Bruno Rogora Kawano

Otimização na Indústria de Laticínios:

Oportunidades de eficiência energética e econômica

33/2013

Campinas

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO ROGORA KAWANO

Otimização na Indústria de Laticínios: Oportunidades de eficiência energética e econômica

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Barros Correia

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO(A) ALUNO(A) BRUNO ROGORA KAWANO
....., E ORIENTADA PELO(A) PROF(A). DR(A) Paulo de Barros Correia

ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

CAMPINAS
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

K179o

Kawano, Bruno Rogora
Otimização na Indústria de Laticínios: Oportunidades de Eficiência Energética e Econômica / Bruno Rogora Kawano – Campinas, SP: [s.n.], 2013.

Orientador: Paulo de Barros Correia.
Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Eficiência energética. 2. Indústria de laticínios. 3. Energia. I. Correia, Paulo de Barros. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês:	Optimization in dairy industry: opportunities for energy and economic efficiency
Palavras-Chave em Inglês:	Energetic efficiency; Dairy farming industry; Energy.
Área de Concentração:	
Titulação:	Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos
Banca Examinadora:	Waldyr Luiz Ribeiro Gallo e Walkiria Hanada Viotto.
Data da Defesa:	22/02/2013
Programa de Pós-Graduação:	Planejamento de Sistemas Energéticos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

Otimização na Indústria de Laticínios: Oportunidades de eficiência energética e econômica

Autor: Bruno Rogora Kawano
Orientador: Prof. Dr. Paulo de Barros Correia

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof. Dr. Paulo de Barros Correia , Presidente
Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Waldyr Luiz Ribeiro Gallo
Universidade Estadual de Campinas

Profª. Drª. Walkiria Hanada Viotto
Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 22 de fevereiro de 2013.

Dedico este trabalho aos meus pais Juçara Tância Rogora Kawano e Hiroma Kawano e meus irmãos Rafael Rogora Kawano e Diogo Rogora Kawano e a todos os meus amigos e familiares que contribuíram de forma direta e indireta para a realização desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais Juçara e Hiroma e irmãos Rafael e Diogo e toda minha família e amigos pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Paulo de Barros, não somente pela excelente orientação, mas também pela amizade que se iniciou e pelo aprendizado fora do contexto acadêmico.

As para sempre amigas e colegas de Unicamp Jéssica, Regi, Elisa, Bruna e Natália, que me sempre me ajudaram e pela amizade construída também fora da Unicamp.

Aos professores Waldyr Luiz Ribeiro Gallo, Walkiria Hanada Viotto, Arnaldo Walter e Mirna Lucia Gigante pelas correções e ajuda no norteamento da dissertação.

Aos amigos de sempre Arlete Barneze, Robson Martinez e Roberto da Silva´. Também à Giana Mores, grande amiga e pela excelente oportunidade de poder apresentar meu trabalho em sua disciplina na Unochapeco.

Ao Paulo Silva e Rafael Silva pela parceria de sempre e companheirismo na contribuição do artigo enviado ao CBPE.

Ao Marcelo André pela ajuda np forneciento de dados e pela amizade construída.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

A todos os professores e colegas e funcionários do departamento, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

A curiosidade é a melhor matéria-prima do conhecimento

RESUMO

A Indústria de Laticínios no Brasil tem buscado cada vez mais a utilização de novos métodos que possibilitem o aumento da eficiência, tanto da área técnica, quanto da área econômica, sendo que esta última acaba sendo, muitas vezes, consequência da obtenção da primeira. Este esforço no setor foi realizado no Brasil principalmente depois da maior abertura do pais à empresas multinacionais ocorrida nos anos de 1990, o que fez aumentar a competitividade empresarial entre elas, sendo este fator determinante para que as indústrias de laticínios sobrevivessem a este novo cenário que se instalou. Este trabalho visa à avaliação do potencial de ganhos em eficiência energética na indústria de laticínios, que pertence ao setor de Alimentos e Bebidas. Para tal, analisou-se a aplicação de ferramentas da engenharia econômica e da otimização sendo que foi desenvolvido três Estudos de Caso. No primeiro estudo de caso, analisou-se uma análise de viabilidade técnico-econômica da substituição de motores elétricos de um laticínio, tudo isto a partir de dados reais coletados de uma grande indústria de laticínios. No segundo estudo de caso, estudou-se a otimização por meio da maximização da Margem de Contribuição (MC) de uma amostra de 6 produtos, cuja coleta de dados foi obtida de um laticínio de médio porte. No terceiro estudo de caso, utilizou-se o mesmo modelo do laticínio do segundo estudo caso, com a diferença que se analisou a maximização da margem de contribuição dos produtos em que utilizou-se, na sua linha de produção, o aproveitamento de calor residual da caldeira para aquecimento de água a fim de ser utilizada nos diversos processos produtivos do laticínio. Os três casos analisados obtiveram resultados satisfatórios tanto no quesito da avaliação energética quanto na avaliação econômica.

Palavras-Chave: Eficiência energética ; Indústria de laticínios ; Energia.

ABSTRACT

The Dairy Industry in Brazil has sought increasingly using new methods that enable increased efficiency, both from the technical area, as the economic area, the latter of which ends up being often a result of winning the first. This effort was undertaken in the sector in Brazil especially after the opening of the country to the largest multinational corporations occurred in the 1990s, which increased business competitiveness between them, which is a determinant factor for the dairy industry to survive in this new scenario that settled. This study aims to evaluate the potential gains in energy efficiency in the dairy industry, which belongs to the Food and Beverage Industry. To this end, it was analyzed the application of tools of economic engineering and optimization that was being developed three case studies. In the first case study, it was analyzed an analysis of technical and economic feasibility of replacing electric motors of a dairy, all from real data collected from a large dairy industry. In the second case study, it was studied the optimization by maximizing the contribution margin (CM) of a sample of 6 dairy products, which data collection was obtained from a dairy midrange. In the third case study, it was used the same model for the plant in the second case study, with the difference that is considered to maximize the contribution margin of the products that we used in its production line, the use of waste heat boiler for heating water to be used in the various processes of the dairy. The three cases analyzed satisfactory results both in the question of how much energy assessment in the economic evaluation.

Keywords: Energetic efficiency; Dairy farming industry; Energy.

LISTA DE FIGURAS

2.1 Consumo de energia por setor 19
2.2 Etapas de um Diagnóstico Energético 25

3.1 Etapas do processo produtivo em um laticínio 29
3.2 Etapas do processo produtivo do queijo 34
3.3 Etapas do processo produtivo do iogurte 35
3.4 Etapas do processo produtivo do leite UHT 38
3.5 Etapas do processo produtivo do requeijão 40
3.6 Etapas do processo produtivo do creme de leite 41

4.1 Aspectos ambientais na produção de produtos lácteos 46
4.2 Processo de recuperqmùqo de soro 54

5.1 Modelo matemático no Solver contendo restrições e dados principais 61
5.2 Demonstração da construção da restrição R1 62
5.3 Demonstração da contrução da restrição (R2) 63
5.4 Demonstração da construção da restrição (R6) 63
5.5 Demonstração da contrução da função objetivo 64
5.6 Figura representativa da adição das restrições e maximização do problema 64
5.7 Restrições no modelo de otimização 65
5.8 Resultado das quantidades de produtos a serem produzidas 65
5.9 Relatório de Resposta 66
5.10 Aumento da capaciadde produtiva do leite desnatado tipo Longa Vida 66
5.11 Cenário 3 no Solver do Excel 67

6.1 Distribuição de energia na fábrica e representatividade dos motores elétricos no consumo de energia elétrica. 70
6.2 Custo dos motores pela potência e rotação cujos dados foram obtidos a partir de dados de cotação com fornecedor da empresa WEG 71
6.3 Análise de sensibilidade do VPL 74

LISTA DE TABELAS

1.1 Potencial de conservação de energia BEU (1000 tep/ano) por setor 4
1.2 Potencial de conservação por ano em eletricidade em setores industriais selecionados . 4

2.1 Desembolsos do BNDES para projetos de eficiência energética 16
2.2 Aplicações dos programas de eficiência energética no setor industrial 17
2.3 Faturamento dos segmentos produtivos do setor de Alimentos e Bebidas 18
2.4 Produção anual, em mil toneladas, da indústria de leite e derivados 19
2.5 Potencial de economia de energia por setor industrial 21

4.1 Distribuição do consumo de água na indústria por atividades 51

6.1 Custo de manutenção por tipo de manutenção 71
6.2 Retorno econômico dos investimentos 73
6.3 Margem de contribuição e rendimento de cada produto analisado 78
6.4 Quantidade ótima de produção obtida dos resultados do Solver no primeiro cenário . . 81
6.5 Quantidade ótima de produção obtida do Solver no segundo cenário 82
6.6 Margens de Contribuição nos Cenários 1 e 2 82
6.7 Margens de Contribuição no Cenário 3 83
6.8 Resultado das quantidades maximizadas de produtos a serem produzidos no Cenário 3 83
6.9 Quantidade de água consumida por litro de leite processado nos países 85
6.10 Consumo de água total e água aquecida por L de leite processado estabelecido para os produtos analisados 86
6.11 Dados de consumo e quantidade em L e em R$ de água quente a ser utilizada 87
6.12 Valor final da Margem de Contribuição em R$ 87
6.13 Nova Margem de Contribuição MC dos produtos em RS/Kg ou L de produto 88
6.14 Resultado do Solver para novas quantidades de produtos a serem produzidos 88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Justificativa 1

1.2 Objetivo 6

1.3 Estrutura da Dissertação 6

2 EFICIÊNCIA ECONÔMICA E ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA 8

2.1 Estratégias de aumento da eficiência econômica na indústria 8

2.2 Eficiência energética na indústria 12

2.2.1 Programas de eficiência energética no Brasil 12

2.2.2 Eficiência energética na indústria de alimentos e bebidas 17

2.2.3 Metodologias de auditoria energética 24

3 ASPECTOS DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS 28

3.1 Agronegócio do leite 28

3.2 Processo de produção de laticínios 29

3.2.1 Etapas de produção de queijo 33

3.2.2 Etapas de produção de iogurte 34

3.2.3 Etapas de produção de leite Longa Vida 37

3.2.4 Etapas de produção do requeijão 39

3.2.5 Etapas de produção do creme de leite 41

3.3 Considerações acerca de eficiência energética em processos produtivos em laticínios 42

4 SUSTENTABILIDADE E REAPROVEITAMENTO DE PRODUTOS NO PROCESSO PRODUTIVO NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS 45

4.1 Sustentabilidade na indústria de laticínios: a questão ambiental 45

4.2 Reaproveitamento da água na indústria de laticínios 50

4.3 Reaproveitamento da soro na indústria de laticínios 52

5 OTIMIZAÇÃO E FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS 55

5.1 Formulações matemáticas do Caso 1 55

5.2 Formulações matemáticas do Caso 2 e 3 57

6 ESTUDOS DE CASO 68

6.1 Estudo de caso 1: Estudo de viabilidade técnica-econômica de substituição de motores elétricos em laticínio 68

6.1.1 Introdução 68

6.1.2 Materiais e Métodos 69

6.1.3 Custo dos motores - Investimento 70

6.1.4 Custo de manutenção dos motores 70

6.1.5 Análise técnica 72

6.1.6 Resultados e Discussão 73

6.1.7 Conclusões 76

6.2 Estudo de caso 2: Otimização da margem de contribuição de um laticínio 77

6.2.1 Materiais e Métodos 77

6.2.2 Resultados e Discussão 78

6.2.3 Conclusões 84

6.3 Estudo de caso 3: Otimização do custo energético em um laticínio de pequeno porte 84

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 90

7.1 Conclusão 90

7.2 Sugestões para trabalhos futuros 94

REFERÊNCIAS 95

APÊNDICE - MANUAL PRÁTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA PEQUENOS LATICÍNIOS 100

A.1 Introdução 100

A.2 Boas práticas para aumentar a eficiência energética em laticínios 100

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Nos últimos anos, poucos países tiveram um crescimento tão expressivo no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil. Os números mostram que em 1993, as exportações do setor eram de US$ 15,94 bilhões, com um superávit de US$ 11,7 bilhões. Em dez anos, o país dobrou o faturamento com as vendas externas de produtos agropecuários e teve um crescimento superior a 100% no saldo comercial (IBGE, 2011).

Segundo dados do IBGE, a produção brasileira de leite cresceu cerca de 4,5%, passando de 30,7 bilhões de litros em 2010 para 32,1 bilhões de litros em 2011. Com isso o Brasil lista na terceira posição dos maiores produtores de leite do mundo, ficando atrás somente da Índia e dos Estados Unidos, que produziram cerca de 52,5 milhões e 88,6 milhões de toneladas métricas cada, respectivamente.

A Rússia, que ocupava a terceira posição em 2010, registrou queda na produção em 2011 e agora figura na quarta posição, com 31,7 milhões de toneladas métricas. A China ocupa a quinta posição, com 30,7 milhões. No entanto, a produtividade média do rebanho no Brasil por ano, que é de 1.260kg/vaca, segundo Zoccal (2009), está muito abaixo da produtividade média mundial, que é de 2.133 kg/vaca por ano.

O Brasil, foi superado pela maioria dos países sul-americanos em 1998, por exemplo, a Argentina tem uma produtividade média de 2.559 kg/vaca por ano, o Uruguai apresenta uma produtividade de 1.667 kg/vaca por ano, o Chile tem uma produtividade de 1.917 kg/vaca por ano. Logo, a produtividade do rebanho brasileiro ainda é considerada muito baixa em comparação a da União Europeia, que é de 5.579 litros/vaca/ano, e a dos Estados Unidos que é de 7.559 litros/vaca por ano (PIMENTEL, 1998).

Outro desafio a ser superado na indústria de laticínios no Brasil é a redução da capacidade ociosa nas plantas industriais. Isso se deve principalmente à questões de conjuntura econômica não favoráveis à produção industrial em determinados períodos que podem se estender por meses durante o ano. Outra razão para elevados índices ociosidade neste setor é a falta de planejamento

e dimensionamento no momento da instalação da planta industrial, seja ela de pequeno, médio ou grande porte, o que acaba acarretando em prejuízos e muitas vezes na inviabilidade do negócio em médio e longo prazos.

