Ciência Rural, Santa Maria 21(1):117-127, 1991.
Aprov. p/ publicação em 26/06/91.

APROVEITAMENTO DO SORO DE QUEIJO PARA PRODUÇÃO DE METANO

CHEESE WHEY AS METHANE SOURCE

Melânia Palermo Manfron* Antonio Joaquim de Oliveira**

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade da produção de metano através da utilização do soro oriundo da fabricação de queijos, bem como avaliar o comportamento de bactérias metanogênicas. Os biodigestores foram alimentados com soro de queijo, sem correção de pH, nas proporções de 1%, 5% e 10% do seu volume nominal e mantidos à 35º C. Foram utilizados cinco tempos de retenção (TR) e quatro sistemas de alimentação para tempos diferentes de adição de substrato. No 1º TR e 2º TR, o soro foi adicionado aos biodigestores em intervalos de 24 horas. No 3º TR a carga foi dividida em três alimentações e adicionada aos biodigestores em intervalos de 8 horas. No 4º TR foram realizadas oito alimentações diárias dos biodigestores, em intervalos constantes de 2 horas. No 5º TR a carga orgânica foi dividida em cinco alimentações diárias, em intervalos de 3 horas e 36 minutos. Os resultados do presente trabalho mostram que as condições de anaerobiose foram afetadas pelos sistemas de alimentação dos biodigestores, mas que é possível tratar os resíduos de indústria de laticínios, como o soro de queijo, por digestão anaeróbica, com produção de biogás. A máxima produção de metano foi obtida com a concentração de 5% para o sistema de três alimentações diárias mas não houve, por outro lado, diferença estatisticamente significativa para os demais tratamentos.

Palavras-chave: biodigestores, digestão anaeróbica, tempo de retenção, produção de metano, soro de queijo.

SUMMARY

The objective was to study the viability of methane production through the utilization of whey from cheese manufacture and, also, to evaluate the behaviour of methanogenic bacteria. Biodigestors were FED with cheese whey (proportions of 1%, 5% and 10% of the nominal volume), and mantained at 35º C. Five retention times and four feeding systems were used for different times of substract addition. In the first and second retention times, biodigestors were FED at intervals of 24 hours. In the third retention time, the load was dividid in three parts and put into biodigestors every eight hours. In the fourth retention time, biodigestors received 8 feed-

* Farmacêutica-Bioquímica, Pós-Graduada em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial-USP. Caixa Postal 9, 13.400 - Piracicaba - SP.
** Professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial-USP, Caixa Postal, 9 - 13.400 - Piracicaba, SP.

ing daily, at regular intervals of 2 hours. For the fifth retention time, the organic load was divided in to five daily feeding that were put into biodigestors at intervals of 3 hours and 36 minutes. Results of this work showed that the anaerobic conditions were affected by the feeding systems of biodigestors, but it was possible to treat the residues from dairy plants, since as cheese whey, by using anaerobic digestion with production of biogas. The maximum methane production was obtained at the 5% concentration and three daily feedings system, althought, there was not a statisticaly significative difference among the feedings systems.

Key Words: biodigestors, anaerobic digestion, retention times, production of methane, cheese whey.

INTRODUÇÃO

As indústrias são as responsáveis pela maioria das substâncias que causam a poluição da água, que se processa num rítmo mais acentuado que a poluição do ar. No caso específico de indústrias de alimentos, tem-se uma fonte de poluição bastante importante, pois são geradas significativas quantidades de resíduos sólidos e líquidos (VAREL et al, 1980 ; MOSEY, 1981; KANTEREWICZ et al, 1985).

A biodigestão anaeróbica é um dos métodos para tratamento de resíduos poluidores, de origem orgânica, produzindo biogás e biofertilizantes, além de produzir um efluente com odor ameno, totalmente inofensivo. Este processo reduz o conteúdo orgânico de resíduos fortemente poluidores, com DQO maior que 100.000mg/1, a um custo menor, alcançando 1/4 do valor correspondente a um sistema aeróbico quando a DQO for de 20.000 mg/ml, chegando a reduzir de 70 a 90% a carga de DBO, e em 60% a DQO do efluente (NOGUEIRA, 1986).

No caso específico do processo de industrialização do queijo, o soro produzido é um subproduto altamente poluidor, devido a sua difícil degradação, principalmente devido à lactose, responsável por 80% desta poluição, contra 20% das demais frações protêicas (FERRAT, 1980). A produção do soro depende basicamente da manufatura e do tipo de queijo produzido que corresponde, aproximadamente, a uma relação de 8:1, isto é, tem-se 8 litros de soro por kg de queijo (BARFORD et al, 1986; ZEIKUS, 1986).

