steps toward solutions. **Water Science and Technology**, Londres, v. 49, n. 5-6, p. 7-13, 2004.

IRVINE, R. L.; BUSH, A. W. Sequencing batch biological reactors – an overview. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, v. 51, n. 2, p. 264-273, 1979.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. São Paulo, 2005.

LIMA, E. P.P. **Pós-tratamento em reator com recheio de pedra calcária de fluentes da parboilização do arroz tratados em reator UASB**. 2003. 42 p. Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – DCTA, Faem, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

LLOYD, D. Persistence of bacterial denitrification capacity under aerobic conditions: The rule rather than the exception. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 45, n. 3, p. 185-190, 1987.

LORENZI, A. S. Abordagens moleculares para detectar cianobactérias e seus genótipos produtores de microcistinas presentes nas represas Billings e Guarapiranga. São Paulo, Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciências) - apresentada Centro de Energia Nuclear na agricultura CENA – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MELCHIOR, S. C. et al. **Tratamento de Efluentes por Processo de Lodos Ativados**. In: Fórum de Estudos Contábeis, 3, 2003, Rio Claro, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse**. 4. ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2003.

MORAIS, L. C. Tratamento terciário de efluente de indústria de laticínio tendo em vista adsorção de lactose em argila organofílica. 2003. Dissertação de mestrado-Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2003.

NUNES, J. A. Tratamento Físico-químico de águas residuárias industriais. 3. ed. Sergipe: Gráfica e Editora, 2001.

OLIVEIRA, J. S. **Queijo: Fundamentos Tecnológicos**. 2. ed. São Paulo, 1986.

PRATIQUE Leite. São Paulo: site de divulgação da Tetrapak, 2006. Apresenta artigos sobre os benefícios e a história do leite. Disponível em:
<<http://www.pratiqueleite.com.br/content.php?recid=5427>>. Acesso em: 1 fev. 2008.

PIRES, C. A. et al. **Recuperação de sólidos lácteos de águas de primeiro enxágüe por osmose inversa e sua aplicação na produção de doce de leite**. 2007. Relatório do projeto de conclusão de curso de Engenharia de Alimentos da Universidade de Passo Fundo, 2007.

RANDALL, C. W. The environmental, economic and societal consequences of inadequate nitrogen pollution controls. **Water Science and Technology**, Londres, v. 49, n. 5-6, p. 23 – 33, 2004.

RIO GRANDE DO SUL, CONSEMA: Conselho Estadual do Meio Ambiente, Resolução N° 128/2006. Disponível em:
<<http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Resolucao128Efluentes.pdf>>. Acesso em 3 fev. 2008.

SANTOS, A. V. et al. Determinação do tempo necessário para oxidação da matéria orgânica facilmente biodegradável em reator seqüencial em batelada (RSB) com enchimento estático. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Mar. 2006, v. 11, n. 1, p. 83-91.

SARAIVA, L. B. **Remoção de nutrientes em efluente de indústria de parboilização de arroz**. 2000. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Departamento de Química, Fundação Universidade Federal de Rio Grande, 2000.

SCHMIDT, K. H. Bom para todos. **Anuário Brasileiro do leite**. 2008.

SOUSA, J. T.; FORESTI, E. Domestic sewage treatment in in the up-flow anaerobic sludge blanket - sequencing batch reactor system. **Water Science and Technology**, vol. 33, n. 3, 1996.

Van HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: Um manual para regiões de clima quente. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994.

Von SPERLING, M. **Lodos ativados**. v. 4. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

Von SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v. 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996.

WILDERER, P. A. et al. Sequencing batch reactor technology. IWA Publishing, London, **Scientific and Technical**, Report n. 10., 1997.

ZENATTI, D. C. Avaliação da nitrificação de efluente de abatedouro de tilápia em reator em batelada seqüencial aerado com biomassa imobilizada. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Departamento de Engenharia Agrícola), Cascavel, 2007.

ZOCCAL, R. O leite no Brasil. **Anuário Brasileiro do leite**. 2008.

APÊNDICE A - Remoção de DQO inicial

As eficiências de remoções de DQO em 1 min a 5 min de operação para cada concentração de DQO respectivamente, estão na Figura 14.

