

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
GESTÃO E PERÍCIA AMBIENTAL

MÉRCIA DE OLIVEIRA MEIRA

DIGESTÃO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS

NATAL/RN
2014

MÉRCIA DE OLIVEIRA MEIRA

DIGESTÃO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS

Trabalho apresentado ao Centro Universitário do RN como requisito final para obtenção do título de pós-graduada em Gestão e Perícia Ambiental.

Orientador (a): Prof^a Sara Amélia O. Galvão.

**NATAL/RN
2014**

RESUMO

Este estudo consta do acompanhamento experimental da digestão da matéria orgânica presente no efluente proveniente da etapa de coagulação do processo de produção do queijo, além do monitoramento das alterações ocorridas, no meio, em termos de: pH, Acidez, Turbidez e Características Organolépticas. Os resultados foram ajustados a modelos matemáticos, predizendo assim alguns parâmetros específicos do efluente, para o dimensionamento de unidades de tratamento anaeróbio. O mecanismo de obtenção dos dados consta de um sistema rudimentar a base de garrafas plásticas confeccionadas para esse fim, em busca de alternativas para os métodos preconizados pela APHA e outras entidades, que requerem sistemas com maiores recursos tecnológicos. O soro de queijo mostrou poder ser tratado pelo processo anaeróbio, no entanto, apresentando índices de remoção máximos da ordem de 60% da matéria orgânica, sendo necessários tratamentos prévios ou complementares para sua deposição final em corpos receptores. No entanto, os ensaios foram realizados com o efluente com baixa carga microbiana, sendo a correção desse parâmetro uma alternativa a otimização do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Soro, tratamento anaeróbio & cinética de biodegradação.

ABSTRACT

This experimental study includes monitoring the digestion of organic matter present in the effluent from the stage of coagulation of the cheese production process, and monitoring the changes in the middle, in terms of pH, acidity, turbidity and organoleptic properties. The results were fitted to mathematical models, thus predicting specific parameters of the effluent for the design of anaerobic treatment units. The mechanism of data collection, consists of a rudimentary system-based plastic bottles made for this purpose, in search of alternatives to the methods recommended by APHA and other entities that require systems with higher technological resources. The cheese whey may be treated showed the anaerobic process, however, with maximum rates of removal of about 60% organic matter, requiring additional treatment prior to deposition or final receiving bodies. However, tests were carried out with the effluent with a low microbial load, and the correction parameter of an alternative process optimization.

KEYWORDS: Serum, anaerobic treatment & biodegradation kinetics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	6
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	8
4. CONCLUSÕES.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

1 - INTRODUÇÃO

O potencial de poluição dos efluentes dos laticínios, em especial o soro eliminado no processo de coagulação do leite, é aproximadamente cem vezes superior ao do esgoto doméstico. Atualmente, constitui uma prática pela maioria das usinas o descarte do soro do queijo direta ou indiretamente nos cursos de água.

Uma unidade de produção de queijo com produção média de 300.000L de soro por dia, polui o equivalente a uma pequena cidade de 150.000 habitantes. Sendo uma prática industrial altamente nociva ao meio ambiente, em termos de matéria orgânica. Em termos locais, da situação da poluição oriunda dessa atividade, estima-se que apenas no Rio Grande do Norte, local de realização dos ensaios, existem cerca de 2000 queijeiras, com produção diária de mais 500 litros de soro, em média por mês (SEBRAE, 2002). O que representa um montante de 1.000.000 de litros, com equivalente populacional de 500.000 pessoas.

O reaproveitamento do soro apresenta, ainda, poucas alternativas de interesse econômico, apesar do alto valor agregado desse produto. Diante da problemática do não reaproveitamento, o tratamento torna-se uma medida paliativa para minimização dos impactos causados ao meio ambiente.

Em termos do tratamento, nos últimos anos, observa-se um grande desenvolvimento no setor de saneamento, com avanços tecnológicos que possibilitaram o surgimento de projetos de sistemas com grande eficiência para o tratamento de águas residuárias e com custos mais otimizados. No entanto, estas tecnologias são voltadas, em grande parte, para o tratamento de grandes volumes de resíduos principalmente em grandes centros urbanos. São poucas as iniciativas que propõem o desenvolvimento ou adaptação de tecnologias, voltadas às condições reais de pequenos produtores ou mesmo em zonas rurais de total falta de incentivos econômicos e políticos.

Neste sentido tem-se a necessidade de sistemas simplificados e de baixo custo, tais como: tanques sépticos, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, reuso e disposição no solo, leitos cultivados e outros. Tanto na implantação como na manutenção estes sistemas se sobressaem pela simplicidade conceitual, pela pouca mecanização, pela economia e por tratarem de processos naturais (VALENTIM, 1999).

Para o dimensionamento e padronização das técnicas de tratamento, entretanto, são necessários os conhecimentos de alguns parâmetros específicos do efluente a ser tratado. Diante dessa situação, esse trabalho oferece um estudo da cinética de biodegradação, em ambiente ausente de oxigênio (anaeróbio), do efluente da etapa de coagulação na produção do queijo tipo “coalho”.

Este estudo consta do acompanhamento experimental da digestão da matéria orgânica presente no efluente proveniente da etapa de coagulação do processo de produção do queijo, além do monitoramento das alterações ocorridas, no meio, em termos de: pH, Acidez, Turbidez e Características Organolépticas. Os resultados foram ajustados a modelos matemáticos, predizendo assim alguns parâmetros específicos do efluente, para o dimensionamento de unidades de tratamento anaeróbio.

O mecanismo por onde se obterá os dados, consta de uma sistema rudimentar a base de garrafas plásticas confeccionadas para esse fim, em busca de alternativas para os métodos preconizados pela APHA e outras entidades, que requerem sistemas com maiores recursos tecnológicos.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O efluente estudado foi coletado numa queijeira do município de Parnamirim-RN, estado do Rio Grande do Norte, proveniente do processo de produção do queijo tipo “coalho”. A coleta foi realizada logo após a etapa de tratamento da coalhada. E o efluente foi acondicionado em caixas isotérmicas, contendo cubos de gelo. Sendo assim, transportado para o laboratório onde se procedeu ao estudo.

Para os ensaios de biodigestão, eram transferidos 330mL do soro homogeneizado para garrafas de polietileno (especialmente preparadas com tampa e mangueira para saída de gases). Utilizaram-se 30 garrafas para acompanhamento em cerca de 45 dias sem periodicidade pré-definida. A mangueira de contra-pressão era submersa em água de recipientes auxiliares (essa medida visava bloquear o contra-fluxo de gases, e com isso garantir o ambiente anaeróbio ao longo do experimento). O Modelo do Módulo Experimental é mostrado na Figura 1. Os

ensaios foram realizados em laboratório com temperatura estabilizada em cerca de 25°C e com ausência de insolação direta.

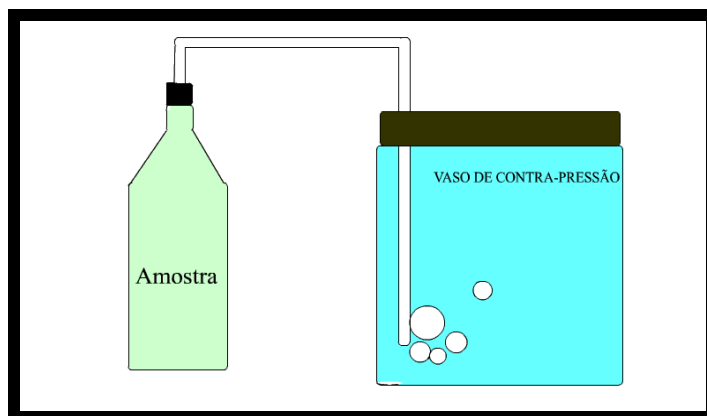


Figura 1: Esquema do Módulo Experimental

As determinações analíticas ao longo dos 45 dias foram:

- Teor de Sólidos Totais: Método Gravimétrico, por secagem a 70°C.
- Teor de Sólidos Voláteis: Método Gravimétrico, por calcinação a 550°C (por diferença de massa).
- Teor de Sólidos Fixos: Método Gravimétrico, por calcinação a 550°C.
- pH: Medidas diretas em Potenciômetro Digital.
- Acidez: Método Volumétrico utilizando solução padrão de NaOH 0,01M e fenolftaleína como indicador (expresso em g ácido láctico/g amostra).
- Turbidez: Medição direta em Turbidímetro (diluição de 5% de amostra em água).
- Aspectos Organolépticos: Avaliação em escala específica para a cor e o odor.

Os dados obtidos foram ajustados a uma cinética de primeira ordem, detalhando o consumo da matéria carbonácea e nitrogenada. A avaliação dos modelos foi realizada pelo coeficiente de correlação da regressão linear efetuada, e pela análise de variância entre os valores preditos pelos modelos e os dados experimentais.

Os ensaios foram realizados em duplicata, visando a constatação da reprodutibilidade dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do acompanhamento dos parâmetros físico-químicos foi possível observar as fases de transições da matéria orgânica consumida pelas bactérias, descritas na literatura, bem como estudar a cinética de biodegradação do soro proveniente da produção de queijos tipo coalho. Faremos, então, uma discussão dos diferentes parâmetros avaliados, correlacionando fatores e estimando funções matemáticas para a simulação desse processo. No entanto, deve-se observar que os dados, aqui apresentados, referem-se a um estudo em batelada e com massa fixa e estagnada de soro, sendo assim, limitada a extrapolação de seus dados para sistemas diferenciados, entretanto, serão propostos modelos para esse scale-up em processos contínuos.

A primeira etapa observada nos ensaios foi a da acidogênese, onde o pH decresceu de forma exponencial, atingindo níveis inferiores a 3,50. O nível de pH de estabilização é desfavorável ao crescimento dos microorganismos, ou melhor, a produção dos ácidos no meio torna-se uma adversidade ao processo, daí a importância de um processo contínuo de neutralização e dispersão desses. Na Figura 2 é mostrado o gráfico com os dados obtidos no acompanhamento do pH, observa-se que a estabilização do pH do meio se deu por volta do 10º dia de experimento.