O aproveitamento do soro, oriundo da elaboração de queijos ou caseina não é uma operação de fácil execução, dado ao grande volume de água a ser eliminado. Entretanto, o desenvolvimento de processos práticos e econômicos, que sejam viáveis na transformação deste produto é importante porque, além da produção de energia oferecia uma possibilidade de diminuir os riscos de poluição.

O presente trabalho visa estudar a viabilidade da produção de metano através da utilização do soro oriundo da fabricação de queijo, bem como avaliar o comportamento das bactérias metanogênicas, com a finalidade de obter dados visando a implantação de novos projetos em escala piloto e, posteriormente, em escala industrial.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Materiais

O soro bruto da fabricação de queijo constitui-se no substrato do presente trabalho. O armazenamento desse soro de queijo em laboratório foi realizado em câmara fria, a uma temperatura de 5º C negativos (± 1,0º C).

O inóculo se constitui de uma cultura de bactérias acidogênicas e metanogênicas (flora mista), composta de esterco bovino fermentado, coletado de um biodigestor em funcionamento, permanecendo armazenado em temperatura ambiente até ser separado em porções equivalentes e diluído a aproximadamente 8% de sólidos totais (ST) para alimentação dos biodigestores.

Entretanto, o sistema de digestão anaeróbica utilizado foi composto por tubos de PVC, com espessura da parede de 2,5mm e o diâmetro interno de 140mm e uma capacidade nominal de 2000ml; e frascos de vidro, interligados entre si através de um conduto de látex funcionando, respectivamente, como biodigestor e gasômetro. Na parte superior frontal e na lateral inferior direita, os biodigestores apresentam aberturas, as quais foram mantidas fechadas com tampas de PVC com rosca. Estas aberturas permitem, respectivamente, a retirada de amostras para análises e introdução de substrato para alimentação. O gasômetro foi confeccionado com frascos de vidro de cor âmbar e com capacidade nominal de 1500ml, cujo volume foi preenchido com solução salina acidulada (solução Na_2SO_4 e H_2SO_4, 5% (STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WAST WATER, 1976).

O frasco foi fechado com uma rolha de borracha, atravessada por dois tubos de vidro conectados a condutos de látex, com a finalidade de conduzir o gás até o gasômetro e deslocar a solução para o exterior, respectivamente, à medida que ocorresse produção de gás. A solução salina acidulada deslocada foi coletada em frascos Erlenmayer, com capacidade de 2000ml (MANFRON, 1989).

Neste trabalho foram utilizadas conjuntamente, seis unidades denominadas biodigestores, com o sistema de alimentação diária semicontínuo.

A coleta de gás para análise foi realizada no tubo de látex, individualmente, em cada um dos sistemas operacionais, com o auxílio de uma seringa, através de um tubo com septo de silicone (tubos **new** vácuo), enquanto que, a solução salina acidulada em frasco Erlenmayer foi quantificada com o auxílio de uma proveta graduada.

2. Métodos

Os biodigestores, com um volume de inóculo igual a 1600ml, foram mantidos em banho maria à 35º C (± 0,5º C), cuja alimentação diária apresentou uma carga orgânica média de 5,4g DQO/dia. Após cada alimentação, o material em digestão dentro de cada biodigestor foi agitado, manualmente, para que houvesse uma homogeneização do material.

A alimentação dos biodigestores foram realizadas em três concentrações diferentes, correspondentes a 1%, 5% e 10% do volume total de inóculo adicionado, com intervalos de tempo regulares para os diversos tratamentos. Para a concentração de 1% foi realizada uma única alimentação diária, às 8 horas, correspondente a 16ml. Na concentração de 5% foram ministradas alíquotas de substrato uma única vez durante o dia, às 8 horas; alíquotas parceladas em três vezes, às 8, 16 e 24 horas a cada dia e, portanto, intervalos de tempo constantes e ainda alíquotas parceladas de duas em duas horas, perfazendo um total de oito alimentações diárias, das 10 às 24 horas. Para a concentração de 10% as alíquotas de substrato foram parceladas em cinco vezes, a intervalos regulares de 3h36min, iniciando-se diariamente às 9h36min e terminando às 24 horas.

As unidades digestoras foram alimentadas, inicialmente, com pequenas alíquotas proporcionais a 1% do seu volume total, cuja carga orgânica foi correspondente a 1,3g DQO/dia, em relação à carga média prevista. Entretanto, para a concentração de 5%, a carga orgânica total foi de 5,4g DQO/dia e para a concentração de 10% a carga orgânica total foi de 10,3g DQO/dia.

As leituras de pH do substrato e efluente foram realizadas diariamente para as três concentrações estudadas (1%, 5% e 10%), coletando-se uma amostra de cada biodigestor. Para esse controle foi utilizado o medidor de pH modelo DMPH-2/Digimed calibrado com solução tampão 7,0 e 4,0. Para tanto, leituras de amostras do efluente foram

realizadas três vêzes ao dia.

