



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CENTRO DE TECNOLOGIA**

**PROJETO DE PASTEURIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE FRUTAS E LEITE
PARA A AGRICULTURA FAMILIAR**

***AUTORIA:
FABIANA ALVES PINTO
JOHNSON PONTES DE MOURA***

Janeiro/2008

SUMÁRIO

1. Introdução.....	03
1.1 Cenários escolhidos para O projeto piloto GPEC/UFRN.....	04
1.1.1 Projeto de micro-usina de frutas/leite utilizando energia solar.....	04
1.1.2 Projeto de micro-usina de frutas/leite com o uso de energia solar a partir do biogás.....	05
1.1.3 Projeto de micro-usina de frutas utilizando a cogeração de energia a partir do uso do biogás com motor de ciclo-otto adaptado.....	05
2. Descrição das Atividades Desenvolvidas.....	06
3. Estado da arte.....	07
3.1 Pasteurização e Conservação de Frutas e Leite.....	07
3.1.1 Uso de Energia Solar no Processo de Pasteurização.....	07
3.1.2 Uso de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) no Processo de Pasteurização..	08
3.1.3 Uso do Biogás no Processo de Pasteurização.....	08
3.1.4 Cogeração de Energia no Processo de Pasteurização.....	09
3.1.5 Características dos Poluentes da Indústria de Laticínios	23
4. Metodologia.....	29
4.1 Pesquisa Bibliográfica.....	29
4.2 Visita Técnica.....	29
4.3 Desenvolvimento de Fluxograma e Cenários de Estudos.....	29
4.4 Avaliação das Opções Tecnológicas do Sistema	30
4.5 Levantamento do Consumo de Energia Elétrica para uma Unidade de Pasteurização com Capacidade de 500L.....	30
4.6 Levantamento da demanda Térmica dos Processos de Resfriamento e Aquecimento (Pasteurização) do Leite.....	30
4.7 Seleção e Estudo do Processo de Bioconversão dos Resíduos Sólidos para Produção de Adubo Orgânico, Energia (Biogás) Ração Animal.....	31
4.8 Sistema de Combustão do Biogás.....	31
4.9 Sistema de Recuperação de Calor de Combustão.....	31
4.10 Sistema de Controle de Poluição e Recuperação do CO ₂	32
4.11 Modelagem Computacional do Processo de Pasteurização.....	32
4.12 Modelagem e Simulação do Sistema Proposto para Geração de Energia.....	32
4.13 Desenvolvimento de Desenho Inovador para Pasteurização de Leite e Frutas.....	33
4.14 Construção de Biodigestor utilizando Placas de Fibra.....	33
4.15 Desenvolvimento de Desenho Inovador de Sistema de Refrigeração com o uso de Energia Elétrica Oriunda de Motor Gerador Acionado por Biogás.....	33

1. INTRODUÇÃO

Os alimentos sejam eles de origem animal ou vegetal são susceptíveis a alterações, as quais podem ser de ordem física, química ou biológica. As de ordem físicas são decorrentes principalmente devido a ação de agentes mecânicos que causam danos como: quebras, deformações, perfurações e cortes. Além destes, outros agentes como o ar, a luz e o calor são causadores de alterações da cor, aparência e sabor.

Normalmente os tipos de alterações citados ocorrem de forma conjunta, o que faz demandar a adoção de técnicas que busquem estabelecer procedimentos e processos para: (a) minorar estas alterações, (b) propiciar a preservação do sabor e a qualidade dos alimentos e (c) oferecer produtos de alto valor nutricional para o consumo humano e animal.

Desta forma, são aplicados processos e procedimentos que envolvem: (a) o uso do calor, (b) o uso do frio, (c) a fermentação, (d) o uso de aditivos e (e) o emprego de irradiação.

Dentre estas técnicas a pasteurização/esterilização é um processo indispensável para assegurar a segurança microbiológica presentes nos alimentos tipo sucos de frutas e leite. Normalmente, é empregado para produtos que possuem características organolépticas e nutricionais altamente susceptíveis a altas temperaturas. Este tratamento deve ser associado ao emprego de outros métodos como refrigeração, adicionamento de açúcar ou aditivos e o uso de embalagens herméticas. No caso do processamento de leite pode-se empregar a pasteurização rápida (HTST - *high temperature and short time*) em que o produto é aquecido a 72°C por 15 segundos ou a pasteurização lenta (LTLT - *low temperature and long time*) em que expõe o leite à temperatura de 62°C por 30 minutos. E um processo também aplicado na purificação da água.

Fagundes, 2003 cita dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CNA) apontando Brasil como o quinto maior produtor de leite do mundo, respondendo por cerca de 66% do volume total de leite produzido pelos países que compõe o Mercosul e 5,3% da produção Mundial. Em 2002, o Valor Bruto da Produção Agropecuária foi de R\$ 139 bilhões, tendo o leite uma posição de destaque, com um valor de R\$ 8,64 bilhões, ou seja, 16,5% do Valor Bruto da Produção Pecuária, superado apenas pelo Valor da Produção da Carne Bovina Junior, 2004.

Nas instalações leiteiras, a energia elétrica é intensamente utilizada na geração de energia térmica para resfriamento e conservação do leite e, aquecimento de água utilizada na pasteurização, limpeza e desinfecção de equipamentos e salas. O grande problema está

no uso direto da energia elétrica com o emprego de resistências para o aquecimento de água, fazendo o desperdício de energia e a elevação dos custos.

Diante deste cenário, cerca de 1/3 de pequenos produtores de leite foram excluídos do mercado nacional devido a dificuldades de se adaptarem ao novo cenário competitivo.

A questão energética é tratada muito a sério nas unidades de produção de leite estas utilizam parcialmente a capacidade de geração térmica dos sistemas de refrigeração, aproveitando apenas o efeito frio com forma de melhorar o rendimento térmico do sistema, bem como reduzir custos. Já para suprir a demanda térmica, muitas fazendas utilizam eletricidade para gerar calor, comprometendo a eficiência do processo.

Atualmente, a tecnologia de pasteurizadores esta voltada principalmente ao uso de energia solar por um fator determinante que é o custo. Um dos principais problemas no processo é devido ao aquecimento, que promove o crescimento de depósitos indesejáveis nas superfícies dos pasteurizadores. Para isso é necessária interrupções na produção para lavagem (Adaptado de Melo, 2002).

1.1 CENARIOS ESCOLHIDOS PARA O PROJETO PILOTO GPEC/UFRN

1.1.1 Projeto de micro-usina de frutas/leite utilizando energia solar

A presente pesquisa visa o desenvolvimento de equipamentos de baixo custo para pasteurização de frutas/leite, sendo dimensionado para a pequena produção como alternativa ao uso de energia solar, que apresenta gastos com energia praticamente zero e também pelo baixo custo operacional. Dessa forma, um mercado que anteriormente só era acessível à produção em grande escala e de elevados investimentos passa ser ocupado também por pequenas indústrias.

O sistema que aquecimento solar tem uma grande aplicabilidade para a pasteurização e conservação de sucos de frutas e leite, de forma que garantir a conservação de alimentos.

O sistema de aquecimento solar através de placas coletoras, em estudo, terá grande aceitação na indústria e propõe o baixo custo de aquisição e eficiência na no processo de pasteurização. Neste contexto, a problemática do presente trabalho envolve o projeto de integração energética tendo como fonte de energia solar para pequeno produtor de agricultura familiar para uso em micro-usina de processamento de frutas da região e leite.

1.1.2 Projeto de micro-usina de frutas/leite com o uso de energia a partir do biogás

Essa pesquisa tem como finalidade a aplicação de tecnologias adequadas para micro-usina, através do processamento de frutas e leites.

Neste contexto, a problemática do presente trabalho envolve o projeto de integração energética do uso do biogás, biomassa residual como fonte de energia para pequeno produtor de agricultura familiar para processamento em micro-usina e pequena

escala. Os estudos apontam para o uso do biogás como combustível juntamente com a energia solar tanto aquecimentos e resfriamentos envolvidos no processo de pasteurização.

1.1.3 Projeto de micro-usina de frutas utilizando a cogeração de energia a partir do uso do biogás com motor de ciclo-otto adaptado

Essa pesquisa tem como finalidade a aplicação de tecnologias adequadas para micro-usina, através do processamento de frutas e leite no que diz respeito à geração de energia, fabricação de gelo e aquecimento de água, todos estes sistemas atrelados ao processo de conservação de polpas de frutas e leite (pasteirização) utilizando como combustível o biogás. Através das visitas técnicas observou-se Bebida Velha, RN mostrou-se um local propício para aplicação de tal projeto, no entanto, tal comunidade está com a sua micro-usina de beneficiamento de fruta parada devido à falta de investimento, necessitando elaboração de um projeto o qual tenha viabilidade econômica.

Neste contexto, a problemática do presente trabalho envolve o projeto de integração energética de uso de biogás, biomassa residual e co-geração de energia aplicada à agricultura familiar no processamento de alimentos em sistema de micro-usina e em pequena escala.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo principal deste projeto é desenvolver desenho simples e inovadores de sistema de pasteurização para a conservação de frutas e leite utilizando tecnologia apropriada para nossa região, principalmente na região rural. Nosso objetivo envolve, também, o desenvolvimento de equipamentos de baixo custo de construção e operação que permita alto rendimento energético (sem perdas térmicas), podendo assim ser comercializado com maior vantagem sobre os demais produtos existentes no mercado com viabilidade para atender o mercado dos pequenos produtores, cooperativas e agroindústrias.

2.2 Específicos

- Gerar conhecimento técnicos e informações sobre o funcionamento de todo o sistema de pasteurização;
- Inovar, desenhar e analisar estudos de casos para o desenvolvimento do sistema proposto;
- Elaborar estudo de viabilidade técnica e econômica para o sistema propostos.

3. METODOLOGIA

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Foram realizados levantamentos bibliográficos via Internet, Communt, livros didáticos, teses e trabalhos publicados, Cd Rom e revistas. Nessa pesquisa foram feitos levantamentos de custos de matéria-prima, equipamentos e mão de obra.

3.2 Visita Técnica

A realização de visitas técnicas a pequenas comunidades com a finalidade de complementar o estudo de pesquisa bibliográfica e desenvolver propostas de trabalho a atender, de forma mais viável, este setor.