Um outro entrave para que o Brasil se torne um grande ator no cenário mundial de produção de leite são as relativas baixas produtividades industriais processadoras de leite, principalmente as de pequeno e médio portes. Dessa forma, analisar mais profundamente os gargalos do setor industrial do leite pode ser uma das alternativas para que o país inverta esse cenário negativo.

Dados do Cepea (2009) demonstram que quando analisa-se dados de agroindústria do leite, este segmento amargou queda da renda entre os anos de 2001 e 2009. O montante de R$ 16,9 bilhões em renda gerados em 2001 foi reduzido para 7,6 bilhões em 2009, com recuo de 55,0%. O maior valor gerado foi em 2005, quando chegou a R$ 18,9 bilhões, caindo, abruptamente, no ano seguinte. Em 2006, houve queda de produção de queijo e leite UHT, assim como recuo generalizado de preços ao consumidor para os derivados de leite.

Um dos principais fatores para que isso tenha ocorrido foi o aumento das despesas dos produtores na agroindústria. Os anos de 2002, 2006 e 2009 foram decisivos para esse desempenho negativo. Para o conjunto do período, as receitas reais elevaram-se em apenas 2,67%, crescimento que pode ser debitado à ampliação do faturamento com leite UHT em pó e manteiga. Para os produtos de leite pasteurizado e de queijos, houve recuo de receitas em função da menor produção desses derivados.

As despesas aumentaram 60,9% em termos reais, entre 2001 e 2009, não só em função do maior volume de leite processado, mas também pelo maior preço pago ao produtor - elevação de 12,6% em termos reais. Segundo o Cadastro Geral de Empresas do IBGE, em 2007 existiam 9.751 unidades locais de processamento de leite.

De acordo com dados do Sistema de Recuperação Automática do IBGE, o Valor Bruto da Produção Industrial (VPBI), é relacionado à variação dos estoques dos produtos acabados e em elaboração e à produção própria realizada para o ativo imobilizado, este valor em se tratando do Brasil atingiu, em 2008, a marca de R$1,6 tri, sendo que a Indústria de Alimentos e Bebidas chegou a R$256 bi e na subcategoria da Indústria de Laticínios atingiu R$28 bi. Nota-se portanto o tamanho que em termos de VPBI a participação da Indústria de Laticínios em relação aos valores totais do país 1,75%.

Dessa forma, atualmente, um dos principais desafios da agroindústria do leite é a redução

de custos e um dos principais setores-alvo nesta empreitada é a redução de custo energético que envolve a otimização do sistema energético, que vai ser estudada nesta dissertação. Está no setor de refrigeração, segundo Cemig (2008), o maior potencial para o uso racional da energia elétrica na indústria de leite. Em função da capacidade de produção, a participação do sistema de refrigeração chega a 35% do consumo global de energia elétrica neste ramo industrial, necessitando, assim, de cuidados especiais no projeto, na instalação e manutenção dos conjuntos frigoríficos, visando a conservação de energia elétrica.

Como na grande maioria dos consumidores do segmento industrial, a maior parcela da energia elétrica consumida nas indústrias do setor de laticínios é utilizada para o acionamento de motores elétricos de indução, chegando a representar 89% do consumo global do setor (**??**). De toda a energia elétrica consumida pelos motores, uma parcela considerável é perdida nos sistemas de transmissão de movimento (redutores, polias e correias) e, principalmente, no próprio processo de conversão eletromecânica da energia. Assim, justifica-se um maior esforço em estudos e análises de eficiência energética em laticínios nas áreas que dizem respeito à economia de energia elétrica, principalmente nos setores de refrigeração, que inclui o consumo de energia de motores elétricos.

Não há dúvidas quanto ao predomínio do ar condicionado sobre a refrigeração industrial no que diz respeito ao número de unidades instaladas e volume de vendas por exemplo. Entretanto, apesar da inferioridade comercial observada, a refrigeração industrial envolve uma indústria atuante e tem reservado um papel fundamental na sociedade moderna e devem ter, portanto, a atenção dos gestores de energia para aplicações de ações de eficiência energética neste setor.

A experiência acumulada ao longo desses anos evidencia que é possível, de fato, "retirar"uma parcela do consumo de energia por meio de iniciativas na área de eficiência energética. O consumo final energético no Brasil atingiu 211,7 milhões de tep no ano de 2008. Com base no Balanço de Energia Útil (BEU), é possível estimar que, considerando as tecnologias disponíveis no mercado, há um potencial de eficiência energética que corresponde a 8,6%, (EPE, 2009).

Ainda segundo este estudo da EPE, mais da metade do potencial de eficiência energética no Brasil, conforme as estimativas realizadas a partir do BEU, encontra-se no consumo das famílias (setor residencial) e das indústrias, que, em 2008, representaram juntos quase 60% do consumo final energético do país (exclusive setor energético). Esses setores são naturalmente elegíveis para uma abordagem mais detalhada da eficiência energética implícita na projeção da demanda de energia.

Segundo o Balanço de Energia Útil, MME (2005), que disponibiliza uma ferramenta que

permite o cálculo de potenciais de conservação de energia a partir de coeficientes técnicos, permite comparar a eficiência verificada nos processos energéticos com valores referenciais que corresponderiam, conforme já assinalado, às melhores tecnologias disponíveis comercialmente.

Utilizando-se os valores apurados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no Balanço Energético Nacional (BEN) para o ano base 2008 e os parâmetros técnicos do BEU, válidos para 2004, pode-se calcular o potencial de conservação para todas as formas de energia, cujos valores estão na Tabela 1.1. Em termos de quantidade de energia conservada, o maior potencial encontra-se no setor industrial, embora também mereçam destaque os valores calculados para os setores de transporte e residencial.

Tabela 1.1 - Potencial de conservação de energia BEU (1000 tep/ano) por setor

Uso Final	RES	TRANSP	INDUST	ENERG	TOTAL
Força motriz	22,6	4.817,0	591,6	641,3	6.361,7
Calor de proc.	49,2	0,0	1.962,6	1.347,7	3.446,9
Aquec. direto	1.819,2	0,0	3.085,7	50,6	5.133,2
Refrigeração	357,3	0,0	111,5	0,0	663,3
Iluminação	894,3	0,0	76,6	36,8	1.575,4
Eletroquímica	0,0	0,0	150,5	0,0	150,5
TOTAL	3.142,6	4.817,0	5.978,6	2.076,4	17.330,9

Fonte: (EPE, 2009)

Em 2009, segundo uma pesquisa elaborada pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI), conforme observa-se na Tabela 1.1, o potencial de conservação de energia elétrica na indústria avaliado equivale a uma usina hidrelétrica com 6.500 MW de potência instalada. Isto é equivalente a todo o consumo de energia elétrica dos grandes consumidores industriais da rede interligada do subsistema Sudeste/Centro-Oeste previsto para o ano de 2009.

Tabela 1.2 - Potencial de conservação por ano em eletricidade em setores industriais selecionados

Uso de Energia	1000 tep	GWh	Subsetores
Força motriz	2.032,4	23.640	Alimentos e Bebidas, Siderurgia, Mineral
Refrigeração	46,6	540	Alimentos e bebidas, Têxtil, Químico
Fornos elétricos	370,9	4.310	Siderurgia, Minerais não ferrosos
Eletrólise	191,4	2.230	Metais não ferrosos, Papel e Celulose
Iluminação	60,2	700	Alimentos e bebidas, Têxtil, Extrativa
Outros usos	2,4	30	Extrativa mineral
TOTAL	2.703,9	31.450	

Fonte: (EPE, 2009)

Como pode-se observar na Tabela acima, o setor de Alimentos e Bebidas, dentro do qual está

incluso a indústria de laticínios, possui grande potencial de conservação de energia nos usos de força mortriz, refrigeração e iluminação.

De acordo com o cenário macroeconômico de referência, estima-se que em 2030 o consumo de energia elétrica no Brasil supere o patamar de 1.080 TWh (terawatt-hora), perfazendo uma expansão média de 4% ao ano no período considerado. Note-se que essa projeção inclui uma parcela de eficiência energética referente ao progresso autônomo, isto é, ao aumento de eficiência decorrente de melhores práticas no uso e, principalmente, da progressiva substituição de equipamentos elétricos por outros mais eficientes nos diferentes segmentos da economia e da sociedade, incorporando avanços tecnológicos disponíveis no mercado. Admitindo-se a continuidade de tal tendência, essa conservação de energia responderia por cerca de 4% da demanda em 2030 (TOLMASQUIM et al., 2007).

No Brasil, o setor de laticínios, que pertence à categoria de Indústria de Alimentos e Bebidas vem alcançando níveis de crescimento acelerado e acima da média em relação aos outros da indústria. Um dos motivos pelo qual isso tem ocorrido desde o final dos anos 90, é fato de que o setor teve que se adaptar às mudanças ocorridas com a maior abertura da economia ocorrida naquela década. Por consequência, muitas empresas multinacionais se estabeleceram no país com o intuito de ampliarem seus mercados sendo que até então o Brasil possuía empresas com baixa capacidade de concorrência. Dessa forma, muitas empresas nacionais deste setor acabaram encerrando suas atividades.

Todavia, a partir de então, houve no país uma reestruturação do setor de laticínios em que somente permaneceram no mercado empresas e organizações com maiores índices de competitividade. Assim, os gestores destas empresas, principalmente as nacionais, têm enfrentado dificuldades de se manterem em meio a esta grande concorrência.

Para manterem-se no mercado os tomadores de decisão das empresas do setor de laticínios têm lançado mão de ferramentas de gestão cada vez mais avançadas, muitas vezes adaptando algumas delas em ambientes de produção dessas indústrias.

Um delas, que vem que se adaptando bem ao setor é a otimização sendo a programação linear uma das linhas da otimização que mais tem sido utilizada pelos autores de trabalhos acadêmicos devido à sua maior aplicabilidade no setor. Partindo desse contexto, este trabalho vai explorar as potencialidades da aplicação da otimização em um laticínio, sendo que para tal foram analisados 3 estudos de caso.

1.2 Objetivo

Este trabalho visa a avaliar o potencial de eficiência energética a ser obtido por meio da revisão de literatura e análises dos estudos de caso apresentados neste trabalho. Para se atigirn tal objetivo houve a aplicação das ferramentas da otimização no estudo de 3 casos, sempre procurando dados e exemplos reais para a simulação. No primeiro estudo de caso, foi efetuada uma análise de viabilidade técnico-econômica da substituição de motores elétricos de um laticínio, sendo que neste caso, tomou-se de exemplo um caso real. No segundo estudo de caso, estudou-se a otimização da margem de contribuição de um laticínio.

No terceiro estudo de caso, utilizou-se o mesmo modelo do laticínio do segundo caso, com a diferença que se analisou a maximização da margem de contribuição dos produtos em que utilizou-se na sua linha de produção o aproveitamento de calor residual da caldeira para aquecimento de água a fim de ser utilizada nos diversos processos produtivos do laticínio.

1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está estruturado de forma a, primeiramente, realizar um levantamento sobre a temática de eficiência energética e suas aplicações no setor de alimentos e bebidas, especificamente de laticínios. Assim, no Capítulo 2 realizou-se um panorama dos programas de eficiência energética no Brasil.

O Capítulo 3 especifica a análise abordando os aspectos da indústria de laticínios e suas principais características. Além disso, detalhes sobre os processos de produção do queijo e reaproveitamento de água e soro em laticínios, também são analisados. No Capítulo 4, foram abordados os temas de sustentabilidade e reaproveitamento de produtos no processo produtivo na indústria de laticínios. No Capítulo 5 foi explanado conceitos de Otimização sendo que no Capítulo 6 foram desenvolvidos dos Estudos de Caso 1, 2 e 3, bem como a representação dos modelos matemáticos.

No capítulo 7 foram desenvolvidas as considerações finais e no Apêndice foi representado as figuras com o desenvolvimento do modelo matemático de otimização. Já na seção Anexo desta

dissertação, estruturou-se um Manual Prático de Eficiência Energética para pequenos laticínios.

2 EFICIÊNCIA ECONÔMICA E ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

2.1 Estratégias de aumento da eficiência econômica na indústria

O aumento da eficiência econômica na indústria tem sido buscado pelos gestores do setor, como uma das formas de manterem-se competitivas no mercado, principalmente no setor de alimentos e bebidas e mais especificamente na indústria de laticínios, devido à grande presença de empresas multinacionais atuantes no Brasil. Dessa forma, algumas estratégias e técnicas econômicas tem sido cada vez mais adotadas pelos gestores das indústrias deste setor.

Na indústria, algumas destas estratégias são a busca pelo aumento da Margem de Contribuição (MC) unitária de dos produtos, ou seja, o aumento do lucro obtido por produto. Este aumento da MC pode vir tanto da redução de custos de produção de um determinado produto como no aumento do preço de venda, sendo que este aumento na maioria dos casos é devido à adoção de uma inovação que agrega valor ao produto, possibilitando assim um aumento no valor deste.

Observa-se que várias técnicas, como a margem de contribuição, têm sido desenvolvidas para buscar fortalecer o poder informativo da Contabilidade e, por consequência, melhor atender às necessidades de seus usuários. Entre esses usuários, encontram-se os gestores destas empresas que buscam sempre a maximização da margem de contribuição.

A utilização da margem de contribuição no embasamento de decisões de uma organização é uma vantagem para a empresa, pois seus gestores podem decidir quais produtos merecem maior produção e, consequentemente, onde utilizarem os recursos da empresa de forma mais eficiente e mais lucrativa. A Margem de Contribuição (MC) é caracterizada pela diferença entre a receita e a soma dos custos e despesas variáveis, colocando em evidência o valor que cada unidade produzida, linha de produto, pedido ou cliente proporciona de sobra à empresa entre sua receita e o custo que de fato tenha provocado (MARTINS, 2006).

Por meio deste método é possível se realizar uma análise gerencial em função do grau de participação de cada componente de custo no valor global do objeto de custo (produtos, pedidos, clientes, segmentos da empresa, entre outros), trazendo conclusões objetivas do ponto de vista gerencial. Dessa forma, a MC pode propiciar informações ao gestor da organização para decidir

se é coerente diminuir ou aumentar uma linha de produção, avaliando alternativas provenientes do mix de produção da empresa, verificando se são viáveis economicamente ou não.

Nesse sentido, quanto maior a margem de contribuição de um determinado produto, maior é o lucro que esse produto proporciona à empresa. No meio empresarial, a MC tem sido objeto de estudos que dizem respeito às suas vantagens, desvantagens, aplicações empresariais e, principalmente, relevância frente ao processo decisorial das organizações no contexto internacional e nacional. Alguns autores como Missbauer (2003) associa a Margem de Contribuição e sua relação com os processos de tomada de decisão operacional e econômico das empresas.

No Brasil, autores como Rodrigues (2007) têm estudado a MC e sua relevância no processo de tomada de decisão das empresas nacionais considerando diferentes aspectos, como mix de produção, restrições na capacidade produtiva e maximização do valor da empresa. Seguindo essa linha, nesta dissertação a otimização da margem de contribuição vai ser estudada buscando-se a maximização da MC de alguns produtos produzido por um laticínio, assim como estudado por outros autores já citados.

O estudo da MC, de acordo com Padoveze (2007), realiza análises cujos resultados permitem aos gestores reduzirem os custos da empresa, bem como políticas de incremento de quantidade de vendas e redução dos preços unitários dos produtos. Ou seja, a MC é uma ferramenta essencial para o planejamento de curto prazo das organizações, pois lhes permitem identificar os produtos mais lucrativos de seu mix de produção e focalizar esforços no aumento de suas vendas.

Segundo Pindyck e Rubinfeld (2010) e Santos (1990), algumas das principais vantagens do conhecimento da MC (em R$ e em percentual) das divisões (setores e departamentos comerciais), linhas de produção (ou linhas de comercialização) e de produtos (ou de mercadorias), podem ser elencadas as seguintes:

- Ajudam a administração a decidir que produtos devem merecer maior esforço de venda, ser colocados em planos secundários ou simplesmente tolerados pelos benefícios de vendas que possam trazer aos outros produtos;
- São essenciais para auxiliar os administradores a decidirem se um segmento produtivo (ou de comercialização) deve ser abandonado ou não;
- Podem ser usadas para avaliar alternativas que se criam com respeito a reduções de preços, descontos especiais, campanhas publicitárias especiais e uso de prêmios para

aumentar o volume de vendas. As decisões deste tipo são realmente determinadas por uma comparação dos custos adicionais visando ao aumento na receita de venda. Normalmente, quanto maior for o índice de MC, melhor é a oportunidade de promover vendas; quanto mais baixo o índice, maior será o aumento do volume de vendas necessário para recuperar os compromissos de promover vendas adicionais;

- A MC auxilia os gerentes a entenderem a relação entre custos, volumes e lucros, levando a decisões mais sábias sobre os preços. Nota-se que são muitos os benefícios e as informações proporcionadas pela aplicação da MC. Por outro lado, em que pese às vantagens proporcionadas pela aplicação da MC, é preciso salientar que a referida ferramenta está sujeita a algumas limitações. Entretanto a metodologia do cálculo da MC possui algumas limitações como o fato de que alguns produtos possuem custos mistos (custos que têm uma parcela fixa e outra variável), os quais nem sempre permitem a separação objetiva das parcelas fixa e variável. Dessa forma, esse fato poderia vir a distorcer as informações derivadas da MC. Entretanto, diante dos argumentos expostos e tendo em vista que a finalidade da utilização dessa técnica na análise deste estudo é estritamente gerencial, percebe-se que a utilização da MC é viável e possibilita diversas informações de cunho gerencial que podem auxiliar o processo de decisão da empresa objeto de análise.

Conforme será abordado neste trabalho, a utilização de softwares que auxiliam os gestores industriais a tomarem decisão tem sido cada vez mais comum e, principalmente, indispensável. Técnicas de contabilidade e de economia aliadas às técnicas de engenharia como de otimização tem sido estratégias que muitas indústrias têm adotado para enfrentar a grande concorrência presente no mercado, conforme estudo energético também foi desenvolvido por (BEJAN, 1997).

Para tal, a utilização de um software sem possuir um conhecimento teórico sobre o assunto e principalmente sobre a realidade de mercado não é eficaz. O estudo e embasamento econômico e técnico sobre processos de tomada de decisão são imprescindíveis para se realizar uma análise e interpretação correta de saídas de resultados de alguns softwares (PEREIRA et al., 2012).

No âmbito da gestão empresarial, o processo decisório envolve a escolha de alternativas que podem influenciar diretamente o resultado financeiro e econômica de uma organização. Negri (2003) analisa que o processo decisório surge da necessidade de se tomar decisões, no entanto, para que ocorra uma decisão, é preciso que haja a possibilidade de tomá-la ou não, uma vez que

as duas alternativas podem resultar em diferentes consequências. Sendo assim, quando se tem a possibilidade de tomar ou não uma decisão, essa situação poderá trazer consequências que são dependentes ou não da ação a ser implementada.

Segundo Pindyck e Rubinfeld (2010) e Horngren et al. (2004), o processo decisório é dividido em cinco etapas:

- obtenção de informação;
- elaboração de previsões;
- escolha de uma alternativa;
- implantação da decisão;
- avaliação de desempenho.

No contexto desta investigação, a obtenção da informação foi realizada a partir das informações contábeis da empresa; a elaboração das previsões foi realizada a partir das informações sobre quantidades produzidas e vendidas por cada território de vendas; a escolha da alternativa foi realizada a partir de simulações de resultados em cada território; a implantação se deu a partir da escolha da melhor alternativa; e a avaliação de desempenho, que é a última etapa, se deu a partir do confronto das previsões elaboradas com os resultados obtidos com a implantação da melhor alternativa.

Por outro lado, pode-se analisar que o processo decisório é formado por procedimentos ou etapas que seguem uma sequencia lógica, portanto, não se restringe apenas à tomada de decisão em si, mas envolve todas as etapas necessárias para a implementação de uma ação (decisão). Sendo assim, antes de tomar uma decisão o gestor deve reunir todas as informações pertinentes para a consecução da ação desejada. Para tanto, essa decisão exige do gestor perspicácia e habilidade no manuseio de informações relevantes que o orientem à melhor decisão.

A utilização de resíduos, principalmente na geração de energia no setor da indústria de laticínios é muito recorrente nas grandes indústrias. Entretanto em pequenos e médios laticínios isso não ocorre como o ideal, sendo que a utilização deste recurso auxilia o gestor a reduzir custos de produção energético e consequentemente custos de produção por unidade de produto produzido.

Um exemplo a ser citado é a utilização de briquetes, que são resíduos de madeira lenhosos

compactados que agregam alto poder calorífico em relação à lenha comum. A fonte de madeira pode ser qualquer resíduo lenhoso proveniente da poda de árvores, descarte de estrados, galhadas de maciços florestais, carretéis, restos de embalagens, sobras da indústria de construção civil. Isso pode ajudar na viabilização da produção de combustíveis sólidos como alternativa de reciclagem de materiais, contribuindo, dessa forma, para o efetivo desenvolvimento sustentável.

Segundo Filho (2005), mesmo levando em consideração os custos com a transformação da matéria-prima, essa alternativa pode tornar-se ainda mais econômica que a utilização de óleo combustível. Aliado ao aspecto econômico, o produto a ser obtido incorpora a vantagem de ser uma tecnologia aplicável no Brasil, país tropical com grande vocação para produção de biomassa, além do fato de que o acesso à produção independe de reservas e de fatores políticos e econômicos internacionais, como ocorre com o petróleo e seus derivados.

O autor ainda discute que no que concerne ao aspecto ambiental, além de ser uma fonte de energia renovável, o produto pode ser obtido através da reciclagem de resíduos de madeira, tais como o material proveniente de podas de árvores, galhadas, estrados, restos de embalagens, sobras da indústria da construção civil, além dos resíduos florestais descartados nos grandes maciços.

2.2 Eficiência energética na indústria

2.2.1 Programas de eficiência energética no Brasil

No Brasil, as primeiras preocupações relacionadas à economia de energia e eficiência energética, decorreram principalmente devido à crise do petróleo nos anos de 1970, mais precisamente em 1973 e 1979. Nessa época, o Brasil importava cerca de 80% do petróleo consumido, sendo que com a crise o preço do barril aumentou em cerca de 4 vezes de 1973 para 1974.

Assim, programas como o PROÁLCOOL, que foi criado por meio de decreto em 1975, outros foram criados na tentativa de substituir a gasolina e, portanto, reduzir a dependência do petróleo, tal como os custos para produção importação deste. No mesmo sentido a Petrobras, lançou-se ao mar, a fim de prospectar petróleo na região da costa marítima, chamado de prospecção offshore,

obtendo resultado muito positivos, sendo atualmente um dos grandes trunfos desta empresa para se manter produtiva e lucrativa (EPE, 2007).

A partir da década de 80, iniciou-se a criação de projetos e programas de eficiência energética em nível nacional com a proposta de redução de consumo de energia por meio do aumento da eficiência energética em indústrias, residências e no comércio.No início dos anos 80, mais precisamente em 1981, foi criado o primeiro programa institucional de conservação de energia no país direcionado ao setor industrial, chamado CONSERVE.

Este programa teve como objetivos fomentar a redução do consumo de energia no setor industrial, principalmente nos setor energo-intensivos como cimento, papel e celulose e siderurgia. Além disso, buscava-se estimular o desenvolvimento de novos processos e produtos industriais, que proporcionassem maiores níveis de eficiência energética.

Já em 1985, foi criado pelo governo federal, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), objetivando a proposição de ações que visassem à conservação de energia. Um ano antes, em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) auxiliou na criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), sendo que a o INMETRO a partir disso, iniciou um sistema de etiquetagem indicando padrões e graus de eficiência energética para motores elétricos e outros equipamentos de uso geral.

Na década de 90, no ano de 1991, foi lançado o Programa Nacional da Racionalização do Uso do Petróleo e do Gás Natural (CONPET). Este programa foi destinado à estabelecer e implantar programas de uso eficiente do petróleo e do gás natural em indústrias, residências, comércio e também na agropecuária. Atualmente a Petrobrás é a gestora dos projetos relacionados ao CONPET, bem como o direcionamento de recursos para implantação de projetos de eficiência energética.

Uma outra iniciativa, mas em termos de legislação, foi a aprovação da Lei Nº 9.991 do ano de 2000, que incentiva a realização de investimentos de pesquisa e desenvolvimento na área de eficiência energética por parte de empresas concessionárias, permissionárias e também às autorizadas do setor de energia elétrica.

Foi estabelecido por meio desta lei que 1% da Receita Operacional Líquida (ROL) dessas empresas seja direcionada aos setores de pesquisa e desenvolvimento do setor de energia elétrica e também para programas de eficiência energética.

Ainda no âmbito do aspecto legal de incentivo à eficiência energética, a Lei Nº 10.295 do ano de 2001, trata de ações de conservação de energia e também do uso racional dela. Por meio

desta lei, estabeleceu-se que máquinas e equipamentos produzidos e comercializados no Brasil, têm de possuir níveis mínimos de eficiência energética. Além disso, esta lei estabelece metas de aumento desses níveis ao longo do tempo. Ao INMETRO, ficou a responsabilidade de autorizar e supervisionar laboratórios que fazem os testes de eficiência energética nos equipamentos citados.

Segundo Nogueira (2007), os principais desafios e obstáculos a serem transpostos para implementação de projetos de eficiência energética no Brasil, são os seguintes:

- Tecnologia: mesmo sendo conhecidas várias tecnologias que tornam processos mais eficientes, diversas delas ainda não estão disponíveis no mercado nacional;
- Custo inicial: a sociedade é muito sensível aos custos iniciais de equipamentos mais eficientes;
- Cultura: ainda falta uma maior consciência de que se investir em eficiência energética é algo vantajoso, principalmente em pequenas e médias empresas;
- Financiamento: há dificuldades no acesso de condições de financiamento favoráveis às empresas.

Segundo estudo realizado pela CNI (2009) em 217 projetos de eficiência energética de 13 setores industriais, obteve-se resultados muito positivos em relação à economia de energia, sendo que o custo médio do MWh economizado foi de R$ 79/MWh. Considerando o custo marginal de expansão do sistema de energia elétrica estimado pela EPE em R$ 138/MWh no Plano Decenal 2007/2016, a diferença entre estes dois valores é o ganho médio dos projetos. A economia obtida possibilita ao governo e ao empresário direcionar recursos para outras prioridades em que ações de eficiência energética agregam importantes ganhos sociais, ambientais e de competitividade.

A oferta de um serviço de energia exige uma cadeia de transformações, transporte e estocagem com origem nas fontes primárias, ou seja, nas formas disponíveis na natureza tanto de origem renovável (solar direta, eólica hidráulica, cana-de-açúcar e madeira, quanto não renovável (petróleo, gás natural, carvão mineral e nuclear) (MME, 2009).

As ações de eficiência energética compreendem modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo da cadeia, mas podem também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética por parte das entidades que a compõem. Devem ser privilegiadas todas as ações que, na margem, tenham um custo inferior ao necessário para suprir a energia economizada (MME, 2009).

Este documento ainda cita o progresso do PNEf, que deve identificar os instrumentos de ação e de captação dos recursos, de promoção do aperfeiçoamento do marco legal regulatório de forma a possibilitar um mercado sustentável de eficiência energética e mobilizar a sociedade na busca contra o desperdício de energia, preservando recursos naturais.

No Brasil, as entidades e programas que estão ligadas ao Ministério de Minas e Energia (MME) e que são responsáveis pela difusão e fomento da eficiência energética, dentre outras atribuições são:

- INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial);
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética);
- CONPET (Programa Nacional de Racionalização do Uso do Derivados do Petróleo e Gás Natural);
- PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica);
- CEPEL (Centro de Pesquisas em Energia Elétrica);
- PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem);
- ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis);
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

A partir dos diagnósticos apresentados pelo PNEf, pode-se dizer que o Brasil evoluiu bastante em eficiência energética nos últimos anos, tanto na legislação, capacitação e conhecimento acumulados, quanto na consciência da necessidade de eficiência energética em diversos setores. Diversos casos de sucesso de implementação de medidas de eficiência energética existem e podem ser replicados. Montou-se uma infraestrutura e um capital humano que permitem partir para novos patamares de eficiência energética.

Em relação ao financiamento de projetos de eficiência energética, o Brasil tem evoluído tanto em quantidade de projetos, quanto em volume de investimentos. Os projetos financiados pelos Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia relacionados com o setor energético são basicamente o CTENERG e o CTPETRO. Analisando o setor industrial tem-se a chamada publica MCT/FINEP/CTENERG - Tecnologias pelo lado da demanda no setor elétrico 01/2005, onde foram aprovados/pré-qualificados sete projetos relacionados a inovação tecnológica. O CTPETRO, até o momento, ainda não realizou chamadas voltadas para a eficiência energética do setor industrial (CNI, 2009).

O BNDES tem financiado projetos na área de eficiência energética no valor aproximado de 56 milhões de reais durante os anos de 2001 a 2007. As ESCOs (Energy Service Companies) são

empresas especializadas em serviços de conservação de energia que promovem eficiência energética nas instalações de seus clientes através da realização de contratos de desempenho. Além dos contratos diretos realizados entre as ESCOs e seus clientes, estas também podem realizar contratos indiretos através das empresas distribuidoras de energia elétrica e seus clientes, atendendo os Projetos de Eficiência Energética (PEE's) determinados pela ANEEL.

As instituições acadêmicas e tecnológicas não realizam a implementação de projetos de eficiência energética, porem tem contribuído para a divulgação de informações relacionadas ao tema, através do desenvolvimento de metodologias e tecnologias eficientes, realização de diagnósticos energéticos e treinamento/capacitação de profissionais (CNI, 2009).

Segundo o MME (2009), em relação ao aspecto de legislação a tem-se a Lei 9.991, de 24 de julho de 2000, que dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e na eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. A Lei consolidou a destinação de um montante importante de recursos para ações de eficiência energética, o chamado Programa de Eficiência Energética das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica (PEE), que até hoje contou com mais de R$2 bilhões em investimentos realizados ou em execução.

Bancos estatais como o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), tem tido um importante papel no financiamento de projetos que visem ao aumento da eficiência energética na indústria, principalmente por meio de estabelecimento de juros menores e linhas de créditos especiais para clientes industriais engajados com essa temática. Na Tabela 2.1 abaixo, pode-se observar, os valores desembolsados pelo BNDES em projetos voltados diretamente para eficiência energética.

Tabela 2.1 - Desembolsos do BNDES para projetos de eficiência energética

Ano	Valor (R$)
2002	10.539.201
2003	6.003.309
2004	30.929.360
2005	6.162.003
2006	357.819
2007	1.847.000
2008	3.254.655
2009	3.532.109
Total	62.625.456

Fonte: (BARATA, 2012)

Há também o PROESCO, que é um programa de apoio financeiro a projetos de eficiência energética no país. O PROESCO tem como objetivo o apoio a projetos de eficiência energética e como clientes as Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ESCOs) e os usuários finais de energia.

Através deste programa do BNDES ainda, podem ser financiados projetos que contribuam para a economia de energia, destacando os equipamentos que utilizam tecnologia mais eficiente, tais como: lâmpadas; motores elétricos; controladores de velocidade variável; bombas; ventiladores; refrigeradores; sistemas de ar condicionado; fornos e fornalhas; caldeiras e sistemas de vapor; sistemas de cogitação; e sistemas automatizados de gerenciamento de energia.

Pelo PROESCO os itens financiáveis são: Estudos e Projetos; Obras e Instalações; Maquinas e Equipamentos; Serviços Técnicos Especializados; Sistemas de Informação, Monitoramento, Controle e Fiscalização.

Com isso, por meio deste programa, observou-se que através do tempo, de acordo com pesquisas realizadas no setor industrial, por exemplo, que começou-se a haver um redução do consumo de energia conforme havia sendo investidos mais recursos para esta finalidade, conforme a Tabela 2.2:

Tabela 2.2 - Aplicações dos programas de eficiência energética no setor industrial

Ciclos	Investimento (R$)	Economia (MWh/ano)	Demanda Evitada (KW)
2002/2003	3.196.460,00	33.198,00	7.780,00
2003/2004	3.493.897,00	40.336,00	4.160,00
2004/2005	3.730.014,00	30.209,00	5.009,00
2005/2006	14.209.072,00	69.359,00	11.630,00
2006/2007	18.448.280,00	65.382,00	9.018,00
2007/2008	41.722.204,00	121.928,00	15.034,00
2008/2009	17.883.210,00	89.416,00	17.883,00
2009/2010	43.896.747,00	141.390,00	16.771,00

Fonte: (PROESCO, 2010)

2.2.2 Eficiência energética na indústria de alimentos e bebidas

A indústria de alimentos é uma das principais indústrias de transformação do país; em termos de valor bruto da produção, o setor ocupa a primeira posição. Particularmente, o segmento de

laticínios, ocupa a quarta colocação em faturamento no setor. Abaixo, na Tabela 2.3, observa-se o ranking do faturamento em bilhões de reais da cada segmento do setor.

Tabela 2.3 - Faturamento dos segmentos produtivos do setor de Alimentos e Bebidas

Produto	2008	2009	2010	2011
Derivados de Carne	61,0	58,5	66,0	80,1
Beneficiamento de Café, Chá e Cereais	31,1	32,9	35,9	42,1
Açúcares	15,9	30,2	37,7	46,0
Laticínios	26,4	29,0	33,1	39,0
Óleos e Gorduras	32,0	29,0	29,3	32,0
Derivados de Trigo	18,7	18,9	19,9	21,9
Derivados de Frutas e Vegetais	14,8	14,9	15,6	17,7
Diversos	14,0	15,4	17,7	20,7
Chocolate, Cacau e Balas	9,1	9,9	10,5	11,2
Desidratados e Supergelados	5,1	5,6	6,5	7,7
Conservas de Pescados	2,0	2,3	2,5	2,7

Fonte: (CNI, 2009)

"A estrutura de produção agrega mais de 850 tipos de produtos (em incessante renovação) e um universo de 42 mil plantas industriais, responsáveis por cerca de 12 milhões de postos de trabalho diretos, que são multiplicados por três quando se levam em conta os empregos indiretos. Esta estrutura permite que as flutuações cíclicas e as bruscas movimentações conjunturais, típicas de determinados alimentos industrializados ou bebidas, sejam compensadas pelas oscilações dos demais itens da pauta produtiva e, especialmente, pelos alimentos essenciais (cujo volume é significativamente maior)"(CNI, 2009).

Abaixo, na Tabela 2.4, observa-se a produção anual, em mil toneladas, de produtos da indústria de alimentos e bebidas, especificamente da de beneficiamento de leite e derivados:

Tabela 2.4 - Produção anual, em mil toneladas, da indústria de leite e derivados

Produto	2001	2002	2003	2004	2005
Leite pasteurizado	4.891	4.847	4.759	4.725	1.272
Leite longa vida UHT	3903	4193	4225	4420	4802
Leite em pó	318	290	314	321	370
Leite flavorizado	133	147	143	150	166
Leite condensado	188	201	217	228	219
Cremes de leite	219	217	197	208	211
Iogurtes	423	522	474	501	508
Queijos	314	288	273	232	245
Manteiga	81	62	59	59	63
Requeijão	38	38	36	44	48
Bebidas lácteas	117	130	139	144	151
Sorvetes	171	184	170	166	177

Fonte: (CEPEA, 2009) e (IBGE, 2011)

O setor industrial é o maior consumidor de energia do país, respondendo por 37,2% de todo o consumo final no ano 2011 EPE (2011), seguido pelo setor de transporte com 30,4%. A seguir a Figura 2.1 mostra a participação dos setores:

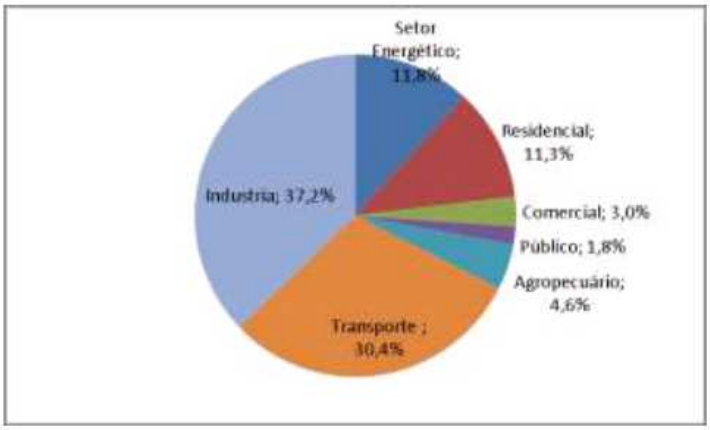


Figura 2.1 - Consumo de energia por setor
Fonte: (ELETROBRáS, 2006)

Na indústria de laticínios, em quase todos os processos é necessário água quente, ou vapor, gerado em caldeiras. O uso de fornos, secadores e equipamentos de refrigeração também é muito comum. O principal uso final da eletricidade na indústria de alimentos e bebidas é a força motriz, seguida pela refrigeração.

Segundo CNI (2009) e EPE (2010), na indústria de alimentos e bebidas envolve um grande número de tipos de processos industriais nos vários segmentos homogêneos que a compõem. De

uma forma resumida, as principais operações consumidoras de energia térmica na indústria de alimentos e bebidas são:

- Secagem;
- Processos de separação (evaporação e destilação);
- Cozimento;
- Esterilização com aplicação de calor.

As principais operações consumidoras de energia elétrica na indústria de alimentos e bebidas são:

- Refrigeração, resfriamento e congelamento - na maior parte dos casos por compressão mecânica de vapor;
- Extrusão - pressurização mecânica do produto através dos bocais;
- Moagem, trituração ou pulverização;
- Bombeamento de fluidos.

As demais operações consumidoras de energia na indústria de alimentos e bebidas:

- Aquecimento / fornecimento de vapor ou da água quente;
- Assamento, tostagem - aquecimento em atmosfera controlada;
- Branqueamento - imersão em vapor ou em água fervendo para ajudar a preservação ou descascamento;
- Concentração por evaporação a vácuo - uso do calor e vácuo para retirar água de uma solução;
- Desidratação - geralmente pela aplicação de calor, mas também por alternativas que incluem a liofilização, a aplicação de microondas e de vácuo;
- Fermentação - aquecimento brando por períodos longos com fermento;
- Fritura;
- Mistura;
- Separação - pré-concentração de líquidos utilizando filtração mecânica. Inclui, também, peneiramento, filtração, ultra-filtração, uso de membranas e pressão osmótica;
- Limpeza - lavagem a quente de máquinas e instalações, frequentemente com água sob alta pressão;
- Aquecimento ou calefação, iluminação e condicionamento de ar em instalações prediais.

Vale citar, que muito embora haja o engajamento de setores da indústria para a realização de projetos de eficiência energética, somente alguns equipamentos como motores elétricos e outros equipamentos industriais possuem índices mínimos de eficiência regulamentados. Neste sentido, a indústria de laticínios, que possui alto consumo de energia por meio de motores elétricos é uma das indústrias que possuem essa vantagem de contribuição a programas de eficiência energética.

Outros equipamentos estão na lista de espera no aguardo para também serem regulamentados, porém isso depende aprovação do governo federal, por meio da Lei 10.295/01 (que regulamenta ao poder executivo, índices mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo para equipamentos consumidores de energia).

Segundo um estudo realizado pela CNI (2009), por meio de levantamento de dados como histórico de investimentos, perfil do consumo de energia, potenciais de eficiência por etapa de produção ou cadeia de produto coletados em diversos setores industriais, incluindo o Setor de Alimentos e Bebidas, permitiu-se realizar uma analise, com os potenciais de eficiência levantados por uso final em setores indústrias de maior potencial de eficiência.

Fundamentado nos resultados dos potencias técnicos levantados e no histórico de ações desenvolvidas pode se concluir que os esforços de eficiência energética não estão direcionados para as principais oportunidades existentes. Ajustes nas prioridades dos programas federais de eficiência energética e nos fundos de investimentos poderiam alavancar vários projetos industriais de eficiência energética (CNI, 2009).

Tabela 2.5 - Potencial de economia de energia por setor industrial

Uso de energia	Potencial de economia (tep)	Setores com potencial de ef. energética
Fornos	9.103.661,52	Siderurgia, Cerâmico, Cimento
Secadores	415.466,80	Alimentos e Bebidas, Cerâmico, Têxtil
Caldeiras	2.358.183,02	Alimentos e Bebidas, Papel e Celulose, Siderurgia
Outros	74.679,61	Químico
Força Motriz	2.032.439,53	Alimentos e Bebidas, Mineram, Siderurgia
Refrigeração	46.581,66	Alimentos e Bebidas, Químico, Têxtil
Fornos elétricos	370.873,53	Siderurgia, Metais não ferrosos, ferros liga
Eletrólise	191.387,34	Matais não ferrosos, Químico, Papel e Celulose
Iluminação	60.214,47	Alimentos e Bebidas, Têxtil, Papel e Celulose
Outros	2.368,18	Extrativa Mineral

Fonte: (EPE, 2010)

Nota-se pela tabela acima, que o setor de Alimentos e Bebidas possui grande potencial de economia de energia nos diversos usos industriais de energia. Em se tratando de combustíveis o

setor de Alimentos e Bebidas pode reduzir o consumo de energia em secadores e caldeiras. Já na utilização de energia elétrica há pontencial para economia de energia neste setor em força motriz, refrigeração e iluminação, sendo estes os maiores consumidores de energia elétrica neste setor industrial.

Segundo relatório da Cemig (2008), como na grande maioria dos consumidores do segmento industrial, a maior parcela da energia elétrica consumida nas indústrias do setor de laticínios é utilizada para o acionamento de motores elétricos de indução, chegando a representar 89% do consumo global do setor. Ainda segundo este documento, a eficiência ou rendimento de um motor elétrico é, na realidade, um parâmetro que indica a sua capacidade em converter a energia elétrica absorvida da rede em energia mecânica a ser fornecida no eixo.

Para efetuar o processo de conversão eletromecânica, os motores utilizam uma parcela da energia total absorvida, transferindo ao eixo a energia restante. A parcela retida nos motores é normalmente classificada como parcela de perdas e não pode ser eliminada por ser inerente ao seu próprio funcionamento, mas reduzida a níveis aceitáveis.

Tendo em vista o grande consumo de energia por motores elétricos industriais na indústria de laticínios, lista-se abaixo, segundo Lawder (2012) algumas medidas para a utilização eficiente dos motores elétricos:

- Os motores devem funcionar entre 60 e 90% de sua potência;
- Adotar, sempre que possível, os variadores eletrônicos de velocidade;
- Considerar a utilização dos motores com perdas reduzidas (conhecidos comercialmente como motores de alto rendimento);
- Evitar o uso de motores superdimensionados (na ocasião de troca, instalar um novo motor com potência adequada);
- Desligar os motores das máquinas quando estas não estiverem operando;
- Verificar se as características do motor são adequadas às condições do ambiente onde está instalado (temperatura e tipo de atmosfera);
- Verificar a possibilidade de instalar os motores em locais com melhor ventilação e em ambientes menos agressivos.

Já a área de iluminação na indústria de laticínios corresponde a um consumo de 6% do total de energia elétrica uitilizada. Assim, ainda no documento de Lawder (2012), destacam-se abaixo

algumas recomendações para este setor dentro da planta industrial:

- Usar lâmpadas adequadas para cada tipo de ambiente;
- Ligar a luz elétrica somente onde não existir iluminação natural suficiente para o desenvolvimento das atividades;
- Utilizar telhas transparentes para aproveitamento da iluminação natural;
- Instruir os empregados a desligarem as lâmpadas de dependências desocupadas, salvo aquelas que contribuem para a segurança;
- Evitar pintar os tetos e parede com cores escuras, as quais exigem lâmpadas de maior potência para a iluminação do ambiente;
- Manter limpas as luminárias, pois a sujeira reduz o fluxo luminoso, exigindo maior número de lâmpadas acesas;
- Usar luminárias abertas, para melhorar o nível de iluminação;
- Verificar a possibilidade de instalar timer para controle da iluminação externa, letreiros e luminosos;
- Limpar regularmente paredes, janelas, forros e pisos. Uma superfície limpa reflete melhor a luz de modo que menos iluminação artificial se torne necessária;
- Instalar interruptores, objetivando facilitar as operações liga/desliga, conforme a necessidade local, inclusive através da instalação de timer;
- Dividir os circuitos de iluminação, de tal forma a utilizá-los parcialmente sem prejudicar o conforto;
- Percorrer os diversos setores da indústria, a fim de verificar se há luminárias desnecessárias ou com excesso de iluminação;
- Fazer a limpeza preferencialmente durante o dia, em cada setor;
- Iniciar a limpeza por um setor, mantendo todos os demais apagados, caso a mesma seja realizada após o encerramento do expediente;
- Programar o serviço, de forma que cada ambiente ou andar tenha a respectiva iluminação e outros equipamentos desligados imediatamente após a sua conclusão.

2.2.3 Metodologias de auditoria energética

Entre os vários custos gerenciáveis em uma empresa, seja do setor industrial ou comercial, a energia vem assumindo cada vez mais importância, motivada pela redução de custos decorrentes do mercado competitivo, pelas incertezas da disponibilidade energética ou por restrições ambientais. De qualquer forma, promover a eficiência energética é essencialmente usar o conhecimento de forma aplicada, empregando os conceitos da engenharia, da economia e da administração aos sistemas energéticos (ELETROBRáS, 2007).

Contudo, dado à diversidade e complexidade desses sistemas, é interessante apresentar técnicas e métodos para definir objetivos e ações para melhorar o desempenho energético e reduzir as perdas nos processos de transporte, armazenamento e distribuição de energia (ELETROBRáS, 2007).

Embora o argumento da competitividade continue naturalmente a ser aquele que mais sensibiliza a generalidade dos industriais, a crescente pressão ambiental veio reforçar a necessidade de utilizar eficientemente a energia. Seja por imposição legal, seja pela necessidade de cumprir requisitos ambientais como forma de atender a sistemas de apoio ou simplesmente por uma questão de imagem ou pressão da opinião pública, cada vez mais a eficiência energética está na ordem do dia. Além disso, instrumentos políticos de mercado, como taxas ou impostos ambientais, introduza o princípio do poluidor pagador, penalizando fortemente as empresas menos preparadas (GASPAR, 2007).

A utilização eficiente e racional da energia é um objetivo a ser buscado em qualquer conjuntura, onde a conciliação dos custos de investimento e dos custos operacionais em bases corretas é sempre desejável. E, mesmo lembrando que conservar energia é se limitar à correta aplicação dos conceitos de engenharia e análise econômica, a questão de implementar a adequada gestão dos fluxos energéticos tem formalizado uma abordagem própria. Assim, a operacionalização da eficiência energética passa necessariamente por uma mínima estrutura gerencial, de porte e abrangência compatíveis à empresa.

É assim que assumem particular importância o levantamento e a auditoria energética. Com efeito, qualquer processo de gestão de energia terá necessariamente que começar pelo conhecimento da situação energética da instalação. No princípio para gerir, é indispensável conhecer o

objeto de gestão. O levantamento energético pode interpretar-se como a primeira radiografia ao desempenho energético da unidade fabril. Através dele, avalia-se quanta energia é efetivamente consumida e de que forma é essa energia utilizada, estabelecem-se os principais fluxos e identificam-se os sectores ou equipamentos onde é prioritário atuar (GASPAR, 2007).

Ainda segundo este autor, nesse processo, entende-se o exame detalhado das condições de utilização de energia na instalação. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias detectadas. A auditoria energética surge assim como um instrumento fundamental, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afetar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma.

É importante observar que as avaliações, por si só, não conduzem à racionalização do uso de energia. Elas constituem um primeiro e decisivo passo nesta direção, a requerer medidas e ações posteriores, desejavelmente estabelecidas de forma planejada e estruturada, com clara definição de metas, responsáveis e efetivos acompanhamentos, se possível no âmbito de um Programa de Gestão Energética, com visibilidade da corporação e a necessária provisão de recursos físicos e humanos.

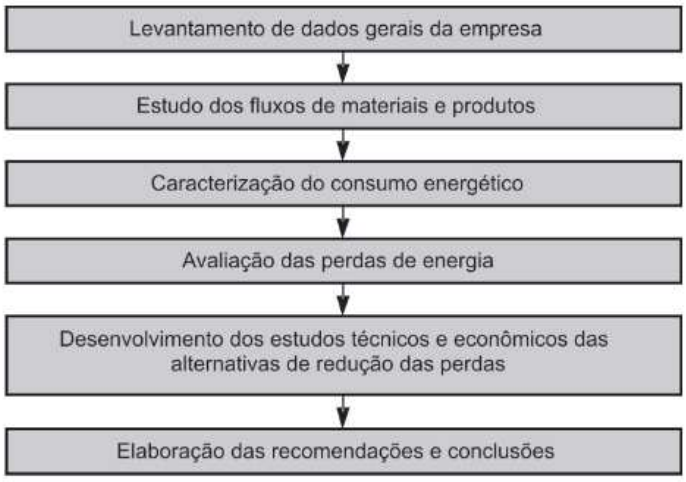


Figura 2.2 - Etapas de um Diagnóstico Energético
Fonte: (ELETROBRáS, 2006)

Considerando uma abordagem bem genérica, a ser adaptada caso a caso, a sequencia da Figura 2.2, pode ser adotada para o desenvolvimento de um diagnostico energético (NOGUEIRA,

2007).

Através dessas etapas e posteriores resultados, pode ser preparado então o relatório, que é um documento que sintetiza o trabalho de levantamento empreendido e deve apresentar, de forma convincente, as recomendações e conclusões. Observa-se que esse procedimento se propõe a separar claramente a avaliação da situação real encontrada (Estudos Energéticos), que retrata o quadro encontrado, dos estudos prospectivos (Análise de Racionalização de Energia), que definem condições a serem atingidas. Estas etapas podem ser efetuadas de forma independente, e, mesmo, por profissionais diferentes, entretanto, esta estrutura não é rígida e poderiam ser apresentadas as sugestões e alternativas para a racionalização dos sistemas elétricos, térmicos e mecânicos na sequência de sua avaliação.

Abaixo, segue, um modelo, segundo Santos (2006) e Eletrobrás (2007) de relatório de auditoria energética por meio do qual qualquer empresa pode utilizá-lo para servir de parâmetros básicos de implantação e realização de um plano de auditoria energética:

- Resumo Executivo;
- Empresa (localização, indicadores, descrição básica dos processos);
- Estudos energéticos (diagramas, características, estudo das perdas);
- Sistemas Elétricos;
- Levantamento da carga elétrica instalada;
- Análise das condições de suprimento (qualidade do suprimento, harmônicas, fator de potência, sistema de transformação);
- Estudo do Sistema de Distribuição de energia elétrica (desequilíbrios de corrente, variações de tensão, estado das conexões elétricas);
- Estudo do Sistema de iluminação (luminometria, análise de sistemas de iluminação, condições de manutenção);
- Estudo de Motores Elétricos e outros Usos Finais (estudo dos níveis de carregamento e desempenho, condições de manutenção);
- Sistemas Térmicos e Mecânicos;
- Estudo do Sistema de ar condicionado e exaustão (sistema frigorífico, níveis de temperatura medidos e de projeto, distribuição de ar);
- Estudo do Sistema de geração e distribuição de vapor (desempenho de caldeira, perdas

térmicas, condições de manutenção e isolamento);

- Estudo do Sistema de bombeamento e tratamento de água;
- Estudo do Sistema de compressão e distribuição de ar comprimido;
- Balanços energéticos;
- Análise da Racionalização de Energia (estudos técnico-econômicos das alterações operacionais e de projeto, como por exemplo, da viabilidade econômica da implantação d sistemas de alto rendimento para acionamento e iluminação, viabilidade econômica da implantação de sensores de presença associados a sistemas de iluminação, análise do uso de iluminação natural, análise de sistemas com uso d termoacumulação para ar condicionado, viabilidade econômica da implantação de controladores de velocidade de motores, análise da implantação de sistema de cogeração);
- Diagramas de Sankey atual e prospectivos;
- Recomendações;
- Conclusões;
- Anexos (figuras, esquemas, tabelas de dados).

3 ASPECTOS DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

3.1 Agronegócio do leite

O agronegócio em 2006, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento , é o quinto maior produtor mundial de leite e é responsável por 33% do Produto Interno Bruto (PIB), 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros. Entre 1998 e 2003, a taxa de crescimento do PIB agropecuário foi de 4,67% ao ano. Nos últimos anos, poucos países tiveram um crescimento tão expressivo no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil. Os números mostram que em 1993, as exportações do setor eram de US$ 15,94 bilhões, com um superávit de US$ 11,7 bilhões. Em dez anos, o país dobrou o faturamento com as vendas externas de produtos agropecuários e teve um crescimento superior a 100% no saldo comercial.

Verifica-se aumento substancial do número de rebanho total, vacas ordenhadas, produção de leite, produtividade e recepção total de leite quando comparamos os números do período entre 1991 a 2007. Isso mostra, embora as grandes dificuldades do setor em crescer e se desenvolver no Brasil, o potencial da cadeia produtiva de leite.

As regiões brasileiras com maior destaque no agronegócio são as que mais crescem no país, com índices de desenvolvimento humano (IDHs) elevados e áreas de surto recente de atividade agroindustrial, que estavam muito longe do padrão de vida das regiões mais desenvolvidas do país. A pecuária leiteira é de fundamental importância para o setor agropecuário brasileiro, tendo em vista que a atividade leiteira participa na formação da renda de grande número de produtores, além de ser responsável por elevada absorção de mão-de-obra rural (contratada e familiar), propiciando a fixação do homem no campo (CAMPOS; PIACENTI, 2007).

Segundo o USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), o Brasil é o 6º maior produtor de leite do mundo, produzindo 24,6 bilhões de litros de leite com cerca de 6% da produção mundial. Já os EUA, são os maiores produtores mundiais, produzindo 82,5 bilhões de litros de leite correspondendo por cerca de um quinto da produção do mundo. Ainda segundo o órgão americano, a Nova Zelândia possui 99% da produção de leite condicionada à captação por cooperativas, sendo que estas neste país exportam a maior parte do leite produzido. Já no Brasil a quase totalidade

do leite produzido é destinado ao mercado interno, sendo que atualmente há esforços da indústria láctea para aumentar a participação de produtos lácteos no mercado externo.

3.2 Processo de produção de laticínios

De forma geral para transformar o leite em seus derivados, aqui denominados de Produtos Lácteos Frescos (PLF), são necessários vários processos e etapas de fabricação, conforme descrito no breve resumo abaixo:

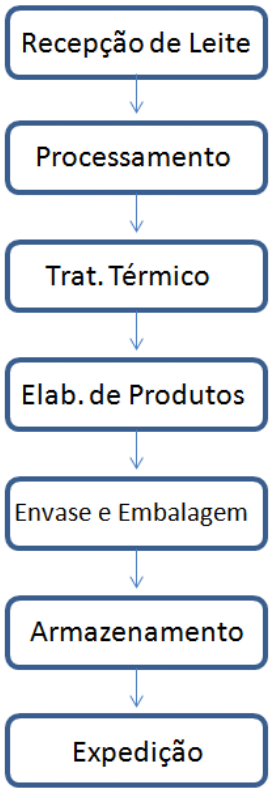


Figura 3.1 - Etapas do processo produtivo em um laticínio
Fonte: Elaboração própria

A seguir, de acordo com Fiesp (2008), vão ser descritas de forma mais detalhada, estas etapas:

- Recepção de Leite:

A Recepção de Leite é o setor da fábrica onde se inicia todo o processo fabril. É o setor em que se recebe a matéria prima proveniente das fazendas produtoras de leite. Antes de iniciar o descarregamento dos "Caminhões Tipo Tanques", são executadas análises laboratoriais para monitorar e controlar a qualidade do leite que está sendo fornecido para a fábrica. Caso a amostra do leite esteja fora das especificações de qualidade todo o volume do caminhão é rejeitado e devolvido ao produtor.

Após a liberação pela "Equipe de Controle de Qualidade"o leite é retirado dos tanques dos caminhões com o auxílio de bombas centrífugas sanitárias e é enviado para as etapas de esterilização e pré-pasteurização. Em seguida o leite é armazenado nos "Tanques de Leite Cru", onde permanece sob temperatura controlada, aguardando o envio para o Processo. Os principais equipamentos consumidores de energia elétrica na Recepção de leite são: bombas centrífugas, bombas de deslocamento positivo e válvulas pneumáticas (consomem ar comprimido). Os principais equipamentos consumidores de energia térmica nesse Setor são: esterilizadores e pasteurizadores.

- Processo:

Processo é o setor da fábrica onde o leite, previamente tratado e padronizado pela Recepção, é transformado em diversos produtos, ou seja, é o setor que transforma leite em PLF. Como o próprio nome diz, este é o setor de processamento do leite para transformá-lo em produtos lácteos frescos. As etapas do Processo são: homogeneização, concentração, esterilização, pasteurização, termização, secagem e fermentação. No Processo são inseridos alguns ingredientes para transformar o leite em PLF, como: açúcar, fermentos naturais e biológicos, polpas de frutas e aromas (MTE, 2004).

Além disso, uma fábrica de laticínio geralmente é dividida em três grandes setores de Processos: Processo Iogurtes, Processo Líquidos e Processo Queijos e Sobremesas. Após serem processados os produtos são bombeados através de tubulações e seguem para as máquinas de envase.

- Concentração:

Segundo UFSC (2005), existem várias técnicas para a concentração do leite, sendo a mais usada a evaporação. A evaporação a vácuo produz alguns efeitos secundários como: modifica a cor do produto final; elimina algumas substâncias voláteis favorecendo a oxidação; diminui a quanti-

dade de ar que fica retido entre as partículas de pó, facilitando o envase, sobretudo quando realizado a vácuo e permite a obtenção de partículas de pó maiores, diminuindo a porcentagem de partículas finas, e as perdas se reduzem. A concentração na fabricação do leite em pó é mais alta que para o leite evaporado. O conteúdo de extrato seco no final do processo varia geralmente entre 33 e 48%.

- Tratamento térmico:

Para assegurar a destruição dos micro-organismos patogênicos, é necessário aquecer o leite a determinada temperatura, e mantê-lo nessa temperatura durante certo intervalo de tempo, antes de resfria-lo novamente. A relação entre temperatura e tempo de retenção é importante para determinar a intensidade do tratamento térmico.

- Elaboração de produtos:

Depois de termicamente tratado, o leite destinado a elaboração de outros produtos é encaminhado para as etapas produtivas posteriores, as quais variam em função dos produtos a serem obtidos. As atividades produtivas inerentes a cada derivado serão individualmente descritas.

- Envase e embalagem:

Envase é o setor em que os produtos gerados no Processo são embalados ou envasados. Nessa Fábrica existem 19 linhas de envase, que são divididas em dois grupos: Pré-formados e Termoformados:

Envase Pré-formados: o setor recebe este nome em função aos potes utilizados como embalagem para o produto serem pré-fabricados ou pré-formados, ou seja, os potes entram na Fábrica em seus formados definitivos, prontos para receber os produtos e em seguida serem lacrados com tampas de alumínio.

Envase Termoformados: O setor recebe este nome em função do processo térmico utilizado para formar os potes. A Fábrica recebe chapas de material plástico, que nas máquinas de envase passam por uma área quente, sob temperatura controlada e na seqüência são moldadas para formarem os potes. Após a formagem, os potes recebem os produtos através dos dosadores. Os produtos são envasados sob duas temperaturas: 20ºC para iogurtes e 60ºC para sobremesas. O fechamento dos potes ou selagem é efetuado com material de alumínio dotado de uma película que ao ser aquecido se funde à chapa plástica. Na sequência os produtos são enviados à Paletização.

- Armazenamento e paletização e resfriamento:

Embalados e prontos para serem comercializados, os produtos devem permanecer armazenados, em condições adequadas até que sejam encaminhados ao seu destino final. Cabe ressaltar que alguns produtos precisam permanecer sob refrigeração a fim de que sejam mantidas suas características e preservadas suas qualidades.

Uma fábrica de laticínio é dotada de equipamentos utilizados para armazenar os produtos em caixas de papelão que em seguida são organizadas sobre bases de madeira chamadas pallets. Daí o setor recebe o nome de Paletização. O equipamentos utilizados para paletização são denominados de paletizadores e são equipamentos dotados de alta tecnologia, são totalmente automatizados e possuem capacidade para receber toda a produção gerada pelas 19 máquinas de envase. Os produtos são separados e paletizados por tipo ou família. Após a paletização os produtos são enviados para uma câmara fria, chamada de Célula de Resfriamento Rápido.

Todos os produtos, após envasados e paletizados, necessitam passar pelas células de resfriamento. O resfriamento rápido é uma continuação do processo e sua função é estabilizar a viscosidade e interromper processo de fermentação, de modo a controlar a acides dos produtos. Os produtos entram nas células de resfriamento rápido a 20ºC ou 60ºC e são retirados com temperatura média de 4ºC. O tempo de permanência dos produtos no interior das células de resfriamento é controlado automaticamente por um sistema supervisório. Pode-se considerar que o processo de fabricação termina nas células de resfriamento, sendo que, após essa etapa os produtos são levados para a Câmara de Estocagem e Expedição.

- Expedição e CIP (*Clean in Place*):

O Setor Estocagem e Expedição é o local onde os produtos são armazenados e permanecem sob temperatura controlada até serem enviados para os consumidores. Trata-se de uma grande câmara frigorífica que mantém os produtos sob temperatura máxima de 10ºC. Estocagem e Expedição é o departamento que controla toda logística para distribuir os produtos, é saída dos produtos acabados de uma fábrica de laticínios.

Além disso, a expedição e a distribuição dos produtos devem ser realizadas de modo a garantir que sua qualidade seja preservada. Deve-se:

- Impedir a alteração do produto e danos à sua embalagem;
- Ser adotado sistema FIFO (primeiro que entra, primeiro que sai);
- Na expedição de produtos acabados, garantir que os veículos para o transporte estejam: isentos de presença de pragas, vazamentos, umidade, materiais estranhos e odores desagradáveis, bem como adequados à temperatura exigida pelo produto.

3.2.1 Etapas de produção de queijo

O queijo é um produto obtido por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado), ou de soros lácteos coagulados pela ação física do coalho, de enzimas específicas, de bactérias especificas, de ácidos orgânicos, isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar,com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos,aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e matérias corantes. Abaixo há o esquema de produção de queijo (CETESB, 2006).

Segundo Indi (2008), usa-se leite de ótima qualidade, pasteurizado, acidez até 18ºD, 3,2% de gordura e temperatura de 32ºC. Empregam-se fermento lático ("Streptococcus lactis"e "Streptococcus Cremonis"), na proporção de 1% a 1,5% em relação ao volume do leite, e cloreto de cálcio, à base de 25 g/100 latas de leite. O cloreto deve ser diluído em água antes de adicionado ao leite.

A quantidade de coalho normalmente usada é de 25 gramas para cada 1.000 litros de leite. O tempo de coagulação é de aproximadamente 40 minutos. O corte da coalhada é feito com tiras de aço inoxidável, de modo a se obter grãos de 1,5 cm de aresta. Deixa-se a massa repousar por 5 minutos e a seguir faz-se a mexedura lenta e ininterruptamente, utilizando mexedor próprio, por 20 a 25 minutos.

A adição de sal ao soro, na proporção de 0,5% do volume inicial de leite, é comumente feita após o corte. Procede-se então à enformagem, utilizando-se fôrmas plásticas de fundo totalmente perfurado e em dessorador. Deixam-se as fôrmas em repouso por 30 minutos, faz-se a primeira viragem do queijo e cobre-se a superfície exposta com uma camada de sal (0,7%). Uma hora depois, repete-se a operação, recobrindo a outra superfície com sal e deixando-se repousar por mais 90 minutos.

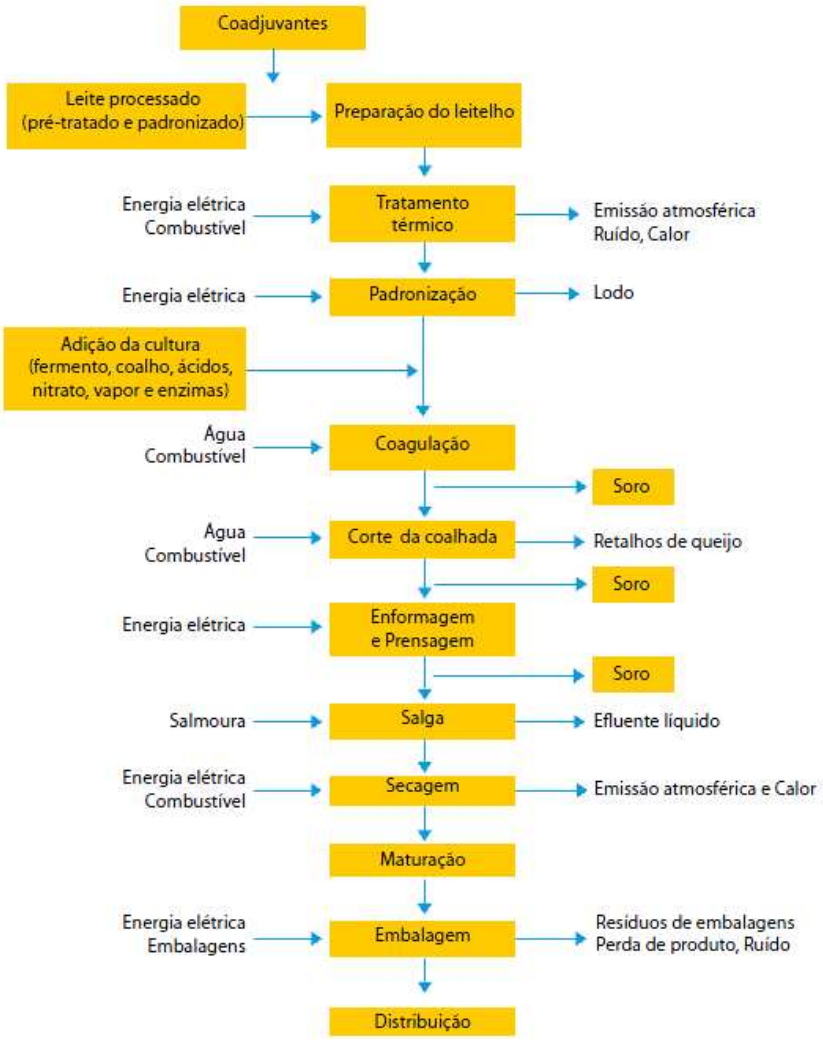


Figura 3.2 - Etapas do processo produtivo do queijo
Fonte: (CETESB, 2006)

Decorrido esse tempo, os queijos são levados à câmara de salga, onde recebem nova camada de sal e permanecem por 16 horas, sempre dentro das formas. Após retirados das fôrmas, os queijos são embalados em sacos plásticos e mantidos sob refrigeração.

3.2.2 Etapas de produção de iogurte

O iogurte é produto obtido pela fermentação láctea através da ação do *Lactobacillus buigaricus* e do *Streptococcus thermophillus* sobre o leite integral, desnatado ou padronizado. Já o leite

fermentado, é resultante da fermentação do leite pasteurizado ou esterilizado por fermentos ou bactérias lácticos próprios. Compreende vários tipos: o quefir, o iogurte, o leite acidófilo, o leitelho e a coalhada, os quais podem ser de matéria-prima procedente de qualquer espécie leiteira.

Abaixo encontra-se um ornanograma de um processo produtivo de iorgurte, segundo Fiesp (2008):

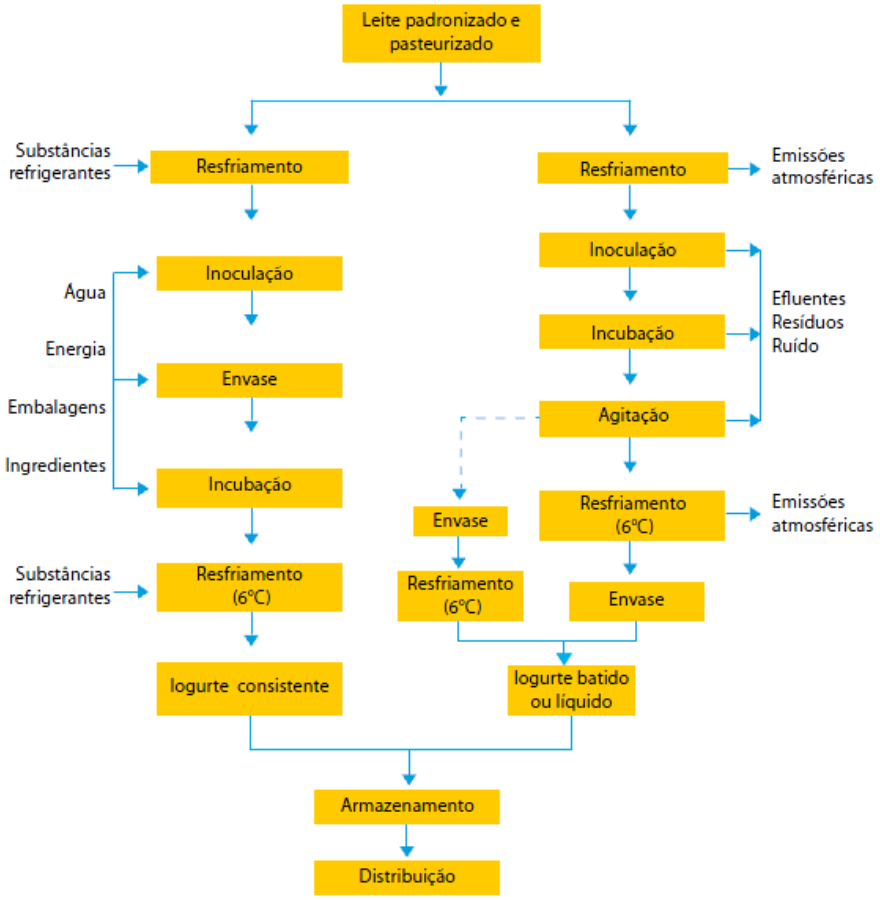


Figura 3.3 - Etapas do processo produtivo do iogurte
Fonte: (CETESB, 2006)

- Tratamento térmico:

Consiste em aquecer já pasteurizado a uma temperatura que pode variar de 85 a 90ºC, por um tempo que varia entre 5 a 15 minutos. A finalidade deste tratamento é a destruição de 100% dos microrganismos patogênicos, destruição da grande parte da flora banal, reduzindo à competição durante a fermentação, como também garantir condições higiênico-sanitárias adequadas.

- Padronização do extrato seco desengordurado:

Consiste geralmente em adicionar leite em pó desnatado ao leite que está sendo utilizado a finalidade é de aumentar o teor de sólidos do leite e com isso aumentar a capacidade de retenção de água das proteínas do leite, prevenindo o problema da sinerese, além de aumentar a consistência do produto final.

- Adição de açúcares e outros ingredientes:

Adiciona-se o açúcar e outros ingredientes (estabilizantes) antes do tratamento térmico para garantir a destruição de microrganismos que eventualmente possam estar presentes neles.

- Adição de cultura láctea:

Após o tratamento térmico, o leite com os outros ingredientes, deverá ser resfriado a uma temperatura entre 38 a 40ºC, sendo adicionado as culturas próprias do iogurte, preparadas anteriormente.

- Incubação:

Após a adição das culturas lácteas, realiza-se uma homogeneização com o objetivo de distribuir os microrganismo no leite e levamos a estufa a uma temperatura que pode variar entre 40 a 45º C, por um tempo de 3 a 5 horas, para que ocorra a fermentação.

- Resfriamento:

A função do resfriamento e inibir rapidamente o crescimento da cultura láctea, visando prevenir a elevada produção de ácido lácteo e também a separação da água. O resfriamento dos iogurtes podem ser feitos em câmaras frias ou túneis de resfriamento, ou no próprio tanque onde foi efetuada a coagulação.

- Adição de preparado à base de polpa de frutas:

O tratamento mecânico da quebra do coágulo para adição do Preparado a base de polpa de frutas representa uma fase importante no processo de fabricação do iogurte. A quebra do gel é um processo físico. Entretanto, algumas mudanças químicas podem ocorrer simultaneamente. O grau de quebra do gel depende do tipo de iogurte. No caso de iogurte batido, as partículas do gel possuem um diâmetro que variam de 0,01 - 0,4 mm, em quanto no iogurte líquido, as partículas

apresentam um diâmetro ao redor de 0,01 mm, sendo o limite visível com relação ao tamanho das partículas entre 0,1- 0,001 mm (0,1 mm visível/0,01 mm invisível).

A quebra do coágulo é uma etapa que deve ser bem controlada . Pois uma agitação excessiva durante esta etapa, pode levar a defeitos de consistência e viscosidade, com formação de duas fases, pela separação do soro da rede protéica. É sabido que o gel logo após a coagulação e com temperaturas próxima a 42 - 43º C, apresenta-se bastante frágil. Em virtude deste fato, é recomendado fazer-se a quebra do gel em temperaturas próximas a 5 - 7º C, visando preservar a estrutura do gel. Normalmente, após a quebra e homogeneização do gel deixa-se em repouso a 4ºC. por alguns minutos para restabelecer a firmeza.

3.2.3 Etapas de produção de leite Longa Vida

O processo produtivo do leite longa vida, o leite passa pelo processo de UHT, seja (Ultra Alta Temperatura). Neste processo, o leite (integral, parcialmente desnatado ou semidesnatado e desnatado) homogeneizado que foi submetido, durante 2 a 4 segundos, a uma temperatura entre 130ºC e 150ºC, mediante um processo térmico de fluxo contínuo, imediatamente é resfriado a uma temperatura inferior a 32ºC e envasado sob condições assépticas em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas.

O processamento direto de leite UHT pode ser realizado de dois modos:

- Através de sistemas de injeção, nos quais o vapor é injetado no leite a altas pressões;
- Através de infusão, no qual o leite é pulverizado no vapor.

Em alguns dos processos, é importante referir que neste método o leite entra em contacto direto com a água, o que caracteriza o método direto ao invés do método indireto.

Já o leite esterilizado é o produto embalado, submetido a vácuo direto ou indireto e afinal convenientemente esterilizado pelo calor úmido e imediatamente resfriado, respeitada a peculiaridade do produto. A esterilização do produto embalado obedecerá a diferentes graduações de tempo e temperatura, segundo a capacidade da embalagem do produto. Abaixo, há a figura do processo produtivo do leite UHT.

- Tratamento Inicial:

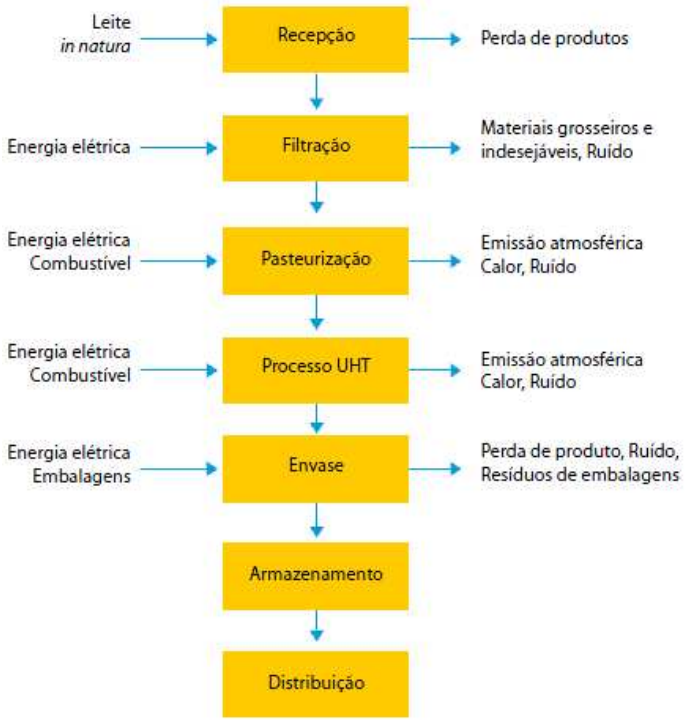


Figura 3.4 - Etapas do processo produtivo do leite UHT
Fonte: (CETESB, 2006)

Nesta etapa o leite é submetido aos critérios de análise são temperatura, redutase, acidez, lactofiltração, resfriamento, contagem global. Além dessas análises, algumas empresas fazem a contagem de células somáticas e a medir o teor de proteína;

- Sistema UHT:

No processo produtivo do leite longa vida são utilizadas técnicas de elevação da temperatura para o combate da flora patogênica e contaminante, como por exemplo germes esporógenos e das bactérias termoresistentes que são por natureza termoresistentes. Neste sistema o leite é aquecido à temperatura de 135 a 150ºC por um período de 2 a 4 segundos, é rapidamente resfriado e acondicionado diretamente em embalagem totalmente esterilizada (Sistema UHT).

Ele deve ser resfriado o mais rápido possível para manter sua boa qualidade microbiológica. Existem sistemas de aquecimento direto e indireto. No sistema indireto, a secção de troca de calor é aquecida com vapor. No sistema direto, o produto passa através de secção de pré-aquecimento do trocador de calor de placas, do injetor de vapor e da secção de retenção a quente ;

- Envase:

No atual estágio em que se encontram os processos de acondicionamento, que visam o crescente prolongamento do tempo de vida do produto nas prateleiras, redução do uso de conservantes e da necessidade de refrigeração, a assepsia, é fundamental para a indústria processadora de leite tipo longa vida. Para isso, é necessário o emprego de embalagens totalmente estéreis, livre de qualquer tipo de contaminação que possa ser passada para o produto a ser envasado. Em algumas máquinas, sob a forma de processos integrados de assepsia, produto e embalagem são esterilizados conjuntamente.

Os materiais de embalagem recebem banhos especiais à base de peróxido de hidrogênio (este possui grande poder bactericida, pois quando se decompõe gera oxigênio que age sobre os microrganismos oxidando-os) e são secados por meio de ar quente estéril. A embalagem utilizada neste processo é do tipo Longa Vida, produzida com material laminado de várias camadas: uma externa e duas internas de polietileno, uma de papel duplex para dar estrutura e uma de alumínio, para impermeabilizar e evitar a penetração da luz e do ar na embalagem.

Esse tipo de embalagem utiliza basicamente, 75% de papel, 20% de polietileno e 5% de alumínio. Esta embalagem é obtida a partir de um rolo do material de embalagem, que é transformado em tubo. O tubo é enchido com leite, e em seguida, é pressionado transversalmente, abaixo do nível do líquido, resultando em uma embalagem totalmente cheia do produto;

- Pós-esterilização:

O produto já esterilizado, envasado e selado em garrafas submetidas a condições higiênicas passa pela segunda esterilização tem o objetivo de eliminar uma possível contaminação na fase de envase e enchimento.

3.2.4 Etapas de produção do requeijão

O requeijão é um produto obtido pela fusão da massa coalhada, cozida ou não, dessorada e lavada, obtida por coagulação ácida e/ou enzimática do leite opcionalmente adicionada de creme de

leite e/ou manteiga e/ou gordura anidra de leite ou *butter oil*. O produto poderá estar adicionado de condimentos, especiarias e/ou outras substâncias alimentícias. Abaixo, pode-se encontrar a figura qu ilustra o processo produtivo do requeijão.

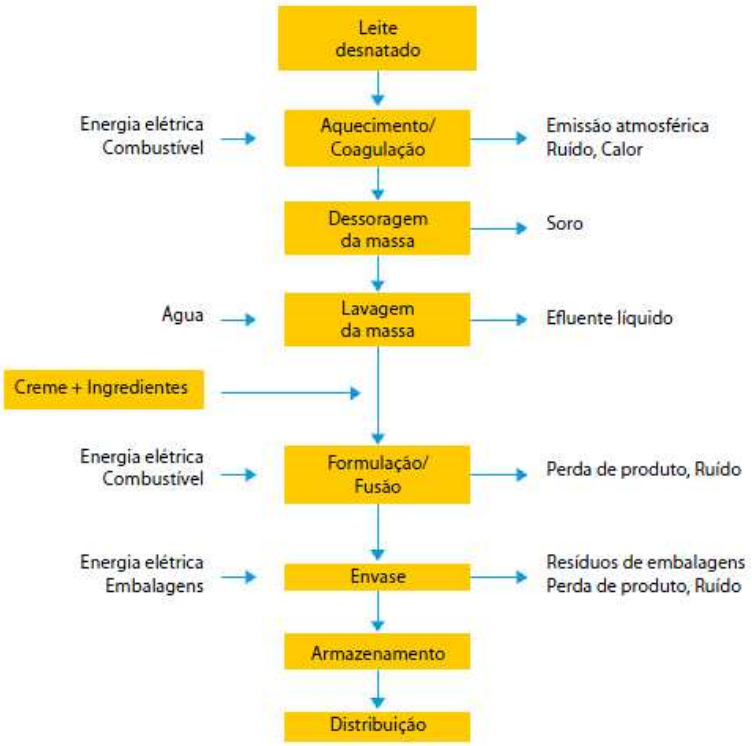


Figura 3.5 - Etapas do processo produtivo do requeijão
Fonte: (CETESB, 2006)

Segundo Oliveira (1990), tradicionalmente, trabalha-se com matéria-prima desnatada, prática esta proveniente da época em que a manteiga era o derivado mais valorizado do leite. No entanto, a utilização de leite desnatado justifica-se, também, devido às perdas de gordura no soro durante a etapa da dessoragem, resultantes da separação da gordura durante o processo de coagulação.

As etapas de produção do requeijão são as seguintes: Leite desnatado, que passa por aquecimento e coagulação, em seguida passa pela etapa de dessoragem da massa, de onde se obtém o soro. Depois essa massa é submetida à lavagem e adição dos ingredientes. Após esta mistura a massa é envasada, armazenada e está pronta para ser distribuída ao consumidor.

3.2.5 Etapas de produção do creme de leite

O creme de leite é um produto lácteo relativamente rico em gordura retirada do leite por procedimento tecnologicamente adequado, que apresenta a forma de uma emulsão de gordura em água. Abaixo, há um esqueme representativo do processo de produção do creme de leite.

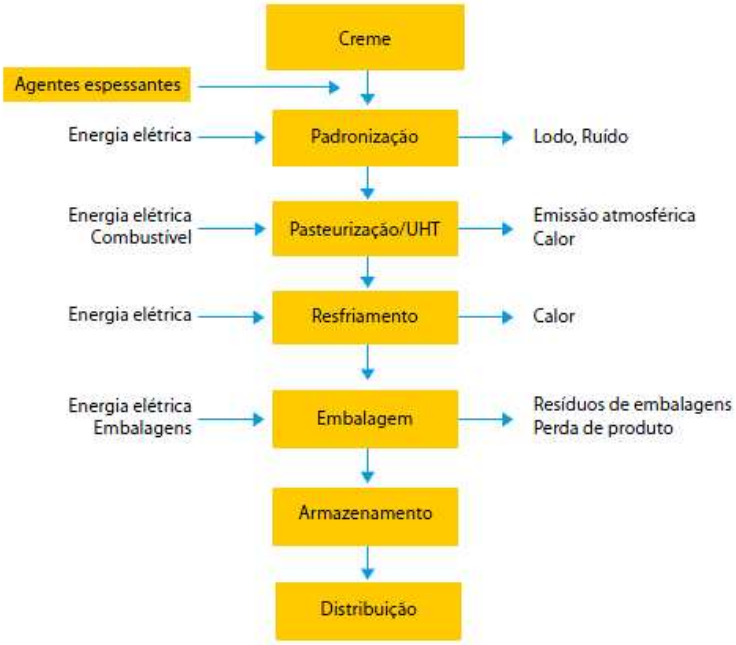


Figura 3.6 - Etapas do processo produtivo do creme de leite
Fonte: (CETESB, 2006)

O processo de fabricação do Creme de Leite tem início com a etapa de recepção, na qual o leite, antes de ser descarregado na fábrica, é submetido a análises que visam controlar sua qualidade. Uma vez aprovado, o leite é resfriado a uma temperatura inferior a 6°C para sua melhor conservação durante a estocagem.

A operação seguinte é a de desnatamento/pasteurização, que consiste em retirar a nata do leite para obtenção de um creme com 25% de gordura. Além de gerar o creme, essa operação também dá origem ao leite desnatado. Uma vez concluída a etapa, o creme é pasteurizado e resfriado.

Na sequencia, ocorre a estabilização, em que ao creme são adicionados sais estabilizantes para garantir sua qualidade durante o processo de esterilização, e a homogeneização, quando o glóbulo de gordura é transformado em partículas menores, com o objetivo de retardar a separação de

gordura do produto final. As próximas etapas são o enlatamento onde o creme é envasado em latas de folha-de-flandres, com controle de peso líquido e a esterilização, que é feita em autoclaves. Na operação seguinte, a liberação, uma amostra da produção é incubada para avaliação da qualidade microbiológica do produto final. Concluída a etapa de produção a embalagem é rotulada e acondicionada para ser expedida. O resultado final de todo esse processo industrial é um creme de leite puro, sem necessidade de refrigeração.

3.3 Considerações acerca de eficiência energética em processos produtivos em laticínios

Em termos da contribuição setorial no total de combustível conservado, assim como no caso da energia elétrica, o setor de alimentos e bebidas tem uma importância na estrutura de consumo maior do que sua participação nos ganhos de eficiência energética. Esta pequena alteração de ordem decorre da identificação de maiores potenciais de ganho relativo no consumo de combustíveis comparativamente a outros segmentos industriais. Por exemplo, nos fornos utilizados em produção cerâmica e caldeiras na produção de celulose e papel.

Pode-se isolar esse efeito relativizando a contribuição de cada subsetor à sua participação na estrutura atual do consumo de energia da indústria. Desse modo, pode-se perceber mais claramente quais segmentos exibem maiores (ou menores) ganhos relativos em termos da eficiência energética no consumo de combustível.

Segundo levantamento da CNI (2009), ainda há barreiras para implantação de programas de eficiência energética nas indústrias, sendo as principais listas abaixo:

- Legislação desfavorável a investimentos industriais em energia;
- Ausência ou não adequação das linhas de financiamento para ações de eficiência energética;
- Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimento;
- Necessidade de capacitação de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis;
- Aversão a riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias que consumam menos ener-

gia.

A identificação das barreiras aponta oportunidades de atuação para que o mercado de eficiência energética industrial se torne mais dinâmico. Como por exemplo: Maior difusão de informações de financiamento e ajustes na metodologia de concessão de créditos; Disponibilizar capacitações para que profissionais da indústria identifiquem oportunidades de eficiência energética e consigam transformá-las em oportunidades de ganho; Incentivos a projetos pilotos para demonstração de tecnologias inovadoras; Revisão da legislação visando incentivar projetos industriais de geração de energia; Acesso direto da indústria a recursos de fundos de financiamento de projetos de eficiência energética. Identificadas as barreiras e as oportunidades para uma efetiva ação em eficiência energética, a observação e a análise da experiência internacional poderão contribuir na configuração da melhor estratégia para as condições brasileiras.

Na indústria de laticínios, os motores elétricos são responsáveis por cerca de 90% do consumo de energia elétrica e o setor de geração de frio em um laticínio é grande contribuidor para este númuero. Dessa forma, algumas medidas que os gestores de energia em uma indústria deste setor podem realizar a fim de aumentar a eficiência energética e assim contribuir para a redução do consumo de energia são citados a seguir, segundo Eletrobrás (2006).

O aumento da temperatura de evaporação permite que quanto maior a temperatura de evaporação em que o sistema frigorífico opera, menor o consumo de energia. Tipicamente, cada 1ºC de aumento na temperatura de evaporação diminui o consumo de energia em aproximadamente, 1 a 4%. A redução no volume específico do fluido refrigerante associada ao aumento da temperatura de evaporação também afeta significativamente a capacidade frigorífica do compressor e a perda de pressão na linha de sucção. Pode-se estimar que cada 1ºC de aumento na temperatura de evaporação corresponderá um aumento de 4 a 6% na capacidade frigorífica do compressor, implicando menor tempo de operação deste equipamento.

Outro fator de contribuição para aumento de eficiência enegética é a diminuição da temperatura de condensação, sendo que a utilização de menores temperaturas de condensação resulta em menor consumo de energia nos sistemas frigoríficos. Tipicamente, cada 1ºC de redução na temperatura de condensação reduz o consumo de energia em aproximadamente 2 a 3%, obtendo-se ainda um pequeno aumento de capacidade no compressor.

Já o superaquecimento, que neste caso, corresponde ao aumento de temperatura do refrigerante acima da temperatura de evaporação, faz com que quanto maior o superaquecimento, maior

o volume específico do fluído na aspiração do compressor. Conseqüentemente, menor será a vazão mássica deslocada. Isto reduz a capacidade do compressor sem reduzir o seu consumo de potência, o que aumenta os custos. Dessa forma, realizar inspeções constante e realizar manutenção preditiva, contribuem para que o superaquecimento ocorra nas instalações industriais em laticínios.

Em relação aos sistemas frigoríficos, geralmente eles possuem mais de um compressor, os quais, freqüentemente, operam em carga parcial, sendo que isto deve ser evitado. Mesmo que os compressores possuam algum tipo de controle de capacidade, a sua eficiência com carga parcial é sempre menor do que com carga nominal. Assim, assegure-se de que sempre se tenha o menor número possível de compressores em operação e que estes estejam trabalhando com sua máxima eficiência (carga nominal).

4 SUSTENTABILIDADE E REAPROVEITAMENTO DE PRODUTOS NO PROCESSO PRODUTIVO NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

4.1 Sustentabilidade na indústria de laticínios: a questão ambiental

Na organização mundial atual, a energia pode ser considerada como um bem básico para a integração do ser humano ao desenvolvimento. Isso porque a energia proporciona oportunidades e maior variedade de alternativas tanto para a comunidade como para o indivíduo. Sem uma fonte de energia de custo aceitável e de credibilidade garantida, a economia de urna região não pode se desenvolver plenamente. Também o indivíduo e a comunidade não podem ter acesso adequado a diversos serviços essenciais, bem como ao aumento da qualidade de vida como a educação, saneamento e saúde pessoal (FAENQUIL, 2004).

De acordo com o documento da Eletrobrás (2006), as experiências dos Estados Unidos, por exemplo, e outros países desenvolvidos, têm demonstrado que, a longo prazo, a prevenção da poluição atravées da minimização de resíduos e de uma produção com tecnologias mais limpas eficientes, é mais sensata tanto na relação custo-benefício, como também para o próprio meio ambiente, se comparado com as técnicas tradicionais. Por exemplo, o estado da Califórnia nos Estados Unidos, vem realizando grandes investimentos na produção e desenvolvimento de tecnologias chamadas "verdes", ou seja, que são favoráveis ao meio ambiente e contribuindo também para redução do consumo de energia e aumento da eficiência energética.

Além disso, técnicas de prevenção da poluição podem aplicar-se a qualquer processo industrial, variando desde mudanças operacionais relativamente simples até mudanças mais profundas, tais como a substituição de matérias primas tóxicas, implementação de tecnologias mais limpas e eficientes ou instalação de equipamentos de recuperação de resíduos (HAMMOND, 2004).

Com a prevenção da poluição pode-se conseguir aumentar a eficiência da unidade indistrial, reduzir a quantidade de energia e matéria prima utilizadas na produção de bens e serviços e reduzir custos de disposição final devido a diminuição da quantidade de resíduos gerada. Além desses aspectos, a prevenção deve ser considerada na estratégia de ampliação de mercado, contando com

a melhoria da imagem pública da empresa e de seus produtos perante os consumidores, o que pode propiciar uma atração maior de investidores e acionistas contando com financiamentos favorecidos (GAUNT; LEHMANN, 2008).

O setor da indústria de laticínios, é grande produtor de efluentes e resíduos industriais. Assim, em casos de grandes e até médias instalações industrias, é necessário a instalação de uma Estação de Tratamento de Esgosto (ETE) local, sendo que neste são tratados, por lei, os efluentes que possam vir a danificar o meio ambiente caso estes sejam despejados na natureza sem o devido tratamento. Abaixo, tem-se um esquema com entradas de produtos no sistema industrial de um laticínio, juntamente com as saídas que são fontes potenciais de poluição ao meio ambiente (WANG et al., 2011).

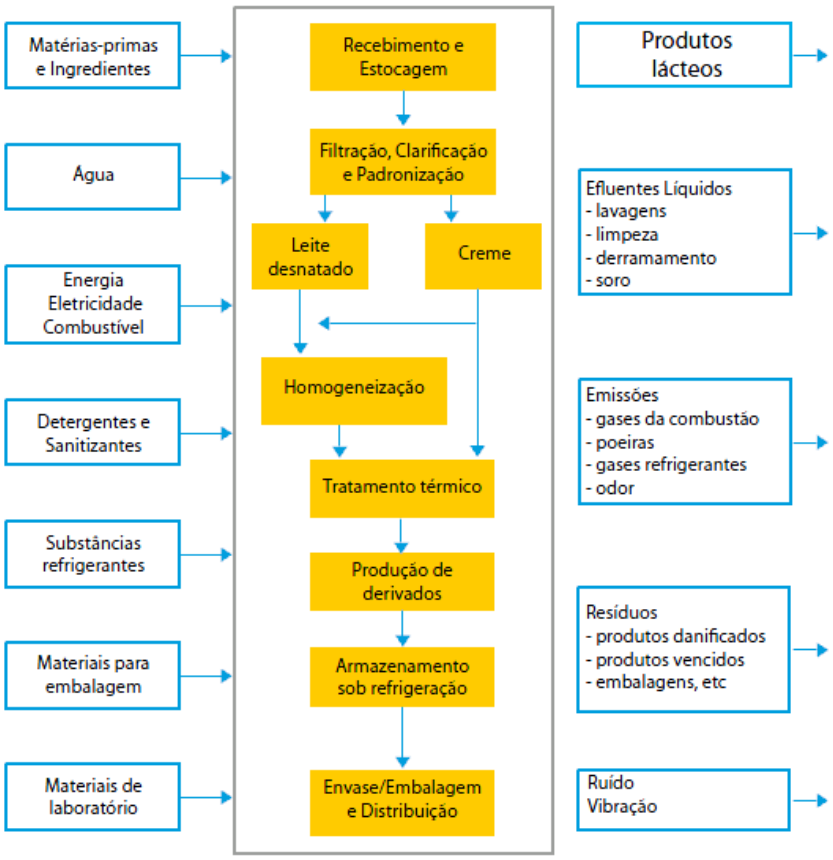


Figura 4.1 - Aspectos ambientais na produção de produtos lácteos
Fonte: (CETESB, 2006)

Segundo documeto da Cetesb (2006), a descarga de efluentes industriais e o principal impacto ambiental do setor. Alem da qualidade, merece também atenção a quantidade de efluentes gerados, uma vez que pode-se considerar a geração de 1 a 6 litros de despejos para cada litro de

leite processado. Normalmente, os pontos de geração de efluentes industriais são:

- Lavagem e limpeza de produtos remanescentes em caminhões, latões, tanques, linhas e maquinas e equipamentos diretamente envolvidos na produção;
- Derramamentos, vazamentos, operações deficientes de equipamentos e transbordamento de tanques;
- Perdas no processo, tais como em operações de "partida"e de "parada"do pasteurizador, arraste de produtos na evaporação (leite condensado e em pó) e aquelas resultantes do acerto das acondicionadoras, no inicio do processo de embalagem;
- Descarte de produtos, tais como: soro ou leite ácido.

Ainda segundo este documento, os efluentes líquidos da indústria de laticínios englobam os gerados no processo industrial e os sanitários, e normalmente contém:

- Leite e matérias-primas auxiliares (matérias lácteas geradas e não aproveitadas ao longo dos processos industriais, gordura, sólidos de leite retidos em clarificadores, filtros e grelhas, bem como restos ou pedaços de produtos finais, quando não removidos para reciclagem ou disposição em separado);
- Detergentes e desinfetantes usados nas operações de lavagem de pisos e lavagens gerais;
- Lubrificantes empregados na manutenção de equipamentos;
- Despejos sanitários.

Os efluentes industriais apresentam altos teores de óleos e graxas, e se caracterizam pela presença de sólidos suspensos, matéria orgânica expressa como DBO e DQO, e odor originado pela decomposição da caseína. O pH é praticamente neutro, mas tende a acidificar devido ao uso de ácido na limpeza durante o processo denominado *Clean in Place* (CIP) e à fermentação láctea dos resíduos e sua posterior conversão em ácido lático. Normalmente os efluentes apresentam os seguintes parâmetros (CETESB, 2006):

- Alto teor de orgânicos, devido à presença de substâncias do leite;
- Óleos e graxas, devido à gordura do leite e de outros produtos lácteos;
- Altos teores de nitrogênio e fósforo, principalmente em função do uso de produtos para

limpeza e desinfecção;

- Grandes variações no pH, residuais de soluções ácidas e alcalinas, basicamente das operações de limpeza;
- Alta condutividade, especialmente na produção de queijos devido ao resíduo de cloreto de sódio da salga;
- Variações na temperatura, provocadas por etapas produtivas específicas.

Ao se analisar a produção de cada um dos principais produtos resultantes dos processos produtivos em laticínios, de acordo com Fiesp (2008), pode-se ter fontes de perda que podem acarretar em despejo acidental de resíduos para fora das instalações industriais e serem potenciais fonte de poluição. No caso da produção de leite pode ocorrer vazamentos dos tanques de estocagem, transbordamento dos tanques de armazenamento, vazamentos ou derramamentos em bombas e conexões, depósitos da superfície de equipamentos, eliminação de lodo da filtragem/clarificação, vazamentos provocados por embalagens danificadas, problemas no processo de embalagem e nas operações de limpeza.

Já na produção do creme de leite e manteiga, pode ocorrer, vazamentos durante o armazenamento, vazamentos ou derramamentos em bombas e conexões, transbordamento dos tanques e problemas em operações de limpeