

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE PEREIRA BABUGIA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS EM UMA UNIDADE
INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO LÁCTEA EXISTENTE

CURITIBA

2020

FELIPE PEREIRA BABUGIA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS EM UMA UNIDADE
INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO LÁCTEA EXISTENTE

Artigo apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Especialista em Gestão
Estratégica em Energias Renováveis e
Biocombustíveis, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M.Sc. Nicolas Lazzaretti Berhorst

CURITIBA

2020

Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da implantação de um sistema de tratamento de efluentes para aproveitamento energético de biogás em uma unidade industrial de produção láctea existente

Felipe Pereira Babugia

RESUMO

O Brasil ocupa uma posição de destaque no ranking mundial dos países produtores de leite. Os efluentes industriais de produção láctea são potenciais poluentes do solo e água, bem como podem potencializar as mudanças climáticas no globo devido à liberação de gás metano na atmosfera. Entretanto, os sistemas de tratamento de efluentes de laticínios podem utilizar o gás metano gerado em seu tratamento para geração de energia renovável e limpa, com a possibilidade de geração de créditos de carbono. O presente estudo analisou a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de tratamento de efluentes para aproveitamento energético de biogás em uma unidade industrial de produção láctea existente para fins de geração de vapor em substituição a lenha. A infraestrutura do sistema de tratamento de efluentes existente foi analisada, de modo a propor adequações para geração e aproveitamento energético de biogás. A estimativa de geração de biogás foi obtida por métodos teóricos de cálculo com base em parâmetros publicados na literatura internacional específica para efluentes de laticínios. A viabilidade econômica foi analisada através dos parâmetros taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) e tempo de retorno do investimento (*payback*). Dentre os resultados, destaca-se: taxa interna de retorno de 123%, *payback* igual a 10,2 meses e valor presente do projeto em 10 anos de R\$ 11.584.908,82, resultados que mostram que o aproveitamento energético no laticínio em questão pode ser considerado como viável.

Palavras-chave: Biogás. Aproveitamento Energético. Efluentes de Indústria Láctea. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

Brazil occupies an outstanding position in the world ranking of milk producing countries. Dairy wastewaters are potential soil and water pollutants, as well as global climate change boosters due to the methane gas release into the atmosphere. However, dairy wastewater treatment systems can use the methane gas for renewable and clean energy generation, with the possibility of carbon credits sales. The present study analyzed the technical and economic feasibility of implementing a wastewater treatment system for biogas energy use in an existing dairy industry for milk heating in exchange of firewood. The infrastructure of the existing wastewater treatment system was analyzed in order to propose adjustments for the generation and use of biogas energy. The biogas generation estimate was obtained by theoretical calculation methods based on parameters published in the international literature specific for dairy wastewater. The economic feasibility was

analyzed through the following parameters: internal rate of return (IRR), net present value (NPV) and payback period. Among the results, was highlighted: an internal rate of return of 123%, a payback period equal to 10,2 months and a R\$ 11.584.908,82 net present value of the project for 10 years, results that show that the energy utilization in the present dairy industry can be considered both technical and economic feasible.

Keywords: Biogas. Energy Generation. Dairy Industry Wastewater. Economic feasibility.

1 INTRODUÇÃO

Com uma produção anual de 35 bilhões de litros de leite, em 2013 o Brasil foi o terceiro maior produtor de leite no mundo (FEAM & FIEMG, 2014). Em 2019, a produção estimada foi de 34.9 bilhões de litros (FAO, 2020). Se não devidamente tratados, os efluentes industriais de produção láctea podem poluir o solo e os recursos hídricos. De acordo com Maganha (2006), a descarga de efluentes industriais é o principal impacto ambiental do setor. Não obstante, comumente o tratamento destes efluentes gera gás metano (CH_4), que pode intensificar as mudanças climáticas no globo, uma vez que possui um potencial de aquecimento global (GWP) igual a 28 vezes o GWP do gás carbônico (CO_2) (IPCC, 2014). Todavia, o metano pode ser aproveitado para geração de energia através de sua combustão, reduzindo assim o potencial de aquecimento global e gerando energia renovável, podendo inclusive gerar créditos de carbono.

Deste modo, os sistemas convencionais de tratamento destes efluentes, que são considerados passivos financeiros e ambientais, dado que apenas representam custos, passam a ser ativos ambientais e econômicos, pois podem gerar receita através da geração distribuída de energia renovável de baixo carbono e evitar passivos ambientais.