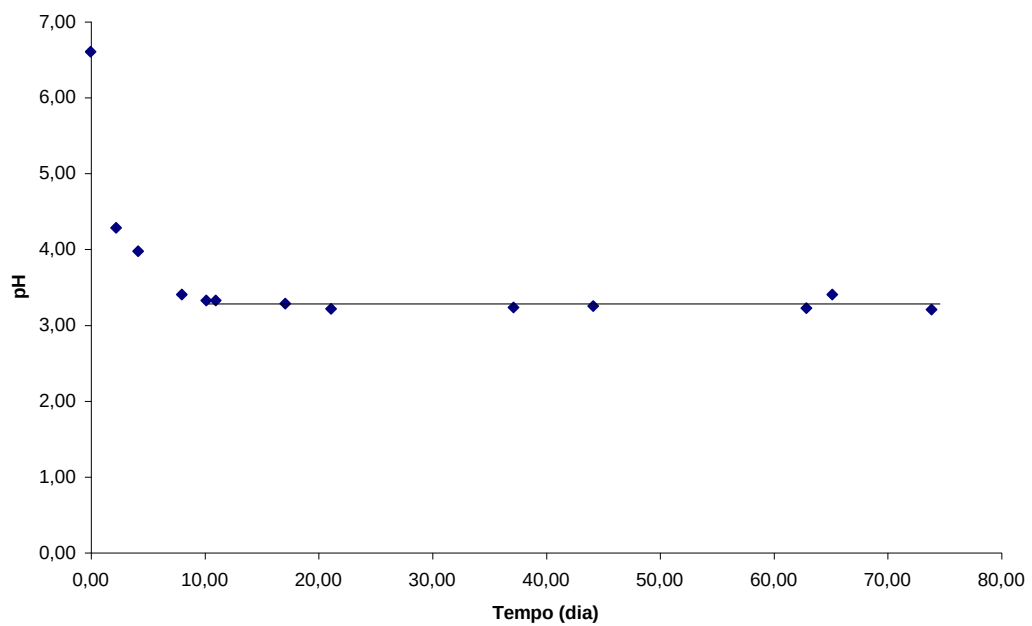


Figura 2: Acompanhamento do pH do meio sob efeito da biodegradação anaeróbica.

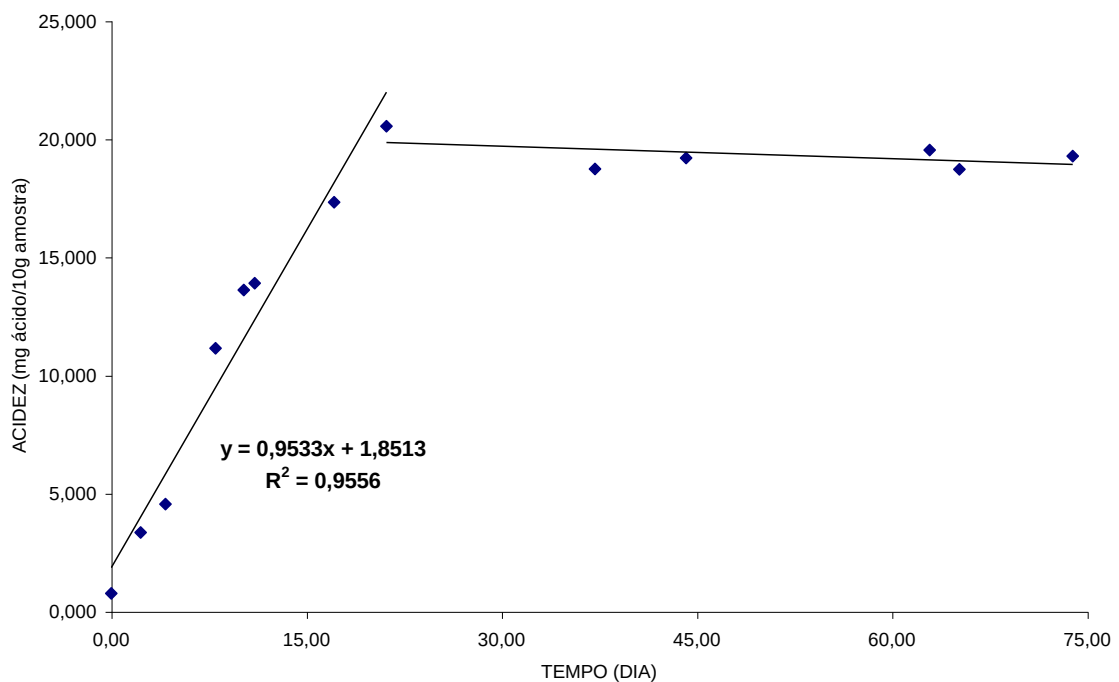


Figura 3: Produção de Ácidos no Meio em Digestão.

No entanto, a produção de ácidos no meio, ou melhor, a degradação de matéria orgânica só teve a estabilidade por volta do 20º dia de experimento. O fato de ocorrer o aumento da acidez, sem que necessariamente o pH tivesse oscilação

pode ser justificada pelas outras reações secundárias envolvidas, que provavelmente consomem os íons H^+ em solução, reconduzindo a um equilíbrio eletrostático refletindo numa estabilidade dos níveis de pH.

Uma avaliação, em paralela, com o consumo da matéria orgânica (mostrado na Figura 4) pode ser feita com os dados de produção de ácidos orgânicos demonstrados na Figura 3, nota-se que a estabilização do nível de acidez é quase que sobreposto pela estabilização da taxa de consumo de matéria orgânica (dSv/dt) confirmando a transformação descrita na literatura, que a primeira fase da biodigestão favorece a formação de ácidos.

Ainda na Figura 3, são observadas as presenças de duas fases de produção de ácidos: (1) a primeira de forma linear, com taxa de crescimento estimada em: 1 mg de ácido lático/10 g de soro por dia; (2) a segunda em regime constante e com taxa nula de produção de ácidos, ou seja, com estabilização entre o consumo de ácidos e a digestão de matéria orgânica.