3.3 Desenvolvimento de Fluxograma e Cenários de Estudos

Com base nos dados pesquisados e nas necessidades da pesquisa foi desenvolvido fluxogramas do processo no qual está baseado o projeto. Foram elaborados diversos fluxogramas de projeto preliminar para pasteurização do leite. O sistema proposto visa a produção de energia de biogás em sistema integrado, com energia solar, com o objetivo de utilizar na pasteurização do leite. A partir de dados de entrada e saída foram feitos os balanços de massa. Foram desenvolvidos 3 cenários de estudo baseados nos sistemas comumente praticados no país.

3.4 Avaliação das Opções Tecnológicas do Sistema

A partir do fluxograma de produção de agroindústria associados com o uso de diversas fontes de energia como: lenha, combustão direta de gás natural, combustão com motor adaptado com gás, serão feitas avaliações tanto dos custos como do impacto ambiental de sistema de integração energética, baseado na análise de fluxo de caixa. Serão feitos também estudos de cada cadeia de fontes energéticas, através do cálculo Super Pro Designer vs 4.9.

O cálculo da estimativa dos parâmetros tecno-econômicos do projeto proposto será obtido através de estudos de viabilidade econômica. Também serão feitas avaliações comparativas das estratégias alternativas, levando-se em conta os investimentos em

equipamentos, plantas, custo operacional, taxa de retorno interno e fluxo de caixa. Para isso utilizar-se-á o software desenvolvido pelo nosso grupo.

3.5 Levantamento do Consumo de Energia Elétrica para uma Unidade de Pasteurização com Capacidade de 500L

Foi realizados cálculos do consumo energético para uma capacidade de processamento de 650L leite/dia. Os cálculos foram baseados no consumo total de energia elétrica, consumo de energia elétrica da bomba de calor, motor elétrico de partida e consumo de energia elétrica do banco de gelo (resfriamento).

Para estimativa da demanda de energia elétrica, utilizou-se um relatório "Análises das instalações elétricas em uma empresa rural (produção de leite tipo "B") realizado por Hardoim et al., 2000 que contém o levantamento de uma propriedade rural de 100 vacas e que possui um transformador de energia de 15kVA com os equipamentos de potência e rendimento.

3.6 Levantamento da demanda Térmica dos Processos de Resfriamento e Aquecimento (Pasteurização) do Leite

O sistema de refrigeração foi desenhado tendo como base as etapas de resfriado e na pós-pasteurização. O sistema de aquecimento de água foi desenhado tendo como base as duas etapas, a pré-pasteurização e pasteurização. Para ambos os sistemas utilizou-se os princípios da 1ª Lei da Termodinâmica.

3.7 Seleção e Estudo do Processo de Bioconversão dos Resíduos Sólidos para Produção de Adubo Orgânico, Energia (Biogás) Ração Animal

Diversas configurações de bioreatores serão pesquisadas e adaptadas para acelerar a bioconversão de alta produtividade. O material tratado fornecerá um produto de alto valor comercial para ser usado como condicionador de solo, que é conhecido como substrato orgânico tipo Húmus como subprodutos para melhoria de viabilidade econômica.

Através de estudos e análises comparativas dos bioprocessos de utilização de resíduos sólidos, serão selecionados os processos biológicos de pré-tratamento e biodigestores anaeróbicos de multiestágio com separação sólido, líquido e gás, visando os seguintes enfoques estratégicos:

Baseando-se na tecnologia de aproveitamento da biomassa residual de lixo orgânico municipal em escala industrial, desenvolvida em outros países serão definidos os projetos preliminares de engenharia para aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos para geração de energia com melhoria na viabilidade econômica e projeto desenhado.

3.8 Sistema de Combustão do Biogás

Levantamento de dados referentes a motores de combustão interna e cálculo de balanço de massa e energia usando o simulador Super Pro Designer vs 4.9, proporcionando a obtenção das informações referentes à emissão de poluentes, visando o dimensionamento de queimadores para o biogás, no intuito de melhorar o rendimento energético e minimizar emissões para o meio ambiente com objetivo econômico.

3.9 Sistema de Recuperação de Calor de Combustão

Após a modelagem de processos de recuperação de calor serão realizadas simulações utilizando-se o software Super Pro Designer vs 4.9 visando o desenvolvimento e desenho de trocadores de calor usando cerâmicas de baixo custo, segundo o sistema abaixo.

O calor será aproveitado primeiramente gerando vapor e em seguida ar quente. Para otimizar a recuperação de calor, o sistema de resfriamento pode ser separado em duas etapas:

a) circuito de alta temperatura; e, b) circuito de baixa temperatura. O circuito de alta temperatura é a mais importante fonte de recuperação de calor com possibilidade de gerar vapor de baixa pressão. O circuito de baixa temperatura será feito através de resfriamento com ar, visando o aproveitamento da energia térmica para secagem, possibilitando economia no consumo energético.

3.10 Sistema de Controle de Poluição e Recuperação do CO₂

O sistema proposto de controle de emissão de CO₂, é baseado na recuperação e no seu aproveitamento na forma de adubo líquido, formulada em produtos para usar como nutriente para plantas. Esse aproveitamento é realizado através da estocagem de CO₂ em um tanque de baixa pressão, com recirculação de água sob pressão, para obter adubo carbonatado.

3.11 Modelagem Computacional do Processo de Pasteurização

Com os resultados de balanço de massa dos fluxogramas e pesquisas será simulado o processo proposto neste projeto. Será utilizado o simulador Super Pro Designer vs 4.9 que é um simulador totalmente interativo, o qual combina técnicas avançadas e de fácil aprendizado, por possuir uma interface bastante facilitada, através de menus de fácil compreensão. Ele é constituído de módulos que representam, na quase totalidade, os processos das indústrias químicas, incluindo separadores, trocadores de calor e bioreatores. O Super Pro Designer vs 4.9 oferece uma vasta seleção de métodos para se calcular as propriedades termodinâmicas, incluindo equações de estado, correlações semi-empíricas e modelos de atividade, facilitando a difícil tarefa de desenvolver e desenhar o projeto de processo.

3.12 Modelagem e Simulação do Sistema Proposto para Geração de Energia

Utilizou-se software simulador de processo industrial de última geração para simulação de processo de Bioconversão e planejamento experimental, com metodologia desenvolvida pelo nosso grupo de pesquisa da seguinte sistemática seqüencial técnica. O sistema basear-se-á em simulação de processos utilizado a Bioconversão acelerada de biomassa residual de origens agrícolas para ração e biofertilizantes orgânico visando baixa custo.

De posse de todos os dados do processo, pode-se realizar ensaios de simulação para cálculo dos balanços energéticos e de massa, visando o desenho e a otimização do processo de escala de planta piloto. Foi determinado o volume de dejetos produzidos por 65 vacas confinadas a partir de dados coletados em campo e trabalho publicado. Para isso utilizou-se o Super Pro Designer vs 4.9 que é um simulador totalmente interativo, o qual combina técnicas avançadas e de fácil aprendizado, por possuir uma interface bastante facilitada, através de menus de fácil compreensão. Ele é constituído de módulos que representam, na quase totalidade, os processos das indústrias Bioquímicas, incluindo separadores, trocadores de calor e biorreatores. O BioPro Design oferece uma vasta seleção de métodos para se calcular as propriedades termodinâmicas, incluindo equações de estado, correlações semi-empíricas e modelos de atividade, facilitando a difícil tarefa de desenvolver e desenhar o projeto de processo em escala planta piloto.

3.13 Desenvolvimento de Desenho Inovador para Pasteurização de Leite e Frutas

Foi desenvolvido um sistema para produção simultânea de gelo e água quente. O queimadores serão dimensionados como o objetivo de promover o aquecimento da água tomando-se como base uma produção de 500L de leite.

O compressor empregado tem função de armazenar o biogás produzido no processo de biodigestão. Foi selecionado um motor de combustão interna para o acionamento da bomba de calor.

3.14 Construção de Biodigestor utilizando Placas de Fibra.

Na construção das cisternas com placas de cimento/areia, serão utilizados materiais disponíveis na região. Utilizando uma ferramenta computacional as placas serão projetadas para fácil montagem e transporte. A utilização de cimentos serão reduzidos com a utilização de cinzas e cal, onde o aquecimento solar das placas serão feitas para melhorar a qualidade do produto, suas características mecânicas serão avaliadas por técnicos da UFRN.

Os equipamentos para fabricação das placas são de simples construção e fácil uso além de ser uma técnica de fácil aplicação na região, pois envolve o uso de materiais simples, como cimento, cinzas, cal, gesso, areia e brita, não necessita de mão de obra especializada. O resultado dessa ação é a redução de gastos com mão de obra e materiais, e o ganho ambiental.

3.15 Desenvolvimento de Desenho Inovador de Sistema de Refrigeração com o uso de Energia Elétrica Oriunda de Motor Gerador Acionado por Biogás

O sistema de refrigeração de baixo custo foi desenhado devido a disponibilidade de resíduos para geração de energia elétrica através de geradores acionados com o biogás produzido. Com base dos dados obtidos da modelagem e simulação foi possível estimar o potencial de produção de metano dos dejetos, quando tratado por um biodigestor do tipo indiano, empregando a equação de estimativa produção de metano (1) desenvolvida por GPEC – UFRN. Em que, a estimativa da produção volumétrica de metano do biodigestor, m³/m.d, segundo os fatores:

COV = carga orgânica volumétrica em relação a ST, kg/m³.d,

TEMP = temperatura do biodigestor, °C,

AGIT = emprego da agitação (com = 1, sem = 0).

Usou-se para estimativa da quantidade produzida de metano o tempo de retenção hidráulica de 24 dias, a temperatura média de 25°C e sem agitação. O valor é multiplicado pelo volume do biodigestor, que corresponde ao volume de necessário para o tratamento.

3.16 Modelagem Econômica para o Pasteurização de Leite

A análise e síntese da viabilidade econômica foi obtido com o uso do programa “projeto fácil” que é um software, de linguagem Delphi, com interface com o software Orc2004, no qual os resultados do relatório econômico são analisados automaticamente, através de análise gráfica. Todos os equipamentos tiveram seus custos avaliados quanto a investimento, taxa de retorno e operação e manutenção.

3.17 Estudo de Simulação e Otimização dos Processos

O enfoque sequencial-modular implementa os módulos que representam operações ou etapas de processamento como rotinas computacionais que calculam valores de saída (outputs) a partir de valores de entrada (inputs).

No nosso trabalho de realização de simulação, almejamos definir o sistema de simulação baseado planta piloto, proceder a estimação de dados, modelar os dados obtidos e estudar o efeito dos componentes de sistemas para separação por diferentes processos de operação, visando otimização dos projetos. De fato, as variáveis independentes incluem os valores dos parâmetros dos equipamentos, os valores das correntes de alimentação e de operação, e as variáveis dependentes incluem todas as variáveis intermediárias e do produto do sistema.

Metodologia de pré-tratamento e bioconversão: Com os dados disponíveis sobre pré-tratamentos para bioconversão, a otimização do número de estágios processos serão feitos através de estudos, usando os seguintes bioprocessos: fermentação (bioconversão) aeróbica usando fungo e processo anaeróbico em vez do processo químico.

3.18 Otimização dos Bioreatores para Produção de Energia

Com os dados disponíveis sobre a cinética da bioconversão anaeróbica, a otimização do número de estágios reatores será feito através da programação e simulação em microcomputadores usando os seguintes reatores.

4. REVISÃO BILIOGRAFICA E ESTADO DA ARTE

4.1 PASTEURIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE FRUTAS E LEITE

O Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento segundo a norma nº 51, de 18 de setembro de 2002, estabelece uma serie de exigências não processo de pasteurização devendo ser observado os limites quanto a temperatura e tempo de aquecimento de 72º a 75ºC (setenta e dois graus a setenta e cinco graus celsius) por 15 a 20s (quinze a vinte segundos), bem como na refrigeração subsequente, a temperatura de saída do leite não deve ser superior a 4 ºC (quatro graus celsius);

4.1.1 Uso de Energia Solar no Processo de Pasteurização

Existem inúmeras referencias de pasteurizadores solares porem para purificação de água. Um destes sistemas foi desenvolvido e patenteado pela Safe Water Systems do Havaí, com o nome comercial de Sol*Saver. Os testes conduzidos pelo Centro de Pesquisas de Recursos Hídricos da Universidade de Honolulu consideraram a pasteurização eficaz contra 99,999% das bactérias, vírus e outros vetores de doenças, transmissíveis por via aquosa (<http://www11.agedado.com.br/mvirtual/arquivo/noticias/paus3101.htm>).

O sistema não depende de eletricidade, bombas, químicos ou combustíveis fósseis, o que a torna extremamente interessante para escolas, hospitais, clínicas e outras instalações semelhantes tendo a capacidade de pasteurizar entre 560-750 litros de água.

Na Índia existe uma instalação industrial para processamento de ovos com aquecimento solar e complementado por aquecimento com óleo combustível que fornece 110.000 l/dia de água a 85 ºC (Nagaraju et alii, 1999). A temperatura de entrada da água é de 22ºC e as quantidades de calor requeridas para o processo industrial atingem os 8058 kWh/dia de 8 horas. A temperatura máxima atingida pelo sistema solar é de 94 ºC no mês mais ensolarado e de 67ºC no mês menos ensolarado. São condições de insolação muito similares às encontradas em todo o Centro-Oeste e Nordeste brasileiro. O sistema se compõe de 2560 m² de coletores e 4 tanques de 57,5 m³ isolados termicamente. Uma avaliação econômica simples mostra que a economia de combustível atinge a 78% do consumo caso não existisse o aquecimento solar (Nagaraju et alii, 1999).

4.1.3 Uso do Biogás no Processo de Pasteurização

O sistema de pasteurização no Brasil utilizando biogás ainda é pouco desenvolvido, experiências bem sucedidas podem ser citadas e algumas fazendas de gado leiteiro. Em sistemas de produção de leite bovino os resultados apontam o grande potencial do emprego do biogás nos sistemas na conservação e pasteurização de frutas tropicais e leites, tendo em vista a energia nos dejetos gerados pelos animais, cerca de 33% (Van Horn, 1994). Um exemplo é de uma fazenda que produz, em média, 120 m³ biogás por dia tendo aplicações para aquecimentos da água para ordenha. A idéia é investir na geração de energia elétrica bem como na própria pasteurização do leite. A economia em energia proporcionada hoje através da utilização do biogás na limpeza dos equipamentos de ordenha tem girado em torno de R\$ 280,00 por mês entre outros benefícios (<http://www.coamo.com.br/jornalcoamo/out01/especial.html>).

Em pesquisas realizadas por Jordan, 2004 foi desenvolvido um sistema de bomba de calor para aquecimento e resfriamento de leite visando à racionalização no uso da energia elétrica. O resultados atestam uma boa adequação do método utilizado para o dimensionamento, onde se verificou que os resultados obtidos têm um potencial significativo para o aquecimento de água em laticínios com a recuperação de calor através da utilização de bombas de calor. Com relação à utilização do biogás para acionamento da bomba de calor, os dados até aqui apontam para uma grande viabilidade, mostrando que pode ser possível à substituição total da energia elétrica, tanto para aquecimento, como para resfriamento, resultando em uma grande economia com um investimento relativamente baixo Jordan, 2004.

O autor ainda ressalta como grande o potencial de aproveitamento da carga térmica da água de condensação, quando operando o sistema de refrigeração como bomba de calor nos sistemas de aquecimento e resfriamento (pasteurização). Conforme avaliado, existe a possibilidade de geração de energia elétrica com o uso de gerador elétrico acionado a biogás. A energia elétrica gerada é suficiente para atender a demanda total de energia do sistema de refrigeração que opera no processo de resfriamento de leite, gerando uma economia de aproximadamente 10,1 MWh/mês, com um tempo de retorno do investimento em torno de 28 meses.

4.1.3.1 Efluente industrial, tratamentos e Geração de biogás

A utilização de água pela indústria pode ocorrer de diversas formas, tais como: incorporação ao produto; lavagens de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor; águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos; esgotos sanitários dos funcionários.

Segundo Figueiras, 1990 todas as indústrias, tais como a indústria do leite geram produtos não desejados. Estas águas devem ser tratadas devido o grande potencial contaminante, principalmente devido a presença de matéria orgânica. As características do efluente são: manchas brancas e forte odor proveniente da decomposição anaeróbica.

Em trabalho de Garcia et al, 1996, Costa, 2002 cita as características das águas residuárias da indústria de laticínios onde podemos destacar alguns parâmetros importantes como os elevados níveis de concentração média de DBO (mg/L) e DQO (mg/L), o elevado pH, etc.

4.1.4 Cogeração de Energia no Processo de Pasteurização

Nos países desenvolvidos os sistemas de cogeração é bastante desenvolvidos na indústria. No entanto, seu desempenho em pequena escala é pouco conhecido e documentado. Porém, acontece o contrário com bioconversão e termoconversão, pois é difundida apenas em pequena escala e pouco aplicada em escala industrial no Brasil. A aplicação deste tipo de tecnologia pode é exemplificada por Stout, 1984 que aponta o potencial de conservação de energia nas operações diárias no processamento de leite, nos Estados Unidos, está entre 10-20%. Isto representa só para o processo de pasteurização do leite cerca de 28%. Em estudos realizados por Cortez et al, 1984 e citado por Jordan et al, 2004 apontam o alto consumo de energia elétrica no processo de pasteurização, em fazendas leiteiras no Canadá, alcançando cerca de 16% do consumo total.

No Brasil, a CEMIG, 1989 identificou, em 122 agroindústrias de processamento de leite pesquisadas no Estado de Minas Gerais, um potencial de conservação de energia elétrica médio de 17%.

Estudos realizados por Jordan, 2004 aponta um consumo total de energia elétrica do laticínio em torno de 41,2%. Pode-se verificar a ineficiência do uso de energia elétrica nos processos de resfriamento e aquecimento.

5. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

5.1. Criação de Banco de Dados

Revisão bibliográfica e estudo de estado da arte de biodigestores, energia solar, equipamentos disponíveis no mercado, processos de pasteurização, materiais alternativos para fabricação dos equipamentos, processo construtivo e desempenho operacional térmico e energético em Cd-Rom Internet, revistas, teses, livros, e outros.

5.2. Visitas Técnicas

Foram realizadas visitas para as seguintes comunidades rurais no RN:

- Bebida Velha;
- Pureza;
- Angicos;
- Pendências;
- Goianinha.

5.3 Estudo do processo de pasteurização utilizando energias alternativas

5.4 Elaboração de fluxogramas de balanço de massa e de energia para o sistema d pasteurização

5.5 Estudos de viabilidade técnica dos equipamentos

A partir do desenvolveram-se fluxogramas de processos (balanços de massa) foi feito o estudo da viabilidade técnica e econômica com o desenvolvimento de uma metodologia

computacional. Foi utilizada ferramenta computacional, o software Super Pro Designer vs 4.9, para o dimensionamento e otimização de equipamentos com obtenção de relatório técnico.

5.6 Viabilidade econômica - Estudo de viabilidade para implementação de equipamentos na região rural

Todo o estudo de viabilidade econômica dos equipamentos foi feito para todos os equipamentos com base no diagnóstico levantado. Foram relacionados todos os produtos, processo e locais de implementação dos equipamentos.

5.7 Desenhos inovadores e construção de equipamentos com baixo custo

Os desenhos e a construção dos equipamentos foram baseados no desempenho energético, fácil construção e operação.

5.8 Outras Atividades Desenvolvidas

- Participação em feiras e congressos;
- Apresentação de seminários;
- Elaboração do relatório parcial.

6. RESULTADOS

Com base nos estudos foram elaborados 3 cenários para o sistema de conservação de leite e frutas. Adiante cada um dos cenários serão discutido detalhadamente.

CENÁRIO 1: UNIDADE PLANTA PILOTO PARA MICRO USINAS DE FRUTAS E LEITES COM O USO DE ENERGIA GERADA DO BIOGÁS

Utilizou-se o programa Super Pro Designer vs 4.9 para se encontrar os resultados da simulação do processo de geração de água quente a partir da biodigestão do efluente de uma indústria de leite.

Após a realização da revisão bibliográfica para melhor entendimento do processo, foi feito o fluxograma ver Figura 01 de blocos e de operação para o processo em estudo.