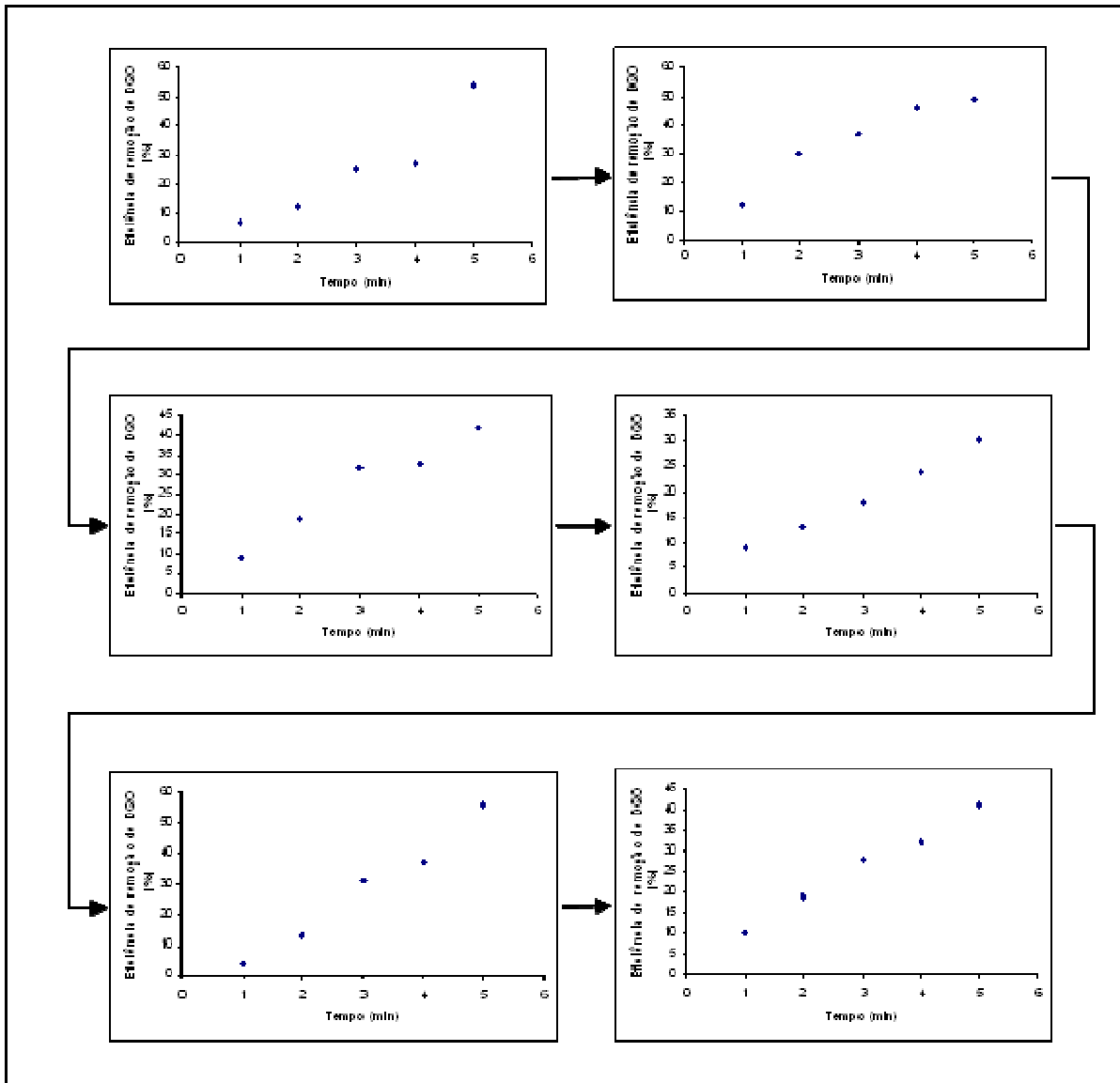


Figura 14: As eficiências de remoções de DQO em 1 min a 5 min de operação para cada concentração de DQO respectivamente.

A eficiência de remoção inicial de DQO não foi por diluição, pois teria que ser adicionado um volume muito grande de água destilada para que ocorresse uma diluição grande para que se pudesse baixar a concentração e obter a eficiência desejada. Como o processo de tratamento é realizado em batelada e em 6 h se tem uma eficiência de remoção de DQO de 90 %. Após o tratamento não se adiciona matéria carbonácea continuamente. A eficiência imediata se deve ao fato dos microrganismos estar propenso ao consumo da matéria orgânica, desencadeando tal eficiência.