Em laticínios, em média para cada quilo de leite processado são gerados entre 3 e 5 litros de efluente líquido, a depender do tipo de produto produzido (MAGANHA, 2006). O efluente da indústria em análise apresenta uma demanda química de oxigênio (DQO) de 5500 mg/L. Em média o esgoto doméstico apresenta uma DQO de 600 mg/L (VON SPERLING, 2006), valor aproximadamente nove vezes inferior ao do efluente em questão. O tratamento deste tipo de efluente é compulsório pela legislação vigente, de modo a atingir os padrões de qualidade para lançamento em recursos hídricos, destino comumente dado ao efluente tratado (BRASIL, 2011).

A unidade industrial de produção láctea objeto do presente estudo, apesar de tratar seus efluentes, não aproveita energeticamente os mesmos. Deste modo, foram

propostas adequações ao sistema de tratamento de efluentes da unidade, a fim de verificar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento energético do biogás.

2 OBJETIVO

Analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de tratamento de efluentes para aproveitamento energético de biogás em uma unidade industrial de produção láctea existente.

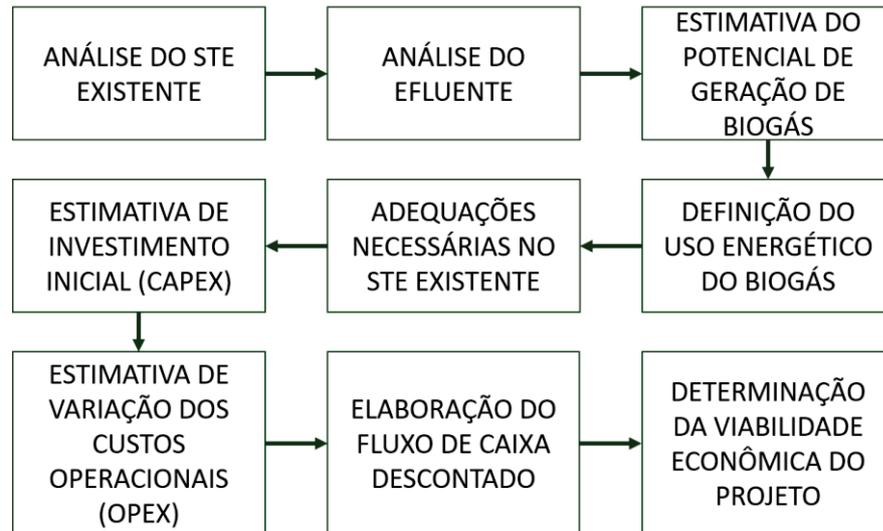
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Verificar quais adequações na infraestrutura de tratamento de efluentes existente seriam necessárias para a geração e aproveitamento energético de biogás.
- ii) Obter o potencial de geração de biogás da estação de tratamento de efluentes proposta.
- iii) Determinar o investimento financeiro necessário para implantação e *start-up* do sistema, bem como a variação dos custos operacionais.
- iv) Conhecer a viabilidade econômica do projeto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 1 é possível visualizar um fluxograma com as principais etapas desenvolvidas no presente estudo.

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS DO PRESENTE ESTUDO.



FONTE: O AUTOR (2020).

Por se tratar de uma fábrica em funcionamento, com uma estação de tratamento de efluentes em operação, a infraestrutura do sistema de tratamento de efluentes (STE) existente foi analisada, de modo a verificar a possibilidade de manter alguns de seus componentes e propor adequações para geração e aproveitamento energético de biogás, tendo sido proposta a instalação de um reator anaeróbico de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB).

A disponibilidade e características do efluente foi analisada através de registros históricos do STE e parâmetros obtidos na literatura, a fim de estimar o potencial de geração de biogás da estação de tratamento de efluentes proposta, através de métodos teóricos de cálculo.

Para o cálculo da quantidade de DQO removida pelo reator UASB, foi utilizada a Equação 01 (CAPASSI et al., 2013, apud. ALMEIDA & GROSSI, 2014):

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * TDH_{UASB}^{-0,35}) \quad (1)$$

Em que,

TDH_{UASB} é o tempo de detenção hidráulica da câmara de digestão do reator;

E_{DQO} é a eficiência do reator em termos de remoção de DQO.