Nos biodigestores foi determinada a eficiência do tratamento anaeróbico em relação à remoção do material orgânico no efluente, pela análise de DQO, acompanhada da medição do volume de biogás produzido. A composição do biogás em teores de metano (CH_4), $N_2 + O_2$ e gás carbônico (CO_2) também foi determinada para as três concentrações e sistemas diários de alimentação.

A geração de biogás e a quantificação do teor de metano nos mesmos foram monitoradas diariamente por via volumétrica. A composição dos gases também foi monitorada diariamente com o auxílio de um cromatógrafo em fase gasosa com coluna N PORAPAK, onde se obteve a separação em $O_2 + N_2$, CO_2 e CH_4, para os diferentes tratamentos.

A determinação da DQO do efluente foi realizada segundo o STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER (1976), o qual permite calcular a DQO do efluente centrifugado para 20ml de amostra a partir da seguinte fórmula:

$$\frac{(a - b)\ c \times 8000}{\text{ml da amostra}} = \text{mg/l de DQO onde,}$$

a = ml de sulfato ferroso amoniacal gastos com o branco.

b = ml de sulfato ferroso amoniacal gastos com a amostra.

c = normalidade da solução de sulfato ferroso amoniacal = $Fe\ (NH_4)_2(SO_4)_2$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as observações de pH realizadas durante a fase experimental verifica-se que, à medida que o pH diminui nos tratamentos estudados, houve uma menor atividade microbiana causada pelo acúmulo de ácidos do meio sem, entretanto, atingir o nível de paralização. Este fato já era esperado pois, segundo BARKER (1956), uma diminuição do pH pode resultar em uma elevação na concentração de ácidos graxos voláteis e, portanto, na inibição da metanogênese.

Verifica-se, no entanto, que a oscilação do pH durante o período experimental foi menor para o 1º TR e para o 3º TR em relação aos demais, oscilando entre 7,0 e 7,4 para o 1º TR e entre 6,8 e 7,4 para o 3º TR, valores estes bem próximos às faixas ideais de 6,8 a 7,2 (McCARTY & McKYNNEY, 1961) e acima do pH crítico de 6,8 (SOUZA, 1982). Isso se deve aos sistemas de alimentação, pois aqueles que mais foram manuseados apresentaram maiores variações de pH, como é o caso do 4º TR e 5º TR. No caso do 2º TR a maior variação de pH está relacionada com a dose de substrato, pois elevadas doses aplicadas de uma única vez ao meio dificultam a recuperação das bactérias metanogênicas.

Na Tabela 1 verifica-se que, para todos os tratamentos houve uma tendência de aumentar o teor de metano produzido a medida que aumentou o volume de biogás. Entretanto, este aumento não foi proporcional, possivelmente devido à oscilação do pH, que influi diretamente na atividade das bactérias metanogênicas. Neste caso, ocorre uma maior produção de CO_2 e de $N_2 + O_2$ (ver Tabelas 2 e 3), em detrimento da produção de metano (ver Tabela 4). Qualquer técnica que seja eficiente no controle do pH fatalmente afetará positivamente no aumento do teor de metano no biogás, como é o caso do uso de bicarbonato de sódio. Contudo, nestes casos sempre se deve ressaltar o custo de tais técnicas e, antes de usá-las em escala industrial analisar a sua viabilidade em termos de retorno financeiro.

O tratamento mais eficiente na produção de metano foi o 3º TR devido, seguramente, ao sistema de alimentação. O tratamento menos eficiente foi o 4º TR, possivelmente por ser o tratamento em

que o contato do material digerido com o ar foi bem maior do que nos demais.

Na Tabela 4 verifica-se que os teores percentuais de metano no biogás varia, em média, entre 15,4% e 38,1%, embora picos de concentração de metano nos gases acima de 40,0% tenham ocorrido nos diversos tratamentos. Segundo CHANDLER et al (1980) e CRAVEIRO (1982) estes resultados são esperados em experimentos que contenham menores teores de materiais facilmente biodegradáveis (carboidratos, lipídeos e proteínas).