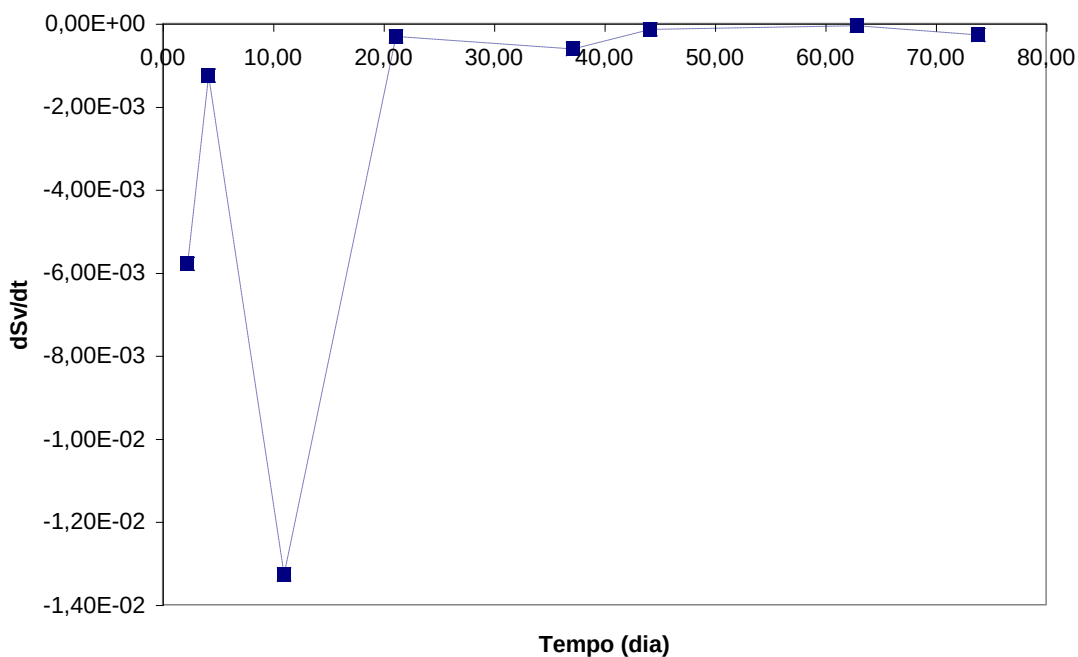


Figura 4: Taxa de Consumo da Matéria Orgânica com o Tempo.

No que diz respeito a variável principal do monitoramento, ou seja, a matéria orgânica, os dados empíricos obtidos são mostrados na Figura 5, onde se observa que o consumo máximo observado no período de estudo foi de 60% da matéria orgânica presente. Os baixos índices são justificados pelo desfavorecimento do meio, com a presença dos ácidos, a razão C/N desfavorável no efluente e por se tratar de um sistema descontínuo, sem refluxo de matéria orgânica e microorganismos resultados.

Na Figura 5 foi, ainda, realizado um ajuste do tipo potência, para obtenção de uma correlação de alto coeficiente de correlação. O ajuste foi satisfatório, com um nível de 91,72%. No entanto, algumas expressões derivadas de conhecimento cinético foram desenvolvidas, em busca de modelos mais eficazes, e com constantes de natureza física conhecida, como é o caso da constante de velocidade específica do consumo de matéria orgânica (k), esse parâmetro pode ser utilizado como base na definição do tempo de detenção hidráulica (TDH) no dimensionamento dos sistemas de tratamento. Os testes efetuados, baseiam-se em um modelo de biodegradação de primeira e outro de segunda ordem, conforme as equações 1 e 2, mostradas a seguir.

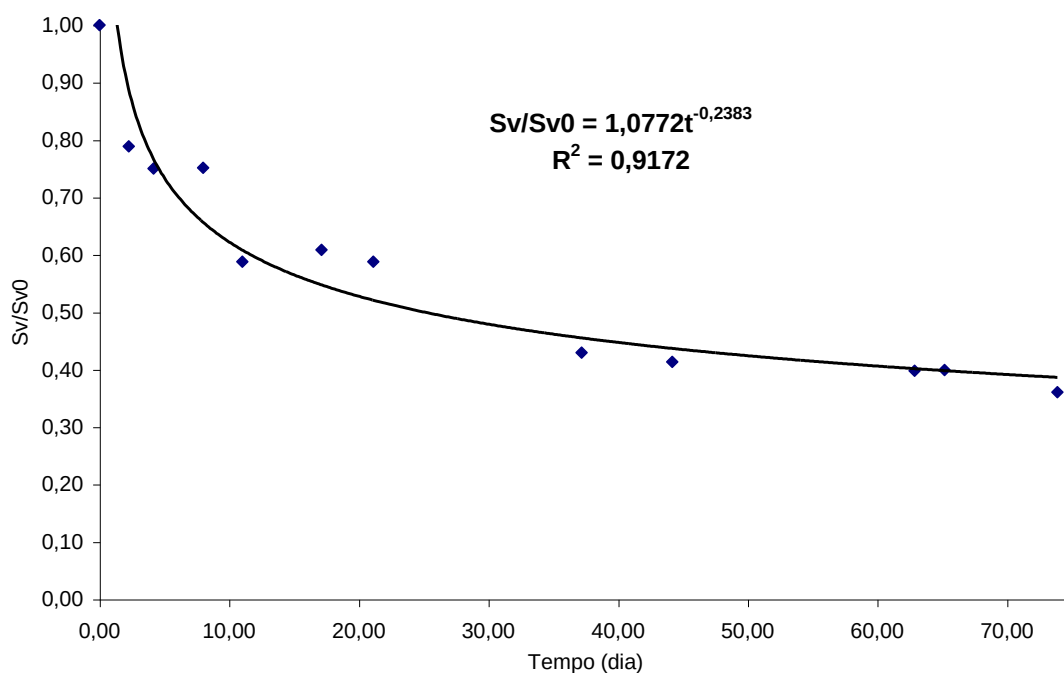


Figura 5: Consumo de Matéria Orgânica no Processo de Biodegradação.