Para o cálculo do potencial de geração de metano, foi utilizada a Equação 02:

$$G_{CH_4} = TG_{CH_4} * DQO_{REM} * (1 - PB) \quad (2)$$

Em que,

G_{CH_4} é o potencial de geração de metano, em Nm^3CH_4/dia ;

TG_{CH_4} é a taxa de geração de metano, em $Nm^3CH_4/ton.DQO_{REM}$;

DQO_{REM} é a quantidade de DQO removida por dia, em ton/dia;

PB é o índice de perda de biogás.

O método de aproveitamento energético do biogás foi definido como para uso térmico em uma caldeira existente movida a lenha. Para o cálculo do poder calorífico útil (PCU) da madeira, foi utilizada a Equação 03:

$$PCU = PCI_{MAD}(1 - U) - 600 * U \quad (3)$$

Em que,

PCU é o poder calorífico útil da madeira, em kcal/kg;

PCI_{MAD} é o poder calorífico inferior da madeira, em kcal/kg;

U é a umidade da madeira, em valor decimal.

Para o cálculo do consumo energético diário com madeira, foi utilizada a Equação 04:

$$E_{MAD} = PCU * V_{MAD} * n_{MAD} \quad (4)$$

Em que,

E_{MAD} é o consumo energético diário com madeira, em kcal/dia;

V_{MAD} é o consumo de madeira, em kg/dia;

PCU é o poder calorífico útil da madeira, em kcal/kg;

n_{MAD} é o rendimento da caldeira com o uso de lenha como combustível.

Para o cálculo do potencial energético do metano produzido (E_{MET}), foi utilizada a Equação 05:

$$E_{MET} = PCI_{MET} * V_{MET} * n_{MET} \quad (5)$$

Em que,

E_{MET} é o potencial energético do metano produzido, em kcal/dia;

V_{MET} é a produção diária de metano, em Nm^3CH_4 /dia;

PCI_{MET} é o poder calorífico inferior do metano, em kcal/ Nm^3CH_4 ;

n_{MET} é o rendimento da caldeira com o uso de biogás como combustível.

Considerando a forma de monetização do biogás previsto com o novo sistema estimou-se o valor monetário da economia anual com compra de insumos energéticos devido ao aproveitamento do biogás, bem com a redução da dosagem de polímeros e coagulantes devido ao aumento da eficiência do tratamento pela instalação do reator UASB. A DQO foi utilizada como parâmetro para o cálculo da redução da dosagem dos produtos no floculador, através da equação 6:

$$RED = \left[1 - \frac{(DQO_{LAGOA} - DQO_{UASB})}{DQO_{LAGOA}} \right] * 100 \quad (6)$$

Em que,

RED é o fator de redução da dosagem dos produtos químicos no floculador, em porcentagem (%);

DQO_{LAGOA} é a DQO na saída da lagoa anaeróbia, em mg/L;

DQO_{UASB} é a DQO na saída do reator UASB, em mg/L;

A partir das construções e adequações necessárias, o valor monetário do investimento inicial necessário (CAPEX) para implantação e *start-up* do sistema foi estimado. A partir dos custos operacionais históricos com a estação de tratamento de efluentes existente e os custos previstos com o novo sistema (OPEX), estimou-se o valor monetário da variação do custo operacional com o sistema proposto. Fundamentado nos custos de CAPEX e OPEX dos sistemas atual e proposto, determinou-se a viabilidade econômica do projeto através da elaboração de um fluxo de caixa descontado para 10 anos, para fins de cálculo dos parâmetros taxa interna de retorno, valor presente líquido e tempo de retorno do investimento.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 DO LATICÍNIO

A unidade industrial de produção láctea, localizada no município de Marechal Cândido Rondon-PR, possui cerca de 22 mil metros quadrados de área construída. A unidade fabril de produção láctea do estudo em questão possui capacidade para receber cerca de 750 mil litros de leite por dia, com produção máxima diária de 443 toneladas de produtos lácteos. A unidade produz diversos produtos cuja matéria prima principal é o leite bovino. Ao todo, são mais de 60 produtos distintos, que foram sintetizados na Tabela 1, na qual é possível visualizar a quantidade média de produção diária de produtos finais.

TABELA 1 - QUANTIDADE MÉDIA DE PRODUÇÃO DIÁRIA DE PRODUTOS FINAIS.

Produto	Quantidade (ton./dia)	Porcentagem
Leite	200	45,1%
Leite Condensado	80	18,1%
Achocolatados	42	9,5%
Doce de Leite	32	7,2%
Creme de Leite	32	7,2%
Queijos	27	6,1%
Requeijão	22	5,0%
Manteiga	8	1,8%
Total	443	100,0%

FONTE: O AUTOR (2020).

Nota-se que o leite, leite condensado e achocolatados são os principais produtos, pois quando somados representam cerca de 72,7% da produção.

A indústria consome energia para diversos fins. Existe na unidade uma caldeira de vapor a biomassa, cujo combustível utilizado é lenha. O vapor gerado pela caldeira é utilizado nos processos industriais do laticínio, como no aquecimento de leite para o processo de pasteurização. O consumo mensal da caldeira é de 3.043 m³ de lenha, com um custo unitário de R\$ 80,42 /m³, que totaliza um custo mensal de R\$ 244.714,00.

4.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

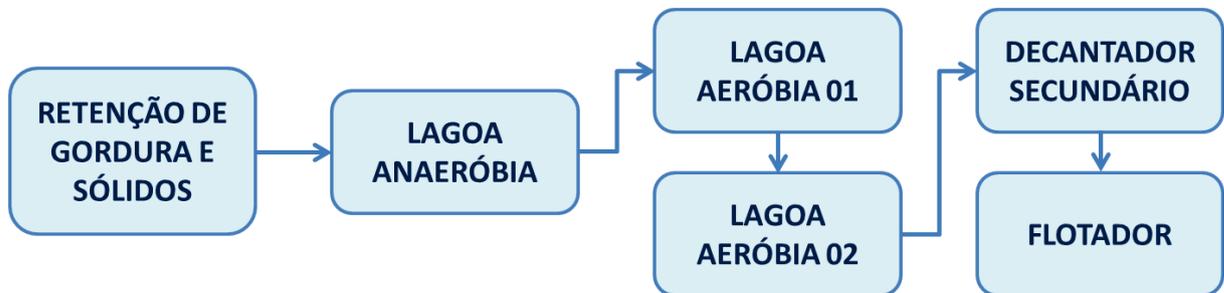
Em função do tipo de produto fabricado os efluentes variam em qualidade e quantidade (MAGANHA, 2006). Ainda, de acordo com Carawan et al. (1979), as características dos efluentes gerados mudam significativamente tanto entre diferentes indústrias quanto em diferentes períodos em uma mesma fábrica. De um modo geral, os efluentes são compostos por proteínas (principalmente caseína), carboidratos (especialmente lactose), gorduras, sólidos suspensos, nitrogênio, fósforo e alguns poluentes inorgânicos (BRITZ et al., 2008, apud. ANDRADE, 2011).

O potencial hidrogeniônico (pH) do efluente varia principalmente em função da acidez/alcalinidade dos produtos de limpeza utilizados no laticínio. Segundo

Janczukowicz et al. (2008), os sistemas de tratamento biológicos não são prejudicados pela mistura dos efluentes da produção com os efluentes de lavagem.

No laticínio há implantado e em operação um sistema de tratamento de efluentes. O tratamento preliminar é constituído por gradeamento grosso e uma caixa de retenção de gordura e sólidos. Em seguida há uma lagoa de digestão anaeróbia com 6,0 dias de tempo de detenção hidráulica (TDH), duas lagoas aeróbias em série com 5,20 dias de TDH cada, um decantador secundário e, por fim, um flotador. Após o tratamento, o efluente tratado é destinado a um corpo hídrico. A Figura 2 abaixo ilustra um fluxograma do sistema de tratamento existente.

FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EXISTENTE.



FONTE: O AUTOR (2020).

O laticínio possui uma produção média de 50.400 m³ de efluentes por mês. Considerando 30 dias de operação no mês, e um período de 24 horas por dia de funcionamento da planta, a vazão média de efluente é igual a 70 m³/h.

Segundo FEAM & FIEMG (2014):

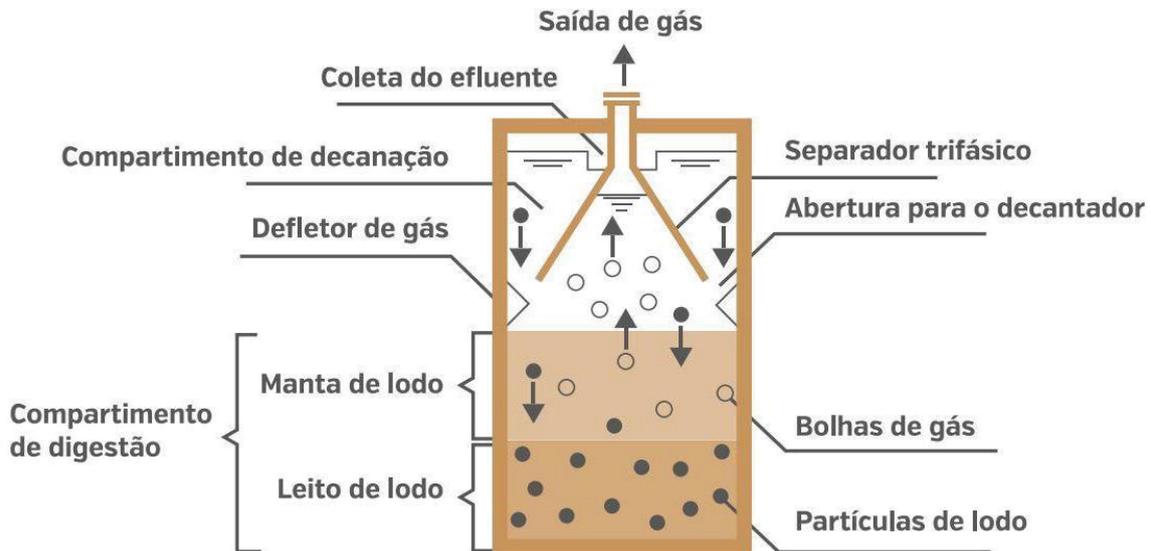
“A tecnologia de metanização mais aplicável ao processamento dos efluentes, com foco na produção de biogás na indústria de laticínios, são os reatores de alta taxa, em especial a tecnologia UASB. A utilização desses sistemas permite o tratamento de uma elevada carga orgânica com uma reduzida demanda de área.”

De acordo com Demirel et al. (2005), os reatores UASB têm sido utilizados com sucesso por desde a década de 80 na Holanda em aplicações de escala real para o tratamento de efluentes de laticínios, sendo um dos reatores mais comuns para este tipo de efluente.

Os reatores UASB, do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*, reúnem as funções de decantador primário, reator biológico, decantador secundário e digestor

da biomassa formada (SILVEIRA et al., 2015). Na Figura 3 abaixo pode ser visualizada uma representação esquemática de um reator UASB.

FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM REATOR UASB

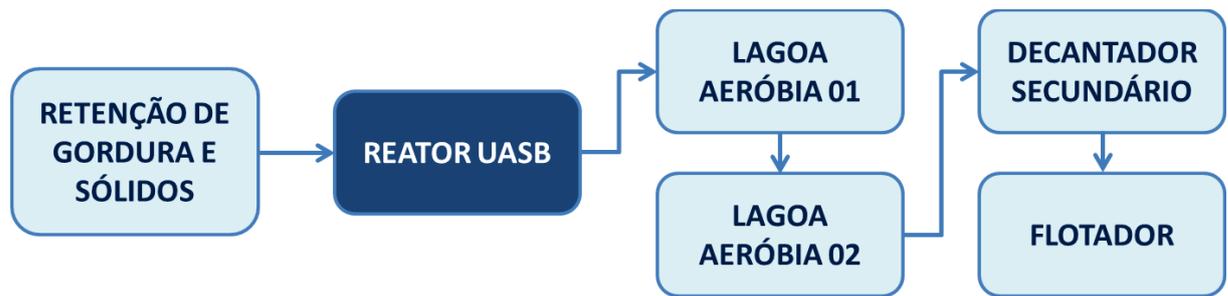


FONTE: SILVEIRA ET AL., (2015).

Mesmo com TDH do efluente pequeno, tipicamente entre 6 e 10 horas, os reatores UASB permitem a retenção de biomassa, proporcionando um elevado tempo de retenção celular, superior a 30 dias. Este tipo de reator apresenta eficiências de remoção de DQO da ordem de 60 a 70%. Ressalta-se também que, apesar de 40% do biogás gerado no reator permanecer retido na biomassa, o biogás produzido por reatores UASB apresentam concentrações de metano que variam entre 60 e 85%. Entretanto, o efluente que entra no reator não pode possuir sólidos grosseiros e gorduras. Estas últimas podem propiciar o acúmulo excessivo de espuma no interior dos coletores de gases, o que dificultaria a liberação destes. Também, podem causar obstruções nas tubulações internas de distribuição de efluentes, formando fluxos preferenciais e zonas mortas, que interferem significativamente na eficiência dos reatores UASB, e conseqüentemente na produção do biogás (SILVEIRA et al., 2015). Portanto, a caixa de retenção de gordura e sólidos deverá ser mantida.

Sendo assim, define-se um novo fluxograma para o tratamento dos efluentes, constante na Figura 4.

FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PROPOSTO.



FONTE: O AUTOR (2020).

Segundo registros históricos, o efluente apresenta uma temperatura média de 34,3°C. De acordo com a NBR 12209 (ABNT, 2011), norma brasileira para elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, o TDH da câmara de digestão deve ser de no mínimo 6 horas para efluentes com temperatura superior a 25°C. O TDH da câmara de decantação deverá ser de no mínimo 1,5 horas, com uma taxa mínima de escoamento superficial igual a 1,2 m³/m².h.

Considerando estes parâmetros, e as demais exigências estabelecidas na NBR 12209 (ABNT, 2011), para o aproveitamento energético do biogás deverá ser construído um reator UASB com 420 metros cúbicos de volume útil da câmara de digestão do reator e 105 metros cúbicos de volume útil da câmara de decantação do reator, totalizando 525 metros cúbicos de volume útil do reator UASB.

4.3 GERAÇÃO DE BIOGÁS

Não foram realizados ensaios de caracterização do efluente para fins de geração biogás. Sendo assim, foi utilizada uma taxa de geração de metano equivalente a 295¹ Nm³CH₄ por tonelada de DQO removida (HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG, 2004).

De acordo com as análises históricas do efluente, a DQO média do efluente após a caixa de gordura é de 5.500 mg/L, valor superior ao publicado por Handreichung Biogasnutzung (2004), de 4.000mg/L.

Considerando 6 horas como TDH da câmara de digestão, obteve-se como resultado 63,68% de eficiência de remoção de DQO, que representa 3.502 mg/L de DQO

¹ Tal valor não leva em consideração o efluente em questão, controles internos de qualidade, segregação do soro do leite, tipo de lavagem, características dos produtos de limpeza, entre outros fatores. Portanto, o cálculo do potencial de geração de metano é uma estimativa teórica.

removida, equivalente a 3.502 g/m^3 . Considerando uma média histórica de vazão diária de efluentes igual a $1680 \text{ m}^3/\text{dia}$, obteve-se uma remoção de DQO diária igual a 5.88 ton/dia .

Considerando uma taxa de geração de metano equivalente a $295 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{ton.DQO}_{\text{REM}}$, um índice de perda de biogás de 40% e 3.502 g/m^3 de DQO removida por dia, obteve-se um potencial de geração de metano igual a $1.041 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{dia}$ (HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG, 2004).

Para fins de dimensionamento de componentes do sistema, como gasômetro, tratamento de biogás, queimador, etc., foi considerada uma concentração de 60% de metano no biogás, que resultou em uma vazão de biogás equivalente a $1.735 \text{ Nm}^3/\text{dia}$.

4.4 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS

Para o aproveitamento energético do biogás foi definido que seu uso será para geração de vapor em uma caldeira existente, em complemento ao uso de lenha. Atualmente a fábrica utiliza cerca de 3.043 m^3 de lenha por dia, com um custo unitário de R\$ $80,42/\text{m}^3$. A madeira utilizada é da espécie *Eucalyptus urograndis*. Devido a indisponibilidade de ensaios de caracterização da madeira, foi considerado o poder calorífico inferior obtido por Madalena (2013), de 4.001 kcal/kg , e uma massa específica de $0,461 \text{ g/cm}^3$ (ALENCAR et al., 2002).

Considerando a umidade da lenha igual a 20%, obteve-se um poder calorífico útil de $3.080,80 \text{ kcal/kg}$. De acordo com o fabricante da caldeira, a eficiência da mesma é de 87% com o uso de lenha. Portanto, o consumo diário de lenha em termos energéticos equivale a $1,25.10^8 \text{ kcal/dia}$.

Considerando o poder calorífico inferior (PCI) do metano igual a 11.940 kcal/kg , e uma densidade média de $1,2 \text{ kg/Nm}^3$, com uma geração de metano igual a $1.041 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{dia}$ e 95% de eficiência na queima de biogás, há um potencial de aproveitamento energético de $1,42.10^7 \text{ kcal/dia}$.

Portanto, seria possível suprir 11,31% da demanda de energia térmica para geração de vapor, equivalente a uma redução mensal do gasto com compra de lenha de R\$ $27.679,19$.

4.5 REDUÇÃO DA DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS NO FLOTADOR

De acordo com registros históricos, a lagoa anaeróbia atualmente possui uma eficiência média de remoção de DQO de 34,87%, que representa 1918 mg/L de DQO removida, o que corresponde a uma DQO na saída do reator de 3582 mg/L.

Considerando a instalação do reator UASB, a eficiência de remoção de DQO seria de 63,68%, que representa 3.502 mg/L de DQO removida, o que resultaria em uma DQO na saída do reator de 1998 mg/L.

Portanto, devido a substituição da lagoa anaeróbia pelo reator UASB, a DQO na saída do reator seria de 1998 mg/L ao invés de 3582 mg/L, devido ao acréscimo de 1.584 mg/L de DQO removida, que representa um acréscimo de 44,22% na eficiência de remoção de DQO. Consequentemente, para manter a DQO final do efluente na saída do STE, a dosagem de polímeros e coagulantes no flotador poderia ser 55,78% da dosagem sem modificações. Desta forma, o custo com compra destes insumos, que é de R\$ 249.981, poderia ser reduzido para R\$ 139.436,64, resultando em um custo evitado de R\$ 110.544,36.

4.6 INVESTIMENTO INICIAL

Devido a necessidade de adequações no sistema de tratamento de efluentes, e implantação de novas instalações para geração, tratamento e aproveitamento energético do biogás, obteve-se um valor de investimento inicial necessário para implantação e *start-up* do sistema estimado em R\$ 1.308.246, como pode ser visto na Tabela 2 abaixo.

TABELA 2 - INVESTIMENTO INICIAL NECESSÁRIO PARA IMPLANTAÇÃO E START-UP DO SISTEMA.

Item	Custo	
Estação Elevatória de Efluentes	R\$	56.600,00
Reator UASB pré-fabricado com frete e instalação	R\$	790.800,00
Obras Civis	R\$	150.000,00
Tubulação de efluentes e biogás	R\$	30.000,00
Compressor de biogás	R\$	13.900,00
02 Reservatórios de Aço Inox 150 L	R\$	7.800,00
Quadro de Comando Elétrico	R\$	4.500,00
Desumidificador de Biogás	R\$	21.500,00
Flare Queimador de Biogás	R\$	24.500,00
Conexões Diversas em Aço Galvanizado	R\$	1.200,00
Filtro De Carvão Ativado para Biogás (300kg)	R\$	10.300,00
Gasômetro 250m ³	R\$	22.600,00
Instalação de Equipamentos	R\$	15.000,00
Adaptação Queimador Monobloco na Caldeira Existente	R\$	48.945,00
Análises de Potencial Bioquímico de Metano do Efluente	R\$	4.236,00
Projetos Executivos para Implantação do Sistema	R\$	106.365,00
CapEx Total	R\$	1.308.246,00

FONTE: O AUTOR (2020).

4.7 CUSTOS OPERACIONAIS

O sistema de tratamento de efluentes atual apresenta os custos operacionais apresentados na Tabela 3. Na tabela é possível visualizar os custos operacionais futuros, com o sistema proposto para aproveitamento de biogás. Nota-se que houve um aumento no gasto mensal de manutenção de R\$ 769, devido principalmente a manutenção dos componentes que serão instalados para geração e tratamento de biogás. Nota-se a redução de 44,22% do custo com produtos químicos, devido ao aumento de eficiência do tratamento causado pela substituição da lagoa anaeróbia pelo reator UASB, resultando numa dosagem menor de polímeros e coagulantes no flotador. Nota-se também um custo evitado com compra de lenha de R\$ 27.679,19. Foi considerada a depreciação dos equipamentos, considerando como 10 anos de vida útil de projeto para todos os equipamentos, materiais e componentes do sistema, com exceção do reator UASB pré-fabricado de fibra de vidro, que possui uma vida útil de projeto de 50 anos. No total, haverá uma economia mensal de R\$ 134.121,17 com a implantação do sistema.

TABELA 3 - CUSTOS OPERACIONAIS ATUAIS E FUTUROS (COM O SISTEMA PROPOSTO PARA APROVEITAMENTO DE BIOGÁS).

Item	OpEx Mensal	
	Situação Atual	Situação Futura
Energia Elétrica	R\$ 59,447.00	R\$ 59,447.00
Manutenção - Mão de Obra	R\$ 13,867.00	R\$ 13,867.00
Manutenção - Materiais	R\$ 7,269.00	R\$ 8,038.00
Produtos Químicos - Flocculador	R\$ 249,981.00	R\$ 139,436.64
Custo Evitado com Lenha	R\$ -	-R\$ 27,679.19
Depreciação Equipamentos	R\$ -	R\$ 3,333.38
OpEx Total	R\$ 330,564.00	R\$ 196,442.83
Varição OpEx Mensal	-R\$	134,121.17

FONTE: O AUTOR (2020).

4.8 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Para a análise de viabilidade financeira foi definido como vida útil do projeto um período de 10 anos. Foi elaborado de um fluxo de caixa ao longo da vida útil do projeto, considerando os valores de CAPEX, OPEX atual e futuro, custo evitado com compra de lenha e taxa mínima de atratividade. Os valores utilizados como entrada para o fluxo de caixa podem ser vistos na Tabela 4 abaixo.

TABELA 4 - VALORES UTILIZADOS COMO ENTRADA PARA O FLUXO DE CAIXA.

Investimento Inicial	R\$ 1,308,246.00
Redução de Custos Operacionais Anuais	R\$ 1,609,454.09
Taxa de Depreciação do Capital no tempo	4.25% a.a.
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	10.00% a.a.
Vida Útil do Projeto (VUP)	10.00 anos

FONTE: O AUTOR (2020).

Obteve-se como resultado que o projeto apresenta um tempo de retorno do investimento igual a 10,2 meses, uma taxa interna de retorno igual a 123 % ao ano e um valor presente líquido para 10 anos igual a R\$ 11.584.908,82.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram propostas alterações na infraestrutura do sistema de tratamento de efluentes existente, como: substituição de uma lagoa de digestão anaeróbia por reatores anaeróbios de alta taxa do tipo UASB e instalação de tubulação para captação, transporte, tratamento e aproveitamento energético do biogás para fins de geração de vapor em substituição a lenha. Obteve-se um valor de investimento inicial necessário para implantação e *start-up* do sistema estimado em R\$ 1.308.246.

Por métodos teóricos de cálculo estimou-se um potencial de geração de metano igual a 1.041 Nm³CH₄/dia, que possibilita suprir 11,31% da demanda de energia térmica para geração de vapor, equivalente a uma redução mensal do gasto com compra de lenha de R\$ 27.679,19.

Devido ao aumento de eficiência do tratamento causado pela substituição da lagoa anaeróbia pelo reator UASB, seria possível uma dosagem menor de polímeros e coagulantes no flotador, o que resultaria numa economia mensal de R\$ 110.544,36 na compra destes produtos químicos.

Obteve-se como resultado que o projeto apresenta um tempo de retorno do investimento igual a 10,2 meses, uma taxa interna de retorno igual a 123% ao ano e um valor presente líquido igual a R\$ 11.584.908,82. Portanto, os resultados indicam que o aproveitamento energético no laticínio em questão pode ser considerado como viável.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.
- ALENCAR, G. S. B. **Estudo de qualidade da madeira para produção de celulose relacionada à precocidade na seleção de híbrido E. grandis x E. urophylla**. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 145p., 2002.
- ALMEIDA, E. Jr. M. de; GROSSI L. J. **Estudo do processo de tratamento de água da indústria de laticínio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas– Campus de Poços de Caldas, 2014.
- ANDRADE, L. H. de. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o Reuso**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial, Brasília, 2011.
- CARAWAN, R. E.; JONES, V. A.; HANSEN, A. P. **Wastewater characterization in a multiproduct dairy**. Journal of Dairy Science, v. 62, n. 8, p. 1243-1251, 1979 b.
- DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T. T. **Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review**. Process Biochemistry, v. 40, p. 2583–2595, 2005.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets: June 2020**. Food Outlook, Roma, 2020.
- FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE; FIEMG. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. (2014). **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2014.
- HANDREICHUNG BIOGASNUTZUNG. Institut für Energetik und Umwelt GmbH. BVA Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 2004.
- IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014.
- JANCZUKOWICZ, W.; ZIELIŃSKI, M.; DĘBOWSKI, M. **Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production**. Bioresource Technology, v. 99, p. 4199–4205, 2008.

MADALENA, L. C. S. **Avaliação do potencial energético do híbrido Eucalyptus Urograndis em diferentes idades e posições do fuste.** Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, 2013.

MAGANHA, M.F.B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos.** São Paulo: CETESB, 2006. 95 p.

SILVEIRA, B. [et al.]. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto.** Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015.