Na Tabela 5 encontram-se os valores em grama e percentuais de remoção de DQO obtidos na digestão anaeróbica do soro do queijo. A variação bastante alta nos resultados obtidos e a discordância em relação a outros autores é de se esperar, devido à grande variabilidade existente nas características dos resíduos industriais. Contudo, verifica-se que os valores percentuais do 2º TR e 4º TR em geral também foram satisfatórios. Em termos percentuais de remoção de DQO, o 1º TR e o 5º TR foram bastante semelhantes, ficando como o pior tratamento o 5º TR, com um percentual global médio de 39,7%. Verifica-se, entretanto, que os tratamentos, de forma geral, responderam satisfatoriamente, devido ao fato de se tentar reproduzir, em laboratório, uma condição real encontrada na prática. Com isto evitar-se-ia técnicas que inviabilizassem o uso de biodigestores pelas industrias de laticínios, pela elevação dos custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARFORD, J.P., CAIL, R.G., CALLENDER, I.J. et al. Anaerobic digestion of high-strenght cheese whey utilizing semicontinous digesters and chemical floculant addition. **Biotecnology and Bioengineering**, New Yori, v. 28, n. 3, p. 1601-1607, 1986.
2. BARKER, H.A. Biological formation of methane. **Industrial and Engineering Chemistry**, Washington, v. 48, n. 9, p. 1438-1442, 1956.
3. CHANDLER, J.A., JEWELL, W.J., GOSSET, J.M. et al. Predictiny methane fermentation biodegradability. **Biotecnology and Bioengineering.** New York, v. 10, p. 93-107, 1980.
4. CRAVEIRO, A.M. **Influência da proporção de lixo e lodo de esgoto no processo de digestão anaeróbica desses resíduos.** São Paulo, 1982. 136 p. Tese (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1982.
5. FERRAT, A. Como valorizar o subproduto das fábricas de queijo, o "Lacto-Soro". **Boletim do Leite** , Rio de Janeiro, v. 618, n.2 , p. 32-38, 1980.
6. KANTEREWICZ, R.J. de, CHIRIFE, J. , LAGARDE, E.A. de. Preservation of concentrated cheese whey by combined factors. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n.2, p. 1629-1632, 1985.
7. McCARTY, P.L., McMKINNEY, R.E. Volatile acid toxicity in anaerobic digestion. **This Journal**, Washington, v. 33, n. 3, p. 223-232, 1961.
8. MANFRON, M.P. **Aproveitamento do soro de queijo para produção de metano.** Piracicaba, 1989. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimento) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", 1989.

9. MOSEY, F.E. Anaerobic biological treatment of food industry wastewater. **Water Pollution Control**, Kent, p. 273-291, 1981.
10. NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão e a alternativa energética.** São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.
11. SOUZA, M.E. **Fatores que influenciam a digestão anaeróbica.** São Paulo: CETESB, 1982. 30 p. (Mimeografado).
12. VAREL, V.H., HASHIMOTO, A.G., CHEN, Y.R. Effect of temperature and retention time on methane production from Beef Cattle waste. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 2, n. 40, p. 217-222, 1980.
13. ZEIKUS, J.G. Microbial ecophysiology of whey biomethanation: Intermediary metabolism of Lactose degradation in continous culture. **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 51, n. 1, p. 180-187, 1986.

Tabela 1. Volume em litros da solução salina acidulada (Na_2SO_4, 25% e H_2SO_4, 5%) coletados diariamente, para os diversos tempos de retenção (TR) e concentrações (1%, 5% e 10%).

Concentração	TR	Dias	Biodigestor 1		Biodigestor 2		Biodigestor 3		Biodigestor 4		Biodigestor 5		Biodigestor 6	
			l	%	l	%	l	%	l	%	l	%	l	%
1%	-	1º	0,55	22,92	0,65	25,00	0,40	15,15	0,47	19,10	0,13	4,09	0,56	19,18
		2º	0,47	19,58	0,47	18,08	0,32	12,12	0,68	27,64	0,97	30,50	0,60	20,55
		3º	0,58	24,17	0,47	18,08	0,54	20,45	0,46	18,70	0,67	21,07	0,44	15,07
		4º	0,37	15,42	0,45	17,31	0,90	34,09	0,56	22,76	0,80	25,16	0,73	25,00
		5º	0,43	17,92	0,56	21,54	0,48	18,18	0,29	11,79	0,61	19,18	0,59	20,20
-	1ºTR	Total	2,40	-	2,60	-	2,64	-	2,46	-	3,18	-	2,92	-
5%	-	9º	1,20	26,03	1,20	20,65	1,13	17,94	1,06	19,63	0,48	16,55	1,32	17,91
		10º	1,24	26,90	1,45	24,96	1,68	26,67	0,59	10,92	0,34	11,72	1,82	24,69
		11º	0,51	11,06	1,38	23,75	1,56	24,76	1,63	30,18	0,83	28,62	1,93	26,19
		12º	0,74	16,05	0,62	10,67	0,70	11,11	1,04	19,26	0,58	20,00	0,83	11,26
		13º	0,92	19,96	1,16	19,96	1,23	19,52	1,08	20,00	0,67	23,10	1,47	19,94
-	2ºTR	Total	4,61	-	5,81	-	6,30	-	5,40	-	2,90	-	7,37	-
5%	-	16º	2,77	17,77	2,88	20,81	2,99	17,08	3,02	17,60	2,58	16,38	2,79	16,47
		17º	3,52	22,58	3,46	25,00	3,96	22,63	3,91	22,78	3,39	21,52	3,90	23,02
		18º	3,76	24,12	2,69	19,44	3,86	22,06	3,59	20,92	3,32	21,08	3,54	20,90
		19º	3,32	21,30	2,50	18,06	3,51	20,06	3,46	20,16	3,38	21,46	3,40	20,07
		20º	2,22	14,24	2,31	16,69	3,18	18,17	3,18	18,53	3,08	19,56	3,31	19,54
-	3ºTR	Total	15,59	-	13,84	-	17,50	-	17,16	-	15,75	-	16,94	-
5%	-	23º	2,96	15,08	0,97	18,37	1,64	12,47	2,44	14,88	2,12	15,61	1,16	20,82
		24º	3,31	18,86	1,24	23,48	2,42	18,40	3,03	18,48	2,70	19,88	0,97	17,41
		25º	3,70	18,85	0,80	15,15	2,64	20,08	3,05	18,60	2,56	18,85	1,24	22,26
		26º	4,87	24,81	1,14	21,59	3,46	26,31	4,23	25,79	3,40	25,04	0,93	16,70
		27º	4,79	24,40	1,13	21,40	2,99	22,74	3,65	22,26	2,80	20,62	1,27	22,80
-	4ºTR	Total	19,63	-	5,28	-	13,15	-	16,40	-	13,58	-	5,57	-
10%	-	31º	2,20	17,99	1,76	20,32	3,79	22,53	3,90	22,57	3,88	22,13	3,00	36,06
		32º	1,08	8,83	1,86	21,71	3,23	19,20	3,23	18,69	3,46	19,74	3,00	36,06
		33º	3,20	26,16	1,76	20,32	3,32	19,74	3,26	18,86	3,48	19,85	0,40	4,81
		34º	2,07	16,92	1,86	21,48	3,46	20,57	3,59	20,78	3,54	20,19	1,50	18,03
		35º	3,68	30,09	1,40	16,17	3,02	17,95	3,30	19,10	3,17	18,08	0,42	5,05
-	5ºTR	Total	12,23	-	8,66	-	16,82	-	17,28	-	17,53	-	8,32	-