A partir dos resultados obtidos, pôde-se efetuar os testes de regressão para os modelos lineares indicados. Nas Figuras 6 e 7, representa-se o ajuste gráfico dessas funções aos dados experimentais. Observa-se que o melhor coeficiente de correlação foi obtido para uma cinética de segunda ordem. Na Tabela 2 são listados: as equações ajustadas e os seus coeficientes de correlação.

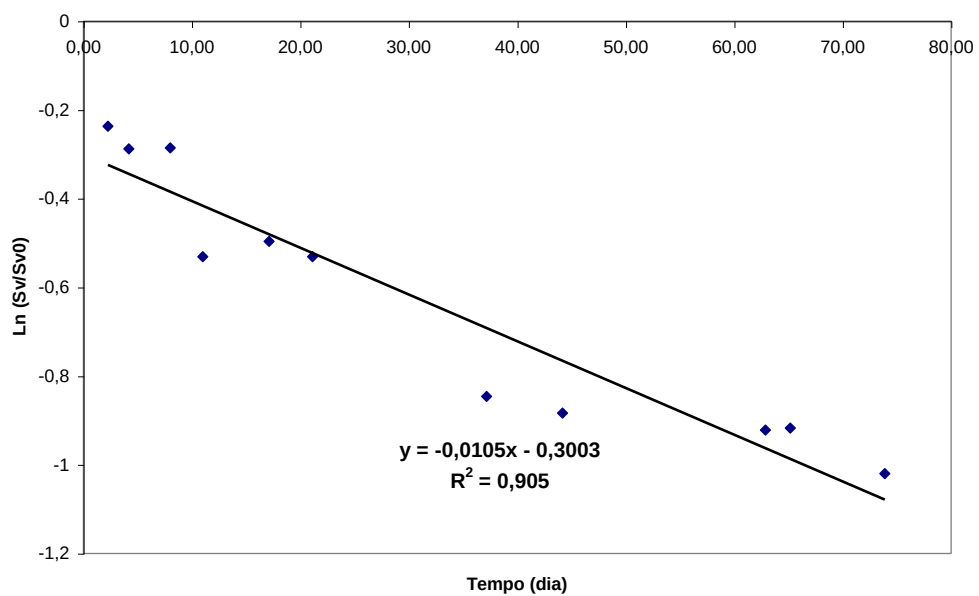


Figura 6: Ajuste Cinético de 1ª Ordem aos Dados Experimentais.

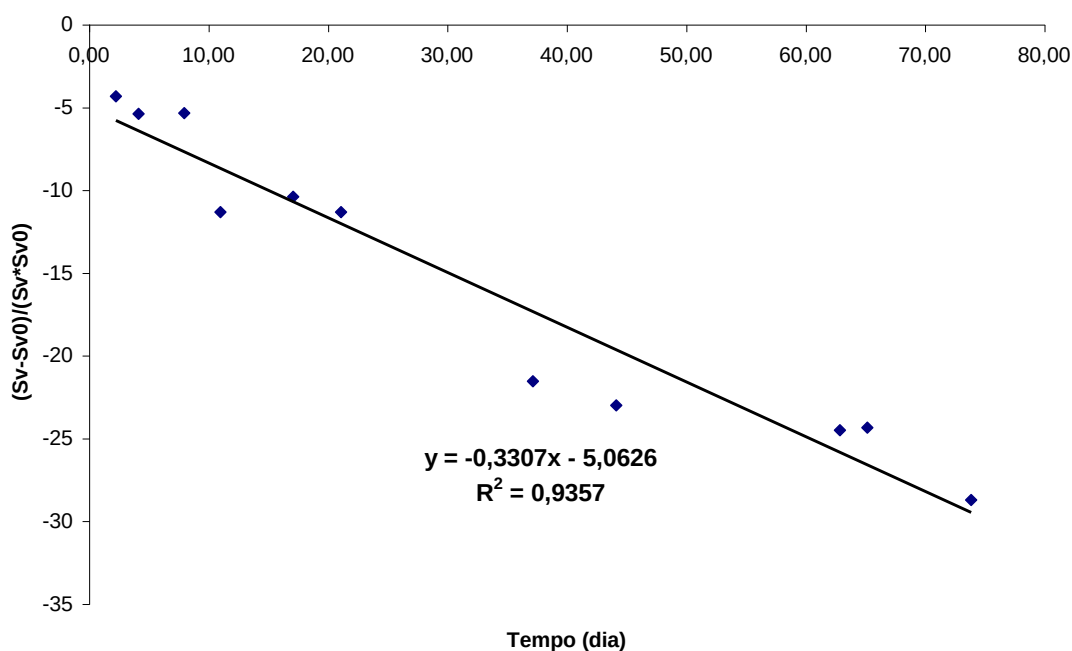


Figura 7: Ajuste Cinético de 2ª Ordem aos Dados Experimentais.

Tabela 1: Coeficientes de Correlação das Equações Ajustadas para a Cinética de Biodegradação da Matéria Orgânica do Soro de Queijo.

Descrição	R^2
Empírico	0,9172
1ª Ordem	0,9050
2ª Ordem	0,9357

As medidas dos coeficientes de correlação são pouco precisas, quando se pretende qualificar um modelo para predição de dados, por isso, desenvolveu-se um teste da análise das variâncias (ANOVA) entre os dados experimentais ajustados e os preditos pelas equações, a fim de definir que modelos apresentam a melhor eficiência na predição dos dados. Os resultados das ANOVA's são mostrados na Tabela 3. Observa-se que o modelo que melhor apresentou índices de predição (F/Ftab) em maior grau, foi o do modelo empírico ajustado a uma equação do tipo potência. Além da ANOVA, pode-se avaliar graficamente os erros relativos inerentes

às equações, que se pode observar na Figura 8 o melhor ajuste de predição para equação empírica.

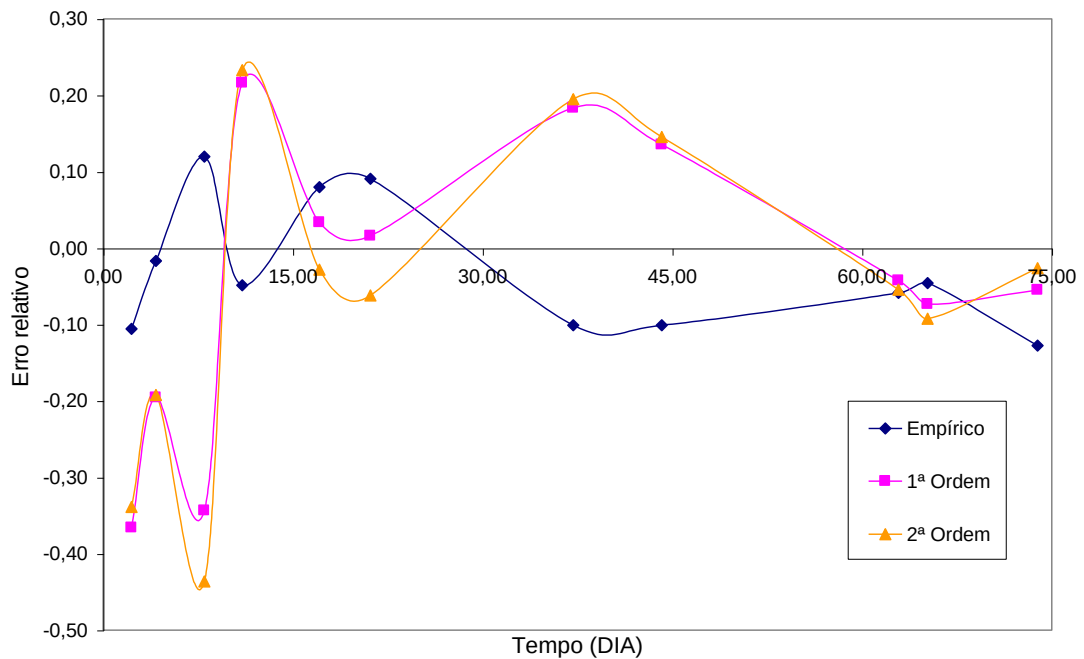


Figura 8: Erros Relativos aos Modelos Ajustados.

Em síntese, observou-se um sinergismo entre as variáveis manipuladas, portanto, propõe-se modelos combinados e mais complexos para predição dos fenômenos físico-químicos e microbiológicos existentes na biodegradação do soro. Esses modelos são representados pelas Figuras 9 a 11.

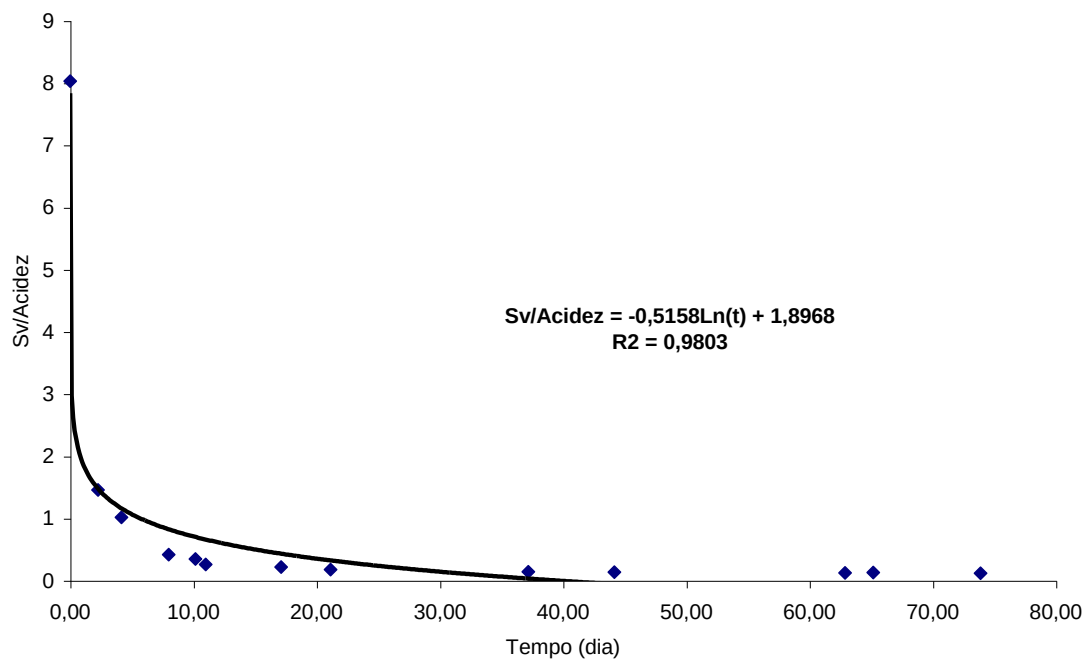


Figura 9: Correlação entre o consumo de Sólidos orgânicos e a produção de ácidos ao longo do tempo.

Observou-se nível de correlação superior a 96% para as correlações das figuras 9 e 11, e inferior a 89% para com o envolvimento unicamente do pH como parâmetro de produção. A predição desses modelos, segundo análise de variância, é significativa, podendo ser um instrumento de correlação e estimativa de parâmetros para esse meio. Observa-se que o aumento do número de parâmetros não tem significância no processo, sendo o parâmetro pH não necessário para a predição dos dados.

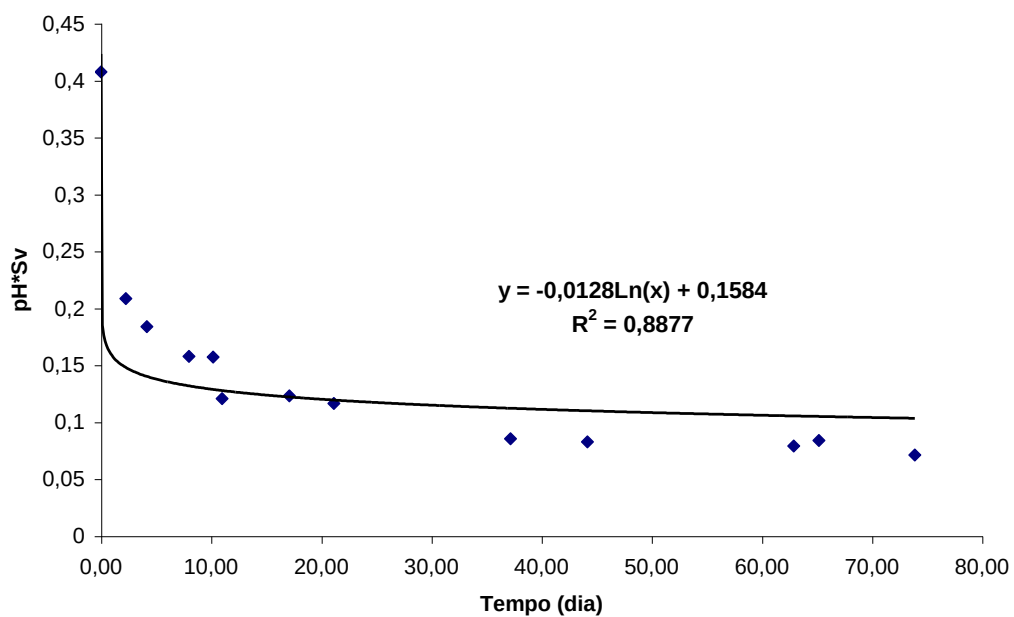


Figura 10: Correlação entre o consumo de sólidos orgânicos e pH do meio ao longo do tempo

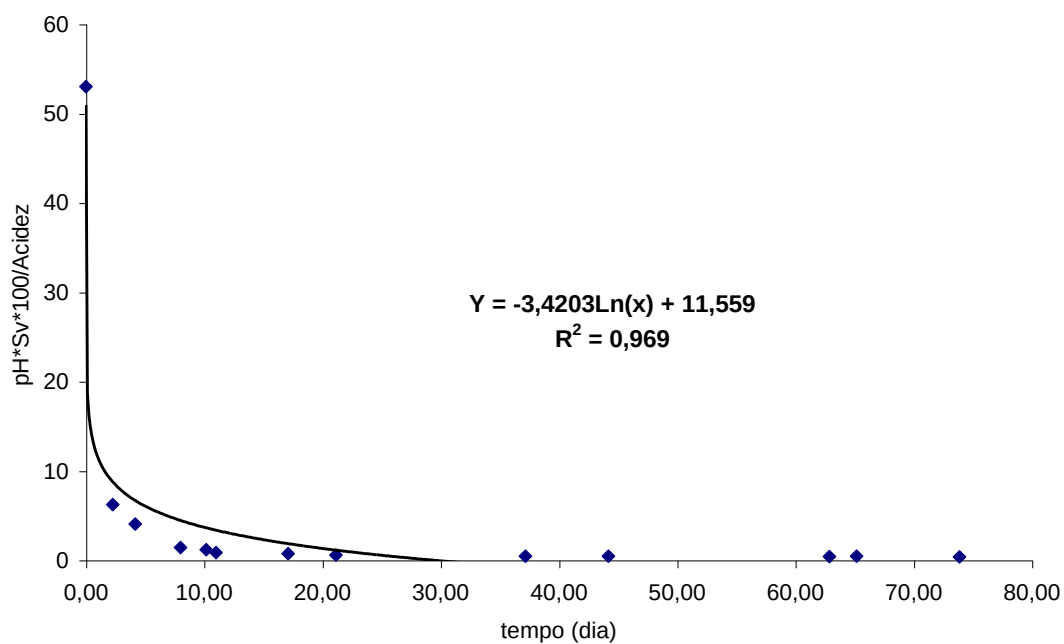


Figura 11: Correlação entre o consumo de Sólidos orgânicos, o pH do meio e a produção de ácidos ao longo do tempo.

O fato do pH não representar um bom parâmetro de predição para o sistema, pode ser justificada por ser uma medida indireta, que contabiliza algumas variantes não inerentes ao processo de biodigestão, tais como: movimentação celular, disputas entre culturas diferenciadas, tipo da fração em consumo (carbonácea ou nitrogenada).

Em termos do conteúdo mineral, como era de se esperar, não houve alterações durante o processo de digestão. Atestando que a mineralização da matéria orgânica se deu na forma de gases, sendo liberada do sistema experimental. Na Figura 12 é feita a representação das concentrações de minerais ao longo do tempo dos ensaios.

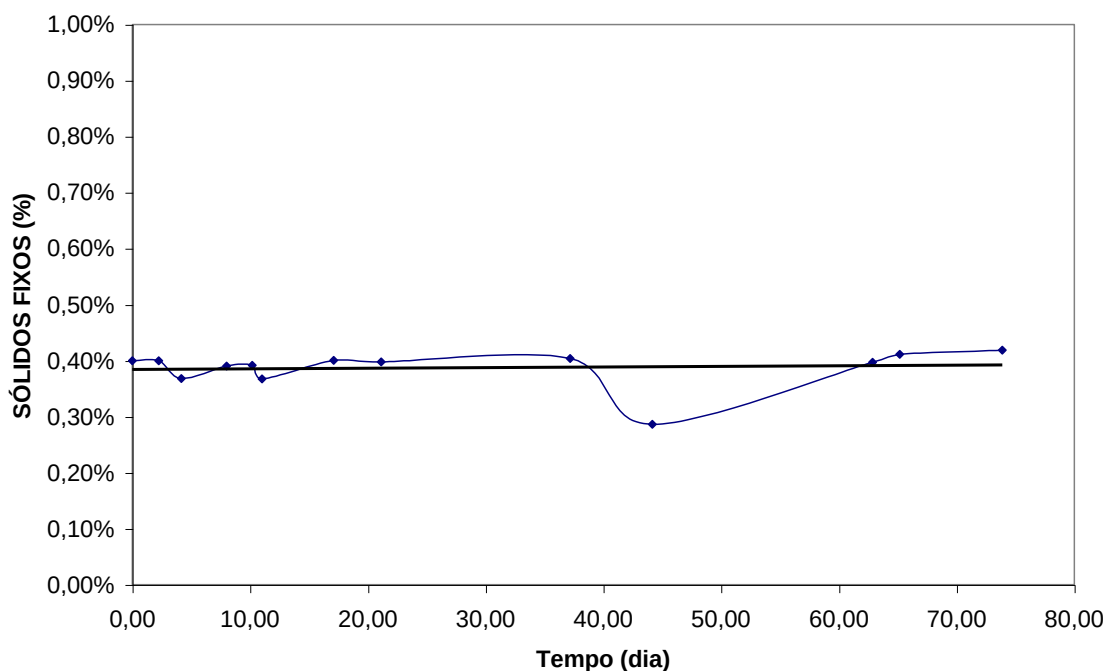


Figura 12 - Representação das concentrações de minerais ao longo do tempo dos ensaios

O emprego dos parâmetros obtidos, nesse trabalho, para que possam ser utilizados em sistemas contínuos devem receber correção por funções específicas, determinadas pela avaliação prévia entre as relações Carbono/Nitrogênio e fatores de conversão envolvidos entre os dois sistemas (não obtidos nesse trabalho). Essa função de correção pode ser obtida pela avaliação em reatores contínuos, com a

determinação do tempo de acionamento do consumo orgânico e a eficiência máxima de digestão.

4. CONCLUSÕES

A metodologia experimental de correlação com os dados experimentais de sólidos voláteis mostrou-se satisfatória, requisitando apenas de comparação com outros métodos analíticos mais avançados para constatação e validação, com maiores níveis de precisão da remoção da matéria orgânica.

O módulo experimental de simulação da digestão anaeróbica mostrou-se condizente com a expectativa, no entanto, se fazem necessários experimentos complementares em fase contínua e sob agitação, para avaliar as equações de scale-up para o sistema estudado.

O soro de queijo mostrou poder ser tratado pelo processo anaeróbio, no entanto, apresentando índices de remoção máximos da ordem de 60% da matéria orgânica, sendo necessários tratamentos prévios ou complementares para sua deposição final em corpos receptores. No entanto, os ensaios foram realizados com o efluente com baixa carga microbiana, sendo a inoculação com efluentes domésticos uma alternativa para o aumento da eficiência e a redução do tempo de degradação.

Constatou-se, pelos baixos níveis de eficiência, a necessidade de estudos com a inoculação de microorganismos para aceleração do processo, tendo como alternativa a inclusão de esgoto doméstico misturado ao soro uma boa perspectiva.

Faz-se necessária a avaliação do processo em regime contínuo a fim de constatar os níveis de remoção.

Estudos com a variação da temperatura e com o monitoramento interno são boas alternativas para incorporação à técnica desenvolvida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFA LAVAL. Manual de Indústrias Lácteas. 2ª ed. Editora Iragra. 1990. Madri – Espanha.

HIRATA, Y.S. Experiências e perspectivas do tratamento anaeróbio no Brasil. In: Taller y Seminario Latinoamericano Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, 3, 1994, Montevideo. Proceedings...Montevideo: Graphis Ltda. Juan C. Gomez, 1994, p.281-291.

LETTINGA, G., VAN VELSEN, A.F.M., HOBMA, S.W. et al. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. Biotechnology and Bioengineering, v.22, p.699-734, 1980.

LIMA, A. M. et al. Estudo comparativo entre as técnicas de determinação de coliformes fecais e escherichia coli em águas naturais e residuárias utilizando os métodos da membrana filtrante e do substrato cromogênico. IN: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa-PB. (Cd-rom).

MARAGNO, A.L.F.C., CAMPOS, J.R. Treatment of wastewater with a low concentration of organics using an anaerobic fluidized bed reactor. Water Science and Technology, Oxford, v.25, n.7, p.179-191, 1992.

PRINCE, A. A. et al. Controle Ambiental em Pequenos e Médios Laticínios de Minas Gerais – Uma Pesquisa Aplicada. In: 20º Congresso da ABES. 1999. Rio de Janeiro – RJ.

SEBRAE. Como Montar uma Queijeira Padrão. SEBRAE. Natal – Brasil. 2002.

SPREER, E. Lactologia Industrial. 6ª. Ed. Editora Acríbia S.A. 1991. Zaragoza – Espanha.

YOUNG, J.C., YANG, B. Design considerations for full-scale anaerobic filters. Fayetteville: University of Arkansas.1988. 27p. (Apostila).