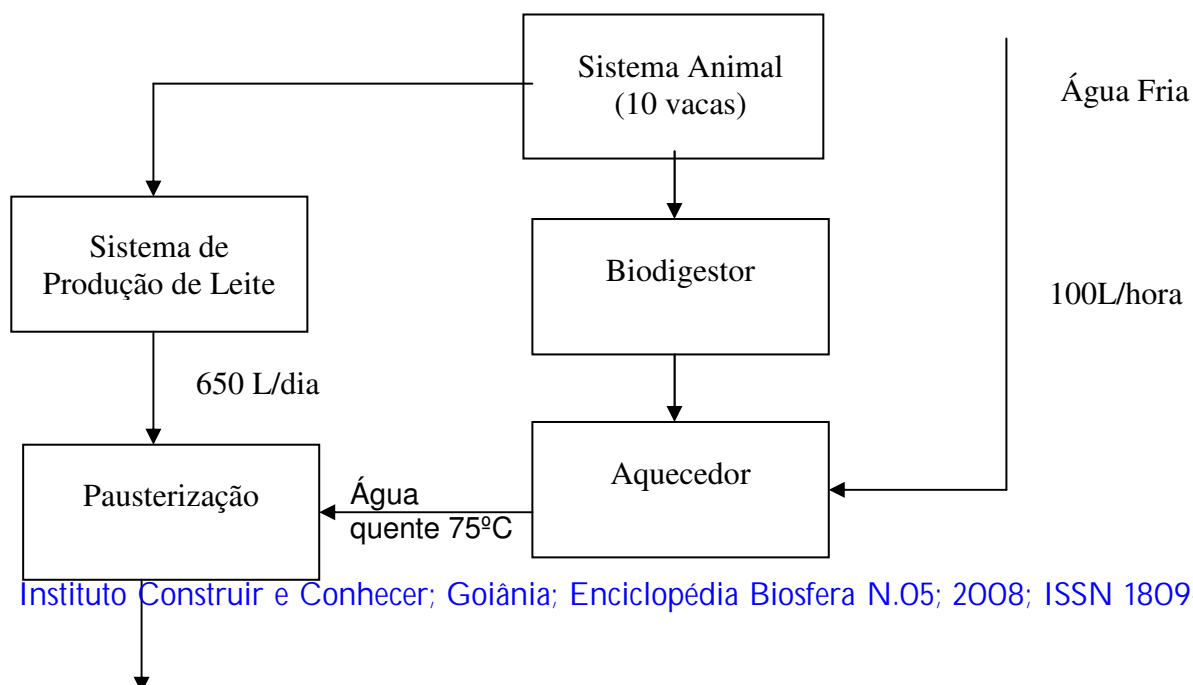


Figura 01 - Fluxograma de pausterização do leite utilizando energia do biogás

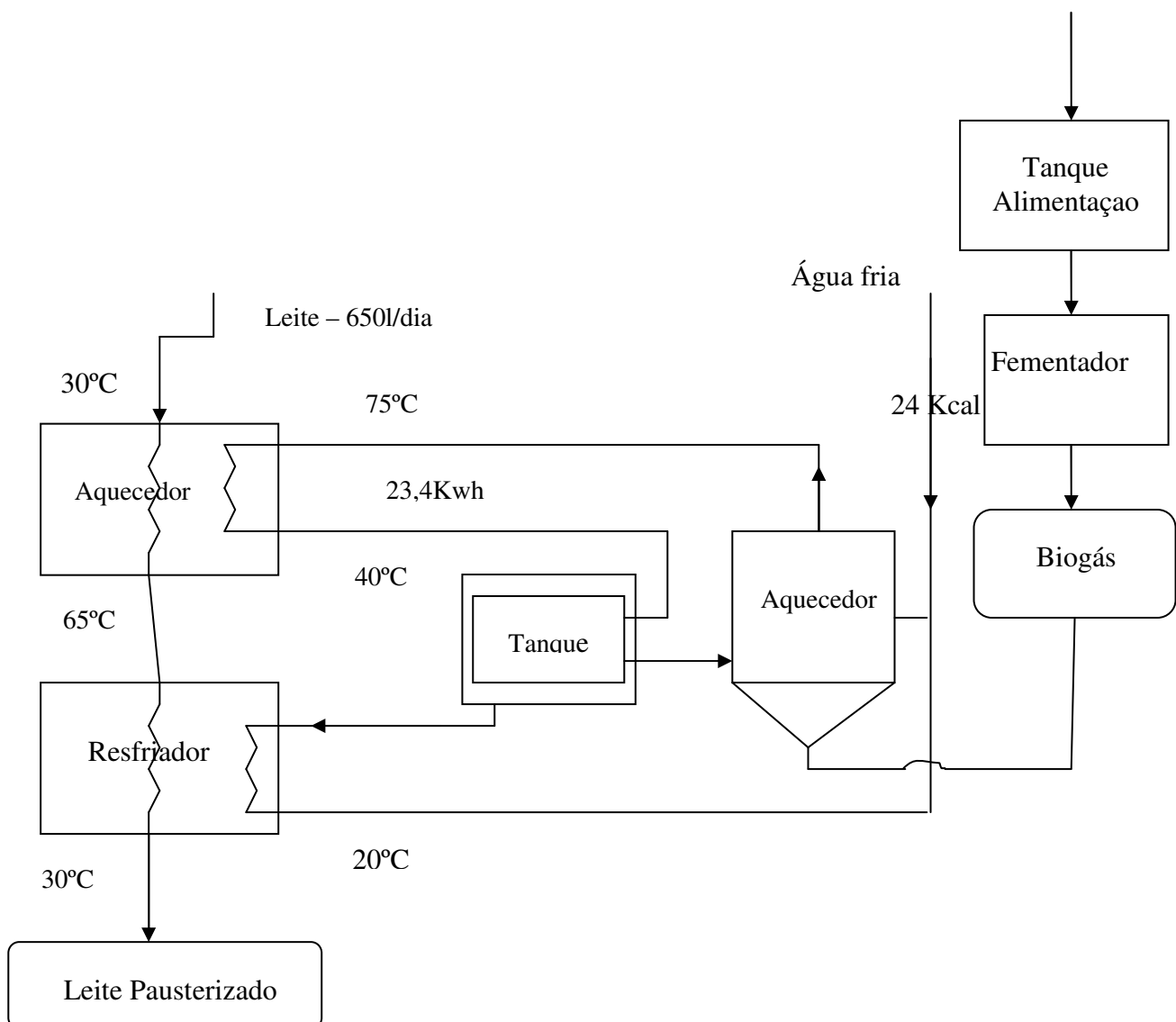


Figura 02 - Fluxograma de projeto de processo para conservação de frutas e leite.

Descrição do Projeto de Processo de Produção de Biogás para Conservação de Frutas e Leite.

O processo de geração de água quente, Constituído pelo sistema de combustão; sistema de biodigestor e sistema de trocador de calor, conforme segue abaixo ver Figura 03.

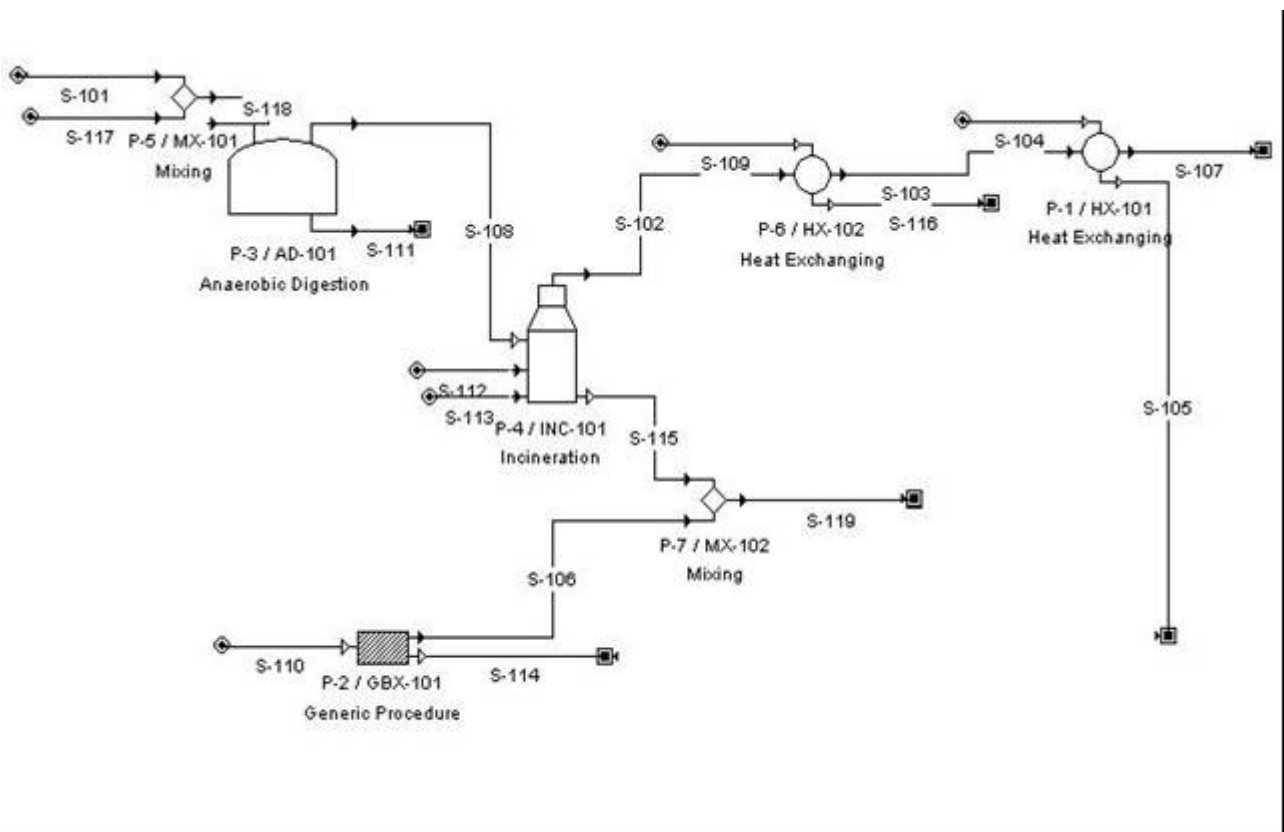


Figura 03 - Fluxograma de processo de biodigestão
Fonte :SPD vs 4.9

Descrição do fluxograma:

- a) Biodigestor: equipamento anaeróbio o qual acontecerá a biodigestão dos resíduos mencionados e conseqüentemente a produção do biogás e do biofertilizante.
- b) Queimador: funciona como aquecedor de ar para a secagem.
- c) Trocadores de Calor: Funcionar como controle de temperatura para o processo da biodigestão.

Estudo do Projeto Econômico

O estudo de planejamento econômico e investimento da planta, para o cenário 1, realizado para o desenvolvimento do projeto, apresentam-se na tabela 01 e 02 e gráficos 01, 02 e 03 abaixo.

Dados dos parâmetros econômicos do cenário.

A Tabela 01 apresenta os custos em equipamentos para uma unidade de produção de 85,3m³ biogás.

Tabela 01 - Especificação dos equipamentos principais e seus custos

Descrição dos Equipamentos	Custo Unitário R\$	Custo total R\$
Biodigestor 15m ³	4.000,00	4.000,00
Queimador (consumo 12Kg/h)	2.000,00	2.000,00
Trocador de Calor 0,002m ²	1.000,00	2.000,00
Custo Total		8.000,00

Fonte: Pesquisa Sansuy, 2004

Tabela 02 - Simulação do custo dos equipamentos.

Resultados de Análise Econômica	
Capacidade de produção Ton / ano	240

Investimento de equipamento R\$	8.000,00
Custo de matéria-prima R\$/ Ton	350
Custo de mão-de-obra R\$/ ano	220.140,48
Taxa de Produção kg/ ano	240000
Custo de operação R\$/ ano	83.000,00
Custo Unitário de Produção R\$/ Kg	0.340
Lucro R\$/ano	389.000,00

Observação: Produção de biogás para 85,3m³.
 Fonte: SPD vs 4.9

Na Tabela 02 observou-se uma taxa de retorno muito alta, apesar dos custos de mão-de-obra, ter apresentado um custo muito elevado, motivo ao qual já foi explicado acima.

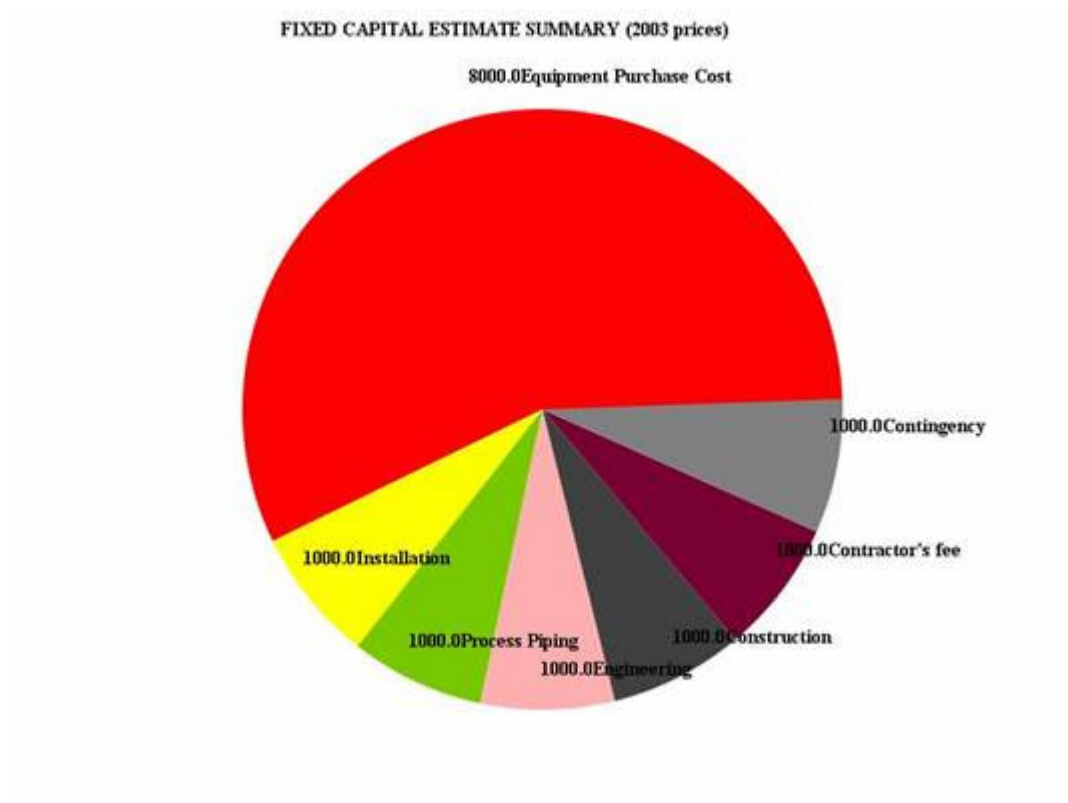


Figura 04 – Gráfico da Análise de Capital Fixo

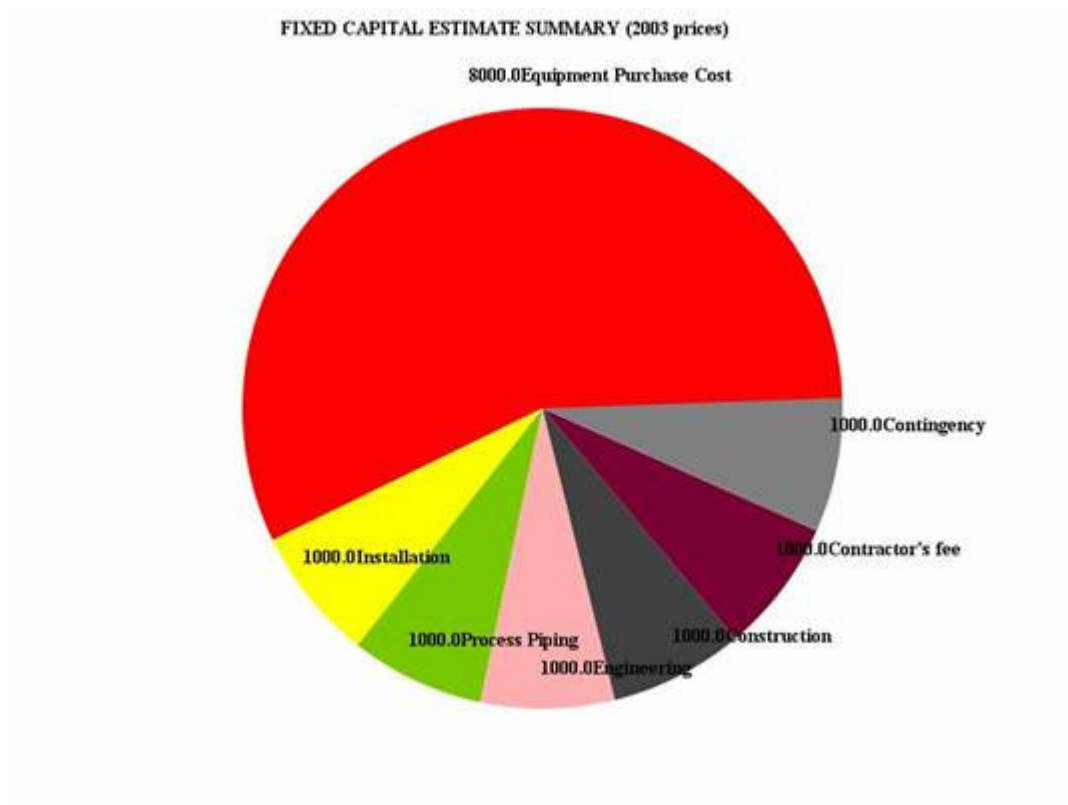


Figura 05 – Gráfico da Análise de Lucro e Investimento

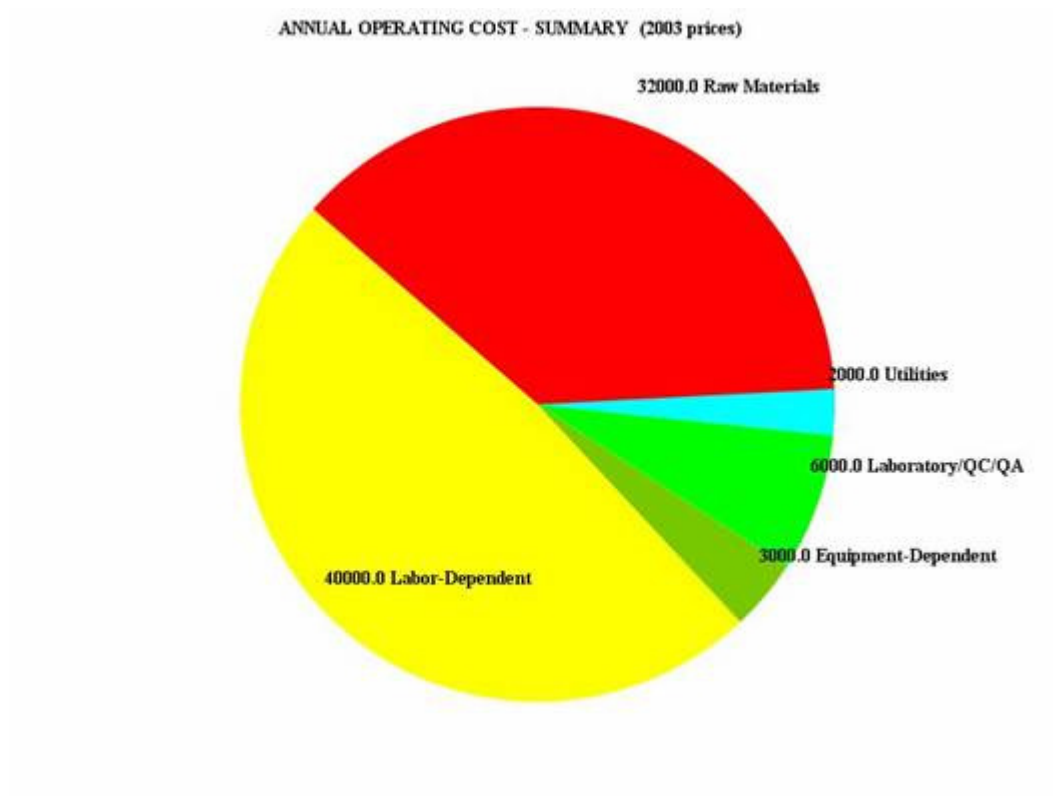


Figura 06 – Gráfico da Análise do Custo Anual

É importante ressaltar que o cálculo da mão de obra ver Figura 05 é calculado individualmente para cada equipamento, ou seja, o valor que foi declarado como custo de manutenção, é aplicado individualmente para cada equipamento, por isso apresentou um valor acima do esperado nos custos com a mão de obra.

CENÁRIO 2: UNIDADE PLANTA PILOTO PARA MICRO USINAS DE FRUTAS E LEITES PARA PRODUÇÃO DE GELO E ÁGUA QUENTE USANDO BOMBA DE CALOR NA PASTEURIZAÇÃO DE LEITE

Descrição do Projeto de Processo de Produção de Biogás para Conservação de Frutas e Leite.

Tal processo no geral consiste nas seguintes etapas ver Figuras 06, 07 e 08: Processo de mistura; Processo de produção de biogás em biodigestor; Sistema de bomba de Calor (Sistema de combustão; Sistema de Compressão; Sistema de Evaporação; Sistema de Condensação); Sistema de armazenagem de Gelo; Sistema de armazenagem de leite frio; Sistema de armazenagem de água (quente).

Detalhes o sistema ver Tabela 03.

Cenário 3_ Sistema de beneficiamento de efluente de leite utilizando biogás e bomba de Calor (Coogeração)

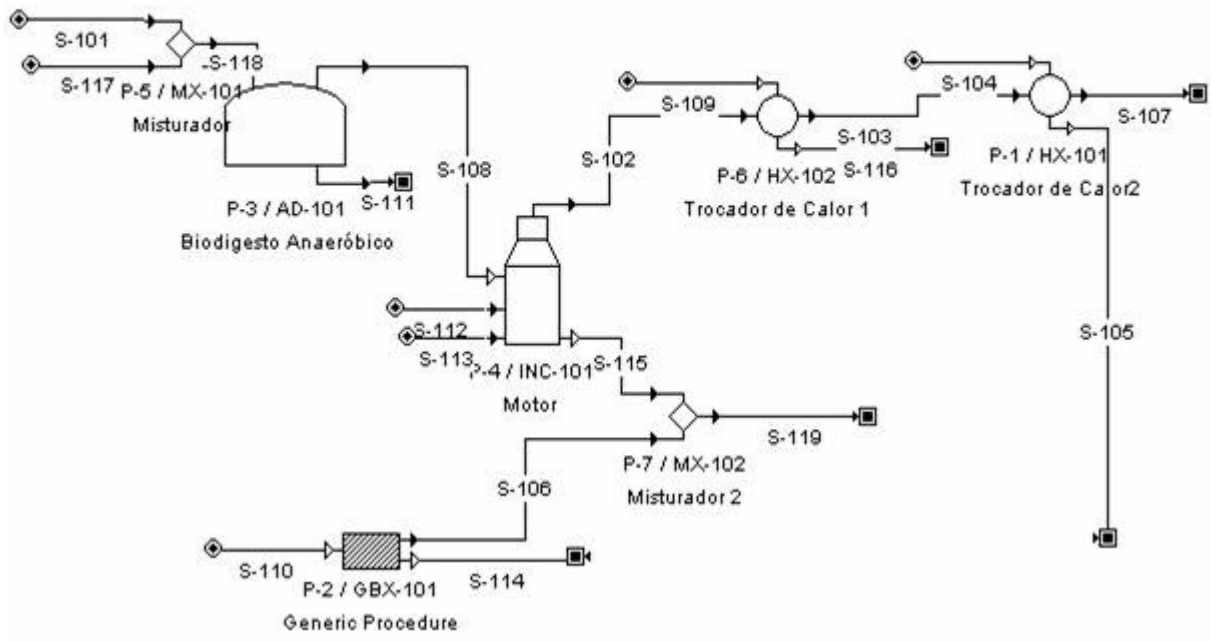


Figura 07 – Fluxograma de processo baseado no modelo de pasteurização com bomba de calor Software simulador Super Pro Designer vs 4.9.
Fonte: Super Pro Designer vs 4.9.

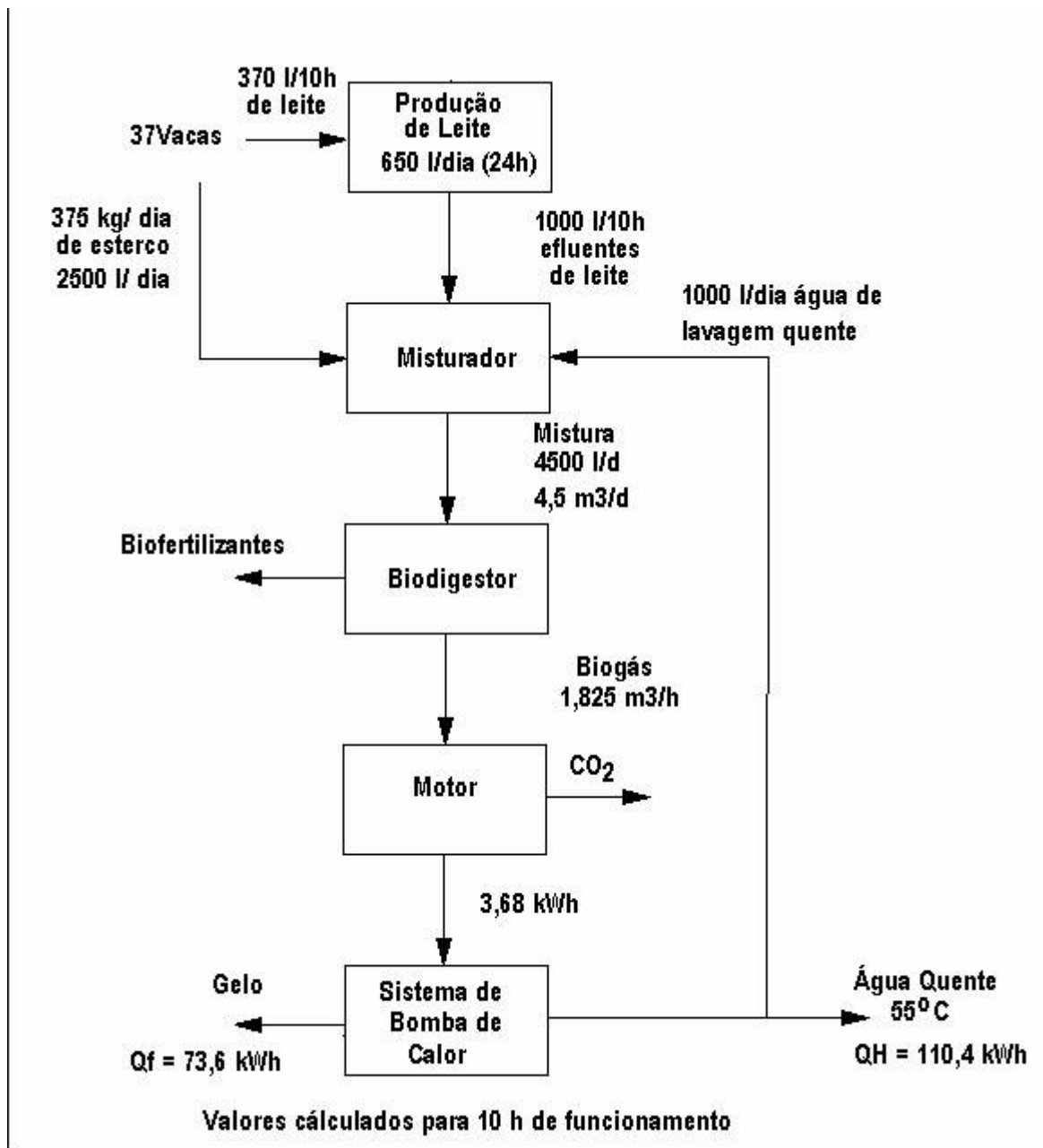


Figura 08 – Fluxograma blocos baseado no modelo de pasteurização com bomba de calor

Mistura – Neste processo existe a mistura inicial dos efluentes de leite (média de 1000 l/d) com o advindo da produção animal do próprio sistema com um volume aproximado de 2500 l (15% sólido) dando um montante aproximado de 375 kg (aproximadamente 37 vacas) e finalmente com a água quente a uma temperatura aproximada de 55° C resultante de um dos produtos do próprio sistema num ciclo fechado reaproveitamento. O processo foi simulado e otimizado com o auxílio de moderna ferramenta de software Super Pro Designer vs 4.9.

Biodigestor - O processo de produção de biogás consiste na utilização dos gases oriundos de efluentes da produção leiteira juntamente com o esterco da produção animal produzido no mesmo sistema, os gases são gerados da decomposição anaeróbica em um biodigestor com aproximadamente 10 m³. O processo foi simulado e otimizado com o auxílio de moderna ferramenta de software Super Pro Designer vs 4.9.

Sistema de combustão (Moto/compressor) - Este modelo foi possível a partir de simulação, onde os gases do biodigestor (Biogás) são queimados em motor/compressor 5 cv para produção de energia cinética de movimento, acionando o evaporador e o condensador do sistema de bomba de calor. O processo foi simulado e otimizado com o auxílio de moderna ferramenta de software Super Pro Designer vs 4.9.

Sistema de bomba de calor - Neste modelo foi possível a partir de simulação, fazer com que os gases do biodigestor (Biogás) que são queimados no motor acoplado ao compressor, serem transformados em carga térmica que será utilizada como principal matéria prima para a geração de subprodutos como gelo e água quente numa quantidade aproximada de 370kg/10h e 1000l/10h respectivamente. O processo foi simulado e otimizado com o auxílio de moderna ferramenta de software Super Pro Designer vs 4.9.

Memorial de Cálculo

Dados: Cenário base dos cálculos: Micro Indústria de leite para produção de 650 l/dia
Tempo total adotado para outros projetos: 30 dias
Tempo adotado para cálculos GPEC: 15 dias
Volume de água quente 55° C (Em 10h): 1000 l /dia
Volume de esterco adotado (Em 10h): 2500 l / dia

Como 15% do esterco é composto por sólido, temos:

$$0,15 \times 2500 = 375 \text{ kg de esterco.}$$

Como para 375 kg de esterco e admitindo-se uma média de 10kg por vaca e uma média de 10 l de leite por dia para cada vaca, temos:

Aproximadamente (Em 10h) 370 l / dia de leite que gera 1110 l de efluentes, próximo de (Em 10h) 1000 l/dia (Adotado).

Logo o volume total do biodigestor (Em m³) será:

$$1000 \text{ l} + 1000 \text{ l} + 2500 \text{ l} = 4500 \text{ l}$$

$$\text{Em 15 dias: } (4500 \text{ l/dia} \times 15 \text{ dias}) / 10000 = 6,7 \text{ m}^3$$

Em 30 dias: $(4500 \text{ l/dia} \times 30 \text{ dias})/10000 = 15 \text{ m}^3$

Volume médio adotado para o modelo GPEC : 10 m^3

Valor aproximado do biodigestor: R\$ 1323,83

Cálculo da demanda térmica:

Dados: Motor ciclo Otto Agrale 5 cv = 3,68 kWh (Adotado para cálculos)

C.O.P = 3,0 (Adotado)

Valor aproximado do Motor: R\$ 793,25

Valor aproximado do Motor (com adaptações para utilização de biogás): R\$ 1000,00

Como :

$C.O.P = QH/WC$ e $WC = QH - QF$

Temos:

$QH = C.O.P \times WC = 11,04 \text{ kWh} = 110,4 \text{ kWh}$ (Em 10h).

$QF = QH - WC = 73,6 \text{ kWh}$ (Em 10h)

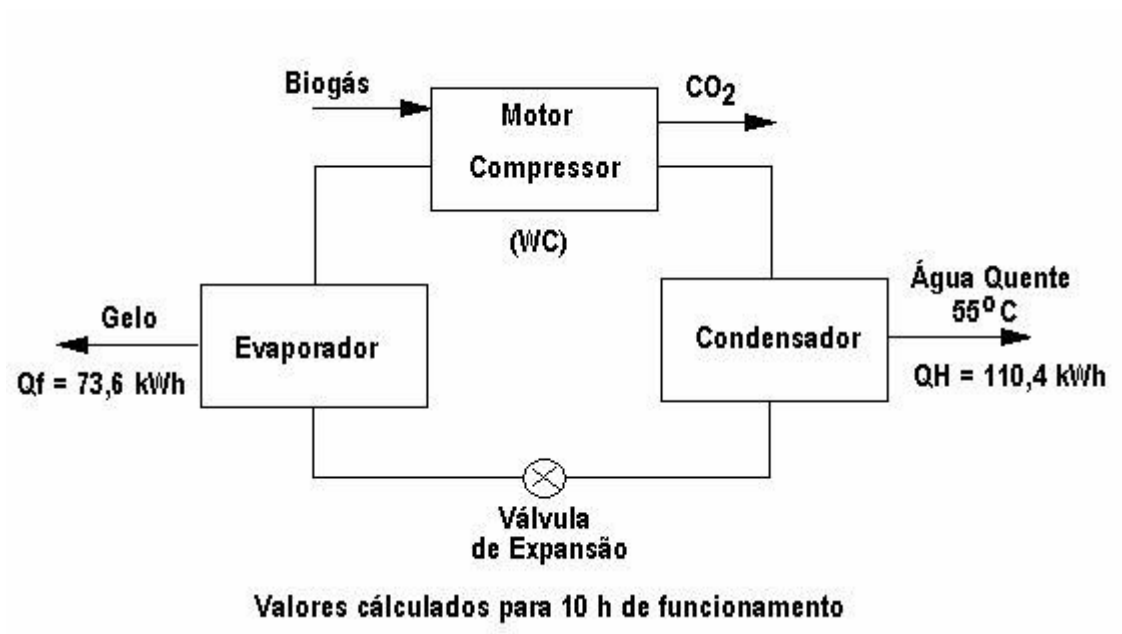


Figura 09 - Fluxograma de blocos do sistema de bomba de calor.

Tabela 03 - Dados dos parâmetros técnicos do cenário 2

Dados operacionais	Simulação (em 10h)
Capacidade de produção de gelo	1000 l/dia (QH = 110,4 kWh)
Capacidade de produção de água quente para lavagem de equip.	55° C (QF = 73,6 kWh)
Tamanho do biodigestor	10 m ³
Motor Bioflex	consumo 3,68 kWh
Bomba de calor	consumo 3,68 kWh
Vida útil da planta	10 anos
Taxa de juros	≈ 23%

Foi gerado também a partir do software Super Pro Designer vs 4.9., uma planilha de custos e a partir dela foram gerados três gráficos para avaliação econômica em pizza através do software Chat, como dispostos a seguir.

Tabela 04 – Dados dos parâmetros econômicos do cenário 2 para produção de 650l/dia

Resultados de Análise Econômica	
Investimento de equipamento R\$	62000
Receita R\$	2409000
Custo de operação R\$/ ano	71000
NPV	10296000

Fonte: SPD vs 4.9

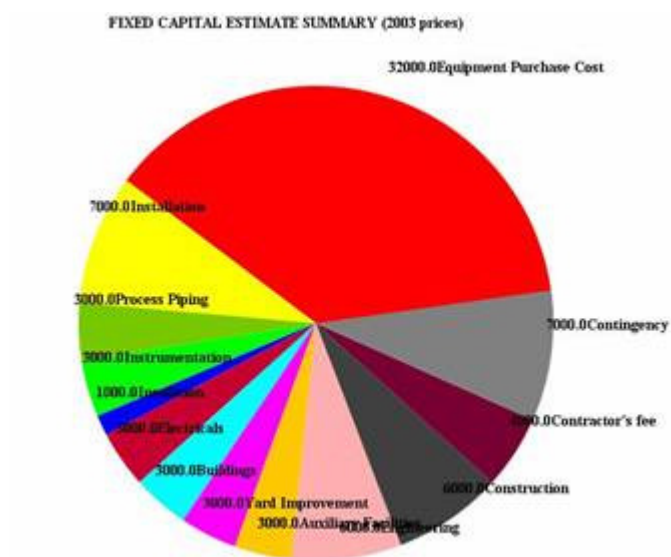


Figura 10 – Gráfico da Análise de Capital Fixo

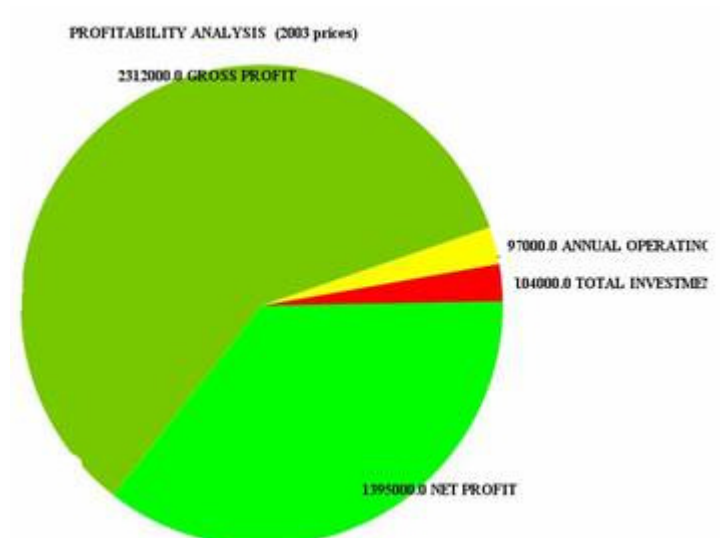


Figura 11 – Gráfico da Análise de Lucro e Investimento

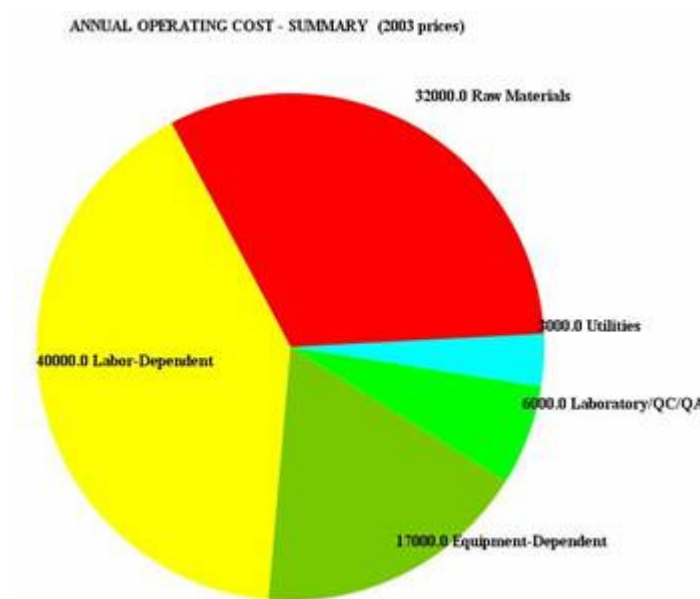


Figura 12 – Gráfico da Análise do Custo Anual

Assim como no cenário 1, os custos mostrados na Figura 12 (Annual Operating Cost – Summary), são relativamente altos porque o software foi programado para relatar os custos para manutenção individual de cada equipamento, o que na prática se torna inviável.

pois necessita-se de um profissional para cada equipamento separado. Logo tais custos podem ter seus valores altamente reduzidos na prática quando se faz necessário um número pequeno de funcionários para manutenção de todo o sistema, principalmente em pequena escala.

CENÁRIO 3: UNIDADE PLANTA PILOTO PARA MICRO USINAS DE FRUTAS E LEITES COM O USO DE SOLAR

Tal processo no geral consiste nos seguintes etapas ver Tabela 05 e Figura 13: Processo de captação da energia solar; Processo de aquecimento; Processo de resfriamento rápido; Estocagem.

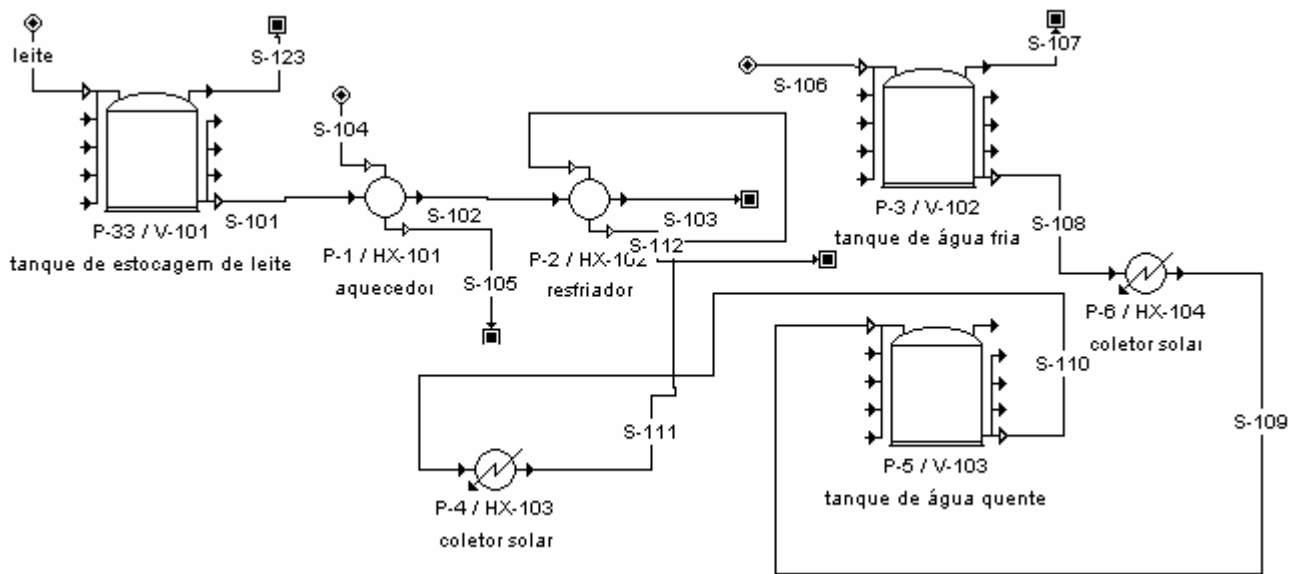


Figura 13 – Fluxograma de processo baseado no modelo pasteurização utilizando coletor solar.

Processo de Captação da Energia Solar – Neste processo utiliza-se um coletor de energia solar plano com uma área de 14m² instalado na posição norte-sul. A escolha desse tipo de coletor se deve ao fato de que a construção é simples e os materiais são facilmente encontrados no mercado, não requer um dispositivo auxiliar de acompanhamento do sol. Apesar do seu rendimento baixo (em torno de 55%) sendo sua eficiência dependente dos seguintes fatores: hora do dia; estação do ano; posicionamento geográfico; condições do céu e condições atmosféricas. Apresenta-se com um custo relativamente baixo tendo em vista os coletores concentradores. O coletor em si é composto de: Uma caixa metálica, de madeira (ou compósito qualquer) ou de alvenaria; Isolamento térmico; Placa e Tubulação de cobre; de cobre; Placa de vidro de 3 mm de espessura e um reservatório com capacidade para 200 l de água. O processo foi simulado e otimizado com o auxílio de moderna ferramenta de software Super Pro Designer vs 4.9.

Processo de aquecimento - Neste processo onde há o aquecimento do leite, iniciando-se o processo de pasteurização, ou seja, o leite é aquecido a uma temperatura de aproximadamente 70° C partindo de uma temperatura inicial ambiente de 28° C através de um trocador de calor que consiste em um recipiente que irá armazenar o produto a ser aquecido(leite) por um determinado tempo em contato com uma serpentina de cobre ou outro material condutor de calor por onde passa a água aquecida proveniente do coletor solar , havendo desta forma a troca de calor por condução.

Processo de resfriamento - Tal processo consiste no funcionamento normal dos equipamentos de resfriamentos convencional, já que o coletor tem como função principal o aquecimento no processo de pasteurização.

Estocagem Final - Consiste no estoque através de tanques ou recipientes apropriados do produto final que é o leite já pasteurizado.

Memorial de cálculo

Cálculos de dimensionamento do coletor solar:

Dados de entrada:

Rendimento do Coletor: R = 55%

Intensidade da Radiação Solar: I = 0,95 cal/cm².min

Temperatura na entrada do coletor: T1 = 28° C

Temperatura na saída do coletor: T2 = 70° C

Tempo de funcionamento do coletor: 6 h/dia

Volume de Leite a ser aquecido: V = 500 l/dia

Resolução:

Para um volume de 500 l/dia temos um volume aproximado de 83,5 l/h

A quantidade de calor necessária para aquecer 83,5 l/h de leite de 28° C à 70° C será de:

$$Q = mC_p\Delta t = (83,5 \text{ kg/h}) \times (1 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}) \times (42^\circ \text{ C}) = 3507 \text{ kcal/h}$$

Sendo a irradiação atinge um valor médio de:

$$I = 0,95 \text{ cal/cm}^2.\text{min} = 57 \text{ cal/ h.cm}^2 = 0,057 \text{ kcal/ h.cm}^2$$

Portanto, a área requerida para o coletor será:

$$A = [Q/(I \times R)] 10000 + 25\% \text{ de } [Q/(I \times R)] 10000 = 14 \text{ m}^2$$

Tabela 05 - Dados dos parâmetros técnicos do cenário3

Dados operacionais	Simulação
Capacidade de aquecimento.	625 litros
Variação de temperatura.	28-70 °c
Tamanho dos coletores	14 m ²
Vida útil da planta	10 anos
Calor fornecido pelo coletor	4374,728 kcal/h

Os resultados do estudo de caso são apresentados na tabela 06 onde estão relatados todos os dados referentes a simulação feita no software Super Pro Designer vs 4.9.

Tabela 06 – Dados dos parâmetros econômicos do coletor solar utilizado no cenário 3

Resultados de Análise Econômica	
Investimento de equipamento R\$	22816000
Custo de operação R\$/ ano	5421000

Fonte: SPD vs 4.9

7. CONCLUSÃO

Com os resultados em mãos, pode-se concluir que a utilização do biogás para a indústria leiteira bem como para qualquer outro setor industrial é viável, desde que se tenha uma quantidade considerável de material.

As simulações feitas mostraram que a operação com o biogás é lucrativa. Do ponto de vista ambiental, este processo também é de grande valor, pois reduz o teor de carbono no efluente, isso é o impacto para o meio ambiente no momento d descarte final será menor.

O projeto apresenta baixo investimento ao alcance para pequenas propriedades rurais e apresenta alta taxa de retorno. O projeto apresentado é um projeto preliminar, necessitando de um projeto mais detalhado com disponibilidade de matéria prima, dimensionamento de equipamentos detalhados especialmente o biodigestor utilizando materiais diferentes como, polímeros, alvenarias e placas.

O projeto proposto de sistema bomba de calor permite a valorização da biomassa residual da indústria leiteira até então desperdiçada ou explorada de forma ineficiente a partir de processo convencional, contribuindo assim para o desenvolvimento e modernização do ambiente no que diz respeito à co-geração de energia através do aproveitamento do biogás e produção de co-produtos.

O sistema para a conservação da indústria de leite, em grande escala e viável, porem para pequenos produtores torna-se um investimento alto.

O projeto proposto de sistema integrado permite a valorização da energia solar o até então não explorada a partir de processo de aquecimento do produto através de coletores solares acoplados ao sistema de pasteurização de leite contribuindo assim para o desenvolvimento e modernização do ambiente no que diz respeito à geração de energia térmica. O sistema envolvendo a inovação em usar simulação de bioprocessos (SPD vs 4.9) industriais modernos, nos setores de energia e meio ambiente favorecendo a ampliação de pequena para grande escala.

A valorização desse sistema e foi conseguido usando desenhos inovadores na parte de processos juntamente com o uso de ferramentas computacionais.

O uso da energia solar tornou o custo de uso de energia elétrica aplicada diretamente no aquecimento do produto na pequena empresa, bastante reduzido e atrativo do ponto de vista econômica e ecológico com o uso de tecnologia em desenvolvimento na nossa pesquisa. Este projeto tem aplicação prática para a área rural e industrial.

Em trabalhos futuros serão realizada estudos mais detalhados de análise de projeto com a utilização de energias alternativas, como também promover a difusão tecnológica em empresas de pequeno e médio porte nos setores de água mineral, laticínios, sucos, entre outras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nagaraji J.; Garud, S.S; Ashok Kumar, K.; Ramakrishna Rao, M. 1 MWth industrial solar hot water system and its performance; Solar Energy; Vol. 39; Num. 5/6, pp 415-420. Elsevier Science Ltd.; Londres; 1999.

Luís Manuel Ferreira de Melo. Simulação da Deposição de Fosfato de Cálcio para Optimizar os Ciclos de Produção em Pasteurizadores de Leite Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia. LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE PROCESSOS, AMBIENTE E ENERGIA – LEPAE, 2002.

Jordan R. A. et al. Bomba de Calor Água-Água Acionada a Biogás para Aquecimento e Resfriamento em Fazendas Leiteiras Visando a Racionalização no uso da Energia Elétrica. 5° AGRENER, Unicamp, São Paulo, 2004.

Cemig. Estudo de otimização energética: setorial laticínios: CEMIG, 1989.

Cortez, L. e Boily, R. La rentabilité des récupérateurs de chaleur du lait. Apresentado no 11e Colloque de Génie Rural, Université Laval, Québec, Canadá. 1984. 45 p.

Fagundes, M. H. Leite: Situação atual e perspectivas para o setor. Conjunturas Agropecuárias, Estudos Especiais. Brasília: CONAB, 2003. 32p.

Disponível em
<<http://www.conab.gov.br/downloads/cas/especiais/LEITE%2026%20AGOSTO.pdf>>. Acesso em: 27 Ago. 2003.

Junior, R. B. et al. Consumo de Energia Elétrica de um Laticínio Tipo “A” e Estudo de Racionalização do uso de Energia Elétrica nos Processos de Resfriamento de Leite e Aquecimento de Água: Um Estudo de Caso. 5° AGRENER, Unicamp, São Paulo, 2004.

Stout, B. A. Energy – Use and Management in Agriculture. Breton Publishers, North Scituate. Massachussets, 1984, 318p.

Bentancurt, J. J. V. et al. Aquecimento Solar para Fabricação de Queijo. Resultados Preliminares de Teste de Protótipo. 5° AGRENER, Unicamp, São Paulo, 2004.

Disponível em
<<http://www11.agemado.com.br/mvirtual/arquivo/noticias/paus3101.htm>>. Acesso em: 08 Mar. 2005.

Disponível em
<<http://www.coamo.com.br/jornalcoamo/out01/especial.html>>. Acesso em: 08 Mar. 2005.

Figueiras, C. V. Gestion de residuos y tratamiento de águas residuales. Informacion tecnológica, 1 (1), 56-66, 1990

Van Horn, H. H., Wilkei, A C., Powers, W.J., Nordstedt, R. A. Components of dairy manure management systems. Journal Dairy Science, v.77(7) p.2008-30, 1994.

Garcia, J. C. et al. Operación de plantas discontinuas sequenciales para tratamiento biologico de aguas residuales de industria lacteas. Informacion Tecnologica, 7 (2), 22-34, 1996.

Hardoim P. C. et al. Avaliação do potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite. An. 3. Enc. Energ. Meio Rural (AGRENER), Sept.,2000.