Tabela 2. Volume em litros de gás carbônico (CO_2) contido nas amostras coletadas diariamente nos biodigestores, para os diversos tempos de retenção (TR) e concentrações (1%, 5% e 10%).

Concentração	TR	Dias	Biodigestor 1		Biodigestor 2		Biodigestor 3		Biodigestor 4		Biodigestor 5		Biodigestor 6	
			l	%	l	%	l	%	l	%	l	%	l	%
1%	-	1º	0,11	20,8	0,12	18,7	0,06	14,0	0,06	14,0	0,00	0,9	0,04	7,2
		2º	0,05	8,3	0,12	24,2	0,08	24,0	0,15	20,8	0,19	18,6	0,17	27,6
		3º	0,13	22,0	0,08	16,7	0,12	21,9	0,09	19,2	0,18	26,2	0,11	24,9
		4º	0,10	26,4	0,15	32,0	0,37	31,4	0,15	26,7	0,22	27,3	0,28	29,5
		5º	0,13	31,0	0,17	30,4	0,15	30,0	0,08	26,0	0,09	19,3	0,14	27,3
-	1ºTR	Total	0,52	-	0,64	-	0,78	-	0,53	-	0,68	-	0,74	-
5%	-	9º	0,45	37,6	0,41	34,0	0,37	32,6	0,37	34,2	0,20	42,8	0,43	31,8
		10º	0,51	40,5	0,61	41,9	0,69	40,7	0,25	42,0	0,11	32,8	0,66	34,9
		11º	0,21	42,5	0,58	42,1	0,63	40,5	0,69	42,1	0,30	35,6	0,51	50,2
		12º	0,32	43,0	0,28	45,6	0,30	43,1	0,43	41,1	0,22	37,3	0,43	41,1
		13º	0,33	35,3	0,47	41,0	0,48	39,2	0,43	40,1	0,25	37,1	0,64	43,4
-	2ºTR	Total	1,82	-	2,35	-	2,47	-	2,17	-	1,08	-	2,67	-
5%	-	16º	0,00	0,0	0,85	29,5	0,92	30,7	1,06	35,1	0,68	26,1	0,84	30,1
		17º	1,29	36,4	1,15	33,0	1,57	39,6	1,47	37,7	1,20	35,6	1,41	36,0
		18º	1,22	32,6	0,85	31,7	1,32	34,2	1,39	38,7	1,07	32,4	1,38	39,2
		19º	1,01	30,4	1,08	43,3	1,15	32,7	1,31	37,9	0,63	18,6	1,19	34,8
		20º	0,69	11,0	0,67	29,0	1,28	40,3	1,33	41,7	0,86	28,0	0,00	0,0
-	3ºTR	Total	4,21	-	4,60	-	6,24	-	6,56	-	4,44	-	4,82	-
5%	-	23º	1,05	35,3	0,44	45,4	0,25	15,1	0,04	1,8	0,71	33,4	0,43	37,3
		24º	1,03	31,1	0,44	35,6	0,74	30,6	0,94	30,9	0,78	28,7	0,32	32,9
		25º	1,26	34,1	0,37	45,9	0,79	30,0	0,54	17,9	0,87	33,8	0,45	36,2
		26º	1,65	33,8	0,56	48,6	1,24	36,0	1,52	36,0	1,25	36,9	0,35	37,2
		27º	1,72	35,9	0,61	53,8	1,15	38,4	1,40	38,4	1,01	36,2	0,46	36,4
-	4ºTR	Total	6,71	-	2,42	-	4,17	-	4,44	-	4,62	-	2,01	-
10%	-	31º	0,66	30,0	0,77	43,8	1,46	38,3	1,51	38,5	1,31	33,7	0,91	30,5
		32º	0,21	19,1	0,74	39,3	1,27	39,3	1,33	41,2	1,08	31,4	0,83	27,5
		33º	1,08	33,9	0,69	39,5	1,16	34,0	1,21	37,0	1,06	30,5	0,15	35,4
		34º	0,77	37,1	0,98	52,6	1,40	40,6	1,34	37,3	1,39	39,1	0,43	19,0
		35º	1,43	38,7	0,58	41,1	1,12	37,0	1,17	35,3	1,22	38,4	0,16	38,8
-	5ºTR	Total	4,15	-	3,76	-	6,41	-	6,56	-	6,06	-	2,48	-

Tabela 3. Volume em litros de nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2) contidos nas amostras coletadas diariamente nos biodigestores, para os diversos tempos de retenção (TR) e concentrações (1%, 5% e 10%).

Concentração	TR	Dias	Biodigestor 1		Biodigestor 2		Biodigestor 3		Biodigestor 4		Biodigestor 5		Biodigestor 6	
			l	%	l	%	l	%	l	%	l	%	l	%
1%	-	1º	0,26	47,1	0,30	45,8	0,27	67,3	0,32	67,3	0,13	99,1	0,47	84,3
		2º	0,38	82,1	0,18	38,9	0,12	37,4	0,31	46,1	0,52	54,0	0,17	29,1
		3º	0,27	46,4	0,29	62,4	0,28	51,1	0,25	55,0	0,24	35,8	0,19	43,7
		4º	0,14	37,3	0,12	27,6	0,25	27,8	0,20	35,8	0,26	32,4	0,22	30,6
		5º	0,12	26,8	0,16	28,7	0,15	31,3	0,11	37,7	0,30	50,1	0,21	35,8
-	1ºTR	Total	1,17	-	1,05	-	1,07	-	1,19	-	1,45	-	1,26	-
5%	-	9º	0,35	28,9	0,33	27,5	0,31	27,7	0,27	25,8	0,14	28,9	0,40	30,3
		10º	0,42	34,1	0,36	24,6	0,42	25,1	0,14	24,2	0,14	40,5	0,47	25,9
		11º	0,14	26,9	0,36	26,1	0,38	24,5	0,45	27,6	0,21	25,6	0,66	34,1
		12º	0,20	27,2	0,19	30,8	0,23	32,9	0,34	32,5	0,20	35,2	0,27	32,1
		13º	0,30	33,1	0,32	27,2	0,34	27,6	0,30	27,5	0,22	32,6	0,45	30,6
-	2ºTR	Total	1,41	-	1,56	-	1,68	-	1,50	-	0,91	-	2,25	-
5%	-	16º	2,77	100,0	0,61	21,3	0,90	30,2	0,92	30,6	0,70	27,3	0,62	22,2
		17º	1,19	33,9	1,20	34,8	0,99	25,1	1,06	27,0	0,85	25,0	1,10	28,3
		18º	1,40	37,2	0,92	34,2	1,56	40,3	1,12	31,3	1,07	35,2	0,98	27,7
		19º	0,91	27,3	0,74	29,8	0,96	27,4	0,72	20,9	1,73	51,1	0,70	20,7
		20º	0,84	37,7	0,80	34,7	0,77	24,2	0,82	25,9	1,16	37,7	3,31	100,0
-	3ºTR	Total	7,11	-	4,27	-	5,18	-	4,64	-	5,51	-	6,71	-
5%	-	23º	0,91	30,8	0,36	37,2	1,17	71,5	2,40	98,2	0,60	28,4	0,33	28,2
		24º	1,25	37,8	0,52	41,8	1,00	41,2	1,15	38,1	0,99	36,7	0,36	36,8
		25º	1,21	32,7	0,31	38,7	1,12	42,4	1,43	46,8	0,82	32,1	0,38	30,6
		26º	1,59	32,6	0,46	40,4	0,96	27,7	1,10	26,0	1,07	31,4	0,26	27,8
		27º	1,42	29,6	0,40	35,5	0,88	29,3	0,90	24,6	0,89	31,8	0,39	30,5
-	4ºTR	Total	6,38	-	2,05	-	5,13	-	6,98	-	4,37	-	1,72	-
10%	-	31º	0,71	32,1	0,63	35,7	1,14	30,2	1,40	36,0	1,38	35,7	1,28	42,5
		32º	0,46	32,9	0,56	29,6	0,96	29,6	1,38	42,8	1,24	35,7	1,31	43,8
		33º	0,72	22,5	0,80	45,3	1,09	32,8	1,18	36,2	1,50	43,1	0,12	31,1
		34º	0,64	31,0	0,60	32,2	0,98	26,3	1,04	29,0	1,00	28,3	0,79	52,5
		35º	1,00	27,2	0,52	37,2	0,95	31,4	1,36	41,2	1,03	32,5	0,16	37,3
-	5ºTR	Total	3,53	-	3,11	-	5,12	-	6,36	-	6,15	-	3,66	-

Tabela 4. Volume em litros de metano (CH_4) contido nas amostras coletadas diariamente nos biodigestores para os diversos tempos de retenção (TR) e concentrações (1%, 5% e 10%).

Concentração	TR	Dias	Biodigestor 1		Biodigestor 2		Biodigestor 3		Biodigestor 4		Biodigestor 5		Biodigestor 6	
			l	%	l	%	l	%	l	%	l	%	l	%
1%	-	1º	0,18	32,1	0,23	35,5	0,07	18,7	0,09	18,7	0,00	0,00	0,05	8,5
		2º	0,04	9,6	0,17	36,9	0,12	38,5	0,22	33,1	0,26	27,4	0,26	43,4
		3º	0,18	31,6	0,10	20,8	0,14	17,0	0,12	25,8	0,25	38,0	0,14	31,5
		4º	0,13	36,2	0,18	40,4	0,28	31,4	0,21	37,5	0,32	40,3	0,23	31,0
		5º	0,18	42,2	0,23	40,9	0,18	38,7	0,10	36,3	0,22	36,6	0,24	40,6
-	1ºTR Total		0,71	-	0,91	-	0,79	-	0,74	-	1,05	-	0,92	-
5%	-	9º	0,40	33,5	0,46	38,5	0,45	39,7	0,42	40,0	0,14	28,3	0,49	36,9
		10º	0,31	25,4	0,48	33,5	0,57	34,2	0,20	33,8	0,09	26,7	0,69	37,9
		11º	0,16	30,6	0,44	31,8	0,55	35,0	0,49	30,3	0,32	38,8	0,76	39,3
		12º	0,22	29,8	0,15	23,6	0,17	23,9	0,27	25,7	0,16	27,5	0,13	15,6
		13º	0,29	31,6	0,37	31,8	0,41	33,2	0,35	32,3	0,20	30,3	0,38	26,0
-	2ºTR Total		1,38	-	1,90	-	2,15	-	1,73	-	0,91	-	2,45	-
5%	-	16º	0,00	0,0	1,42	49,3	1,17	39,1	1,04	34,3	1,20	46,6	1,33	47,7
		17º	1,04	29,6	1,11	32,2	1,40	35,3	1,38	35,3	1,34	39,4	1,39	35,7
		18º	1,14	30,2	0,92	34,1	0,98	25,5	1,08	30,0	1,18	35,4	1,18	33,2
		19º	1,40	42,3	0,68	27,0	1,40	39,9	1,43	41,3	1,02	30,3	1,51	44,5
		20º	0,69	31,3	0,84	36,3	1,13	35,5	1,03	32,4	1,06	34,3	0,00	0,0
-	3ºTR Total		4,27	-	4,97	-	6,08	-	5,96	-	5,80	-	5,41	-
5%	-	23º	1,00	33,9	0,17	17,4	0,22	13,4	0,00	0,0	0,81	38,2	0,40	34,4
		24º	1,03	31,0	0,26	22,6	0,68	28,2	0,94	31,0	0,93	34,6	0,29	30,2
		25º	1,23	33,2	0,12	15,4	0,73	27,6	1,08	35,3	0,87	34,1	0,41	33,2
		26º	1,63	33,5	0,12	11,0	1,26	36,3	1,61	38,0	1,08	31,7	0,32	35,0
		27º	1,65	34,4	0,12	10,7	0,96	32,3	1,35	37,0	0,90	32,0	0,42	33,1
-	4º TR Total		6,54	-	0,81	-	3,85	-	4,98	-	4,59	-	1,84	-
10%		31º	0,83	37,9	0,36	20,5	1,19	31,5	0,99	25,5	1,19	30,6	0,81	27,0
		32º	0,41	38,0	0,58	31,1	1,00	31,1	0,52	16,0	1,14	32,9	0,86	28,7
		33º	1,40	43,6	0,27	15,2	1,07	32,2	0,87	26,8	0,92	26,4	0,13	35,5
		34º	0,66	31,9	0,28	15,2	1,08	31,1	1,21	33,7	1,15	32,6	0,28	18,8
		35º	1,25	34,1	0,30	21,7	0,95	31,6	0,77	23,4	0,92	29,1	0,10	23,9
-	5ºTR Total		4,55	-	1,79	-	5,29	-	4,36	-	5,32	-	2,18	-

Tabela 5. Remoção de DQO obtida na digestão anaeróbica do soro de queijo utilizando diferentes cargas orgânicas diárias nos biodigestores, em escala laboratorial.

Concentração	TR	Dias	Biodigestor 1		Biodigestor 2		Biodigestor 3		Biodigestor 4		Biodigestor 5		Biodigestor 6	
			g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
		1º	0,7	53,8	0,4	30,8	0,7	53,8	0,6	46,2	0,8	61,5	0,6	46,2
		2º	0,6	46,2	0,8	61,5	0,7	53,8	0,6	46,2	0,6	46,2	0,5	38,5
1%	-	3º	0,7	53,8	0,8	61,5	0,5	38,5	0,2	15,4	0,4	30,8	0,5	38,5
		4º	0,4	30,8	0,5	38,5	0,4	30,8	0,7	53,8	0,5	38,5	0,2	15,4
		5º	0,6	46,2	0,6	46,2	0,4	30,8	0,4	30,8	0,5	38,5	0,2	15,4
-	1º TR	Total	3,0	-	3,1	-	2,7	-	2,5	-	2,6	-	2,0	-
		9º	3,5	64,8	3,8	70,4	3,5	64,8	2,9	53,7	2,4	44,4	3,7	68,5
		10º	2,0	37,0	3,1	57,4	1,3	24,1	3,0	55,6	3,6	66,7	1,9	35,2
5%	-	11º	4,2	77,8	1,8	33,3	2,8	51,8	3,2	59,2	2,3	42,6	1,4	25,9
		12º	2,4	44,4	3,3	61,1	2,8	51,8	2,8	51,8	3,6	66,7	3,6	66,7
		13º	1,5	27,8	2,8	51,8	3,1	57,4	2,8	51,8	4,0	74,1	2,8	51,8
-	2ºTR	total	13,6	-	14,8	-	13,5	-	14,7	-	15,9	-	13,4	-
		16º	3,0	55,6	3,4	63,0	4,4	81,5	3,3	61,1	2,9	53,7	3,2	59,2
		17º	4,4	81,5	2,8	51,8	1,6	29,6	2,5	46,3	3,0	55,6	2,9	53,7
5%	-	18º	2,6	48,1	3,7	68,5	3,4	63,0	3,2	59,2	4,2	77,8	2,4	44,4
		19º	3,1	57,4	1,3	24,1	2,6	48,1	1,7	31,5	2,4	44,4	2,7	50,0
		20º	3,3	61,1	4,4	81,5	3,4	63,0	2,8	51,8	3,4	63,0	2,7	50,0
-	3ºTR	Total	16,4	-	15,6	-	15,4	-	13,5	-	15,9	-	13,9	-
		23º	2,6	48,1	3,9	72,2	3,4	63,0	2,7	50,0	3,2	59,2	2,5	46,3
		24º	3,6	66,7	4,0	74,1	2,8	51,8	3,0	55,6	3,1	57,4	3,0	55,6
5%	-	25º	3,8	70,4	2,8	51,8	3,3	61,1	3,2	59,2	2,0	37,0	2,9	53,7
		26º	2,7	50,0	3,1	57,4	2,6	48,1	3,5	64,8	3,1	57,4	3,7	68,5
		27º	3,0	55,6	2,6	48,1	2,4	44,4	2,8	51,8	3,0	55,6	1,8	33,3
-	4ºTR	Total	15,7	-	16,4	-	14,5	-	15,2	-	14,4	-	13,9	-
		31º	8,3	80,6	2,5	24,3	5,7	55,3	4,9	47,6	5,1	49,5	6,7	65,0
		32º	0,7	6,8	2,2	21,4	4,6	44,7	2,3	22,3	4,5	43,7	2,5	24,3
		33º	5,1	49,5	3,2	31,1	4,5	43,7	3,1	30,1	3,7	35,9	7,4	71,8
		34º	2,5	24,3	2,9	28,2	2,9	28,2	4,0	38,8	3,4	33,0	4,7	45,6
		35º	7,3	70,9	5,1	49,5	3,8	36,9	0,5	4,8	4,4	42,7	4,2	40,8
-	5ºTR	Total	23,9	-	15,9	-	21,5	-	14,8	-	21,1	-	25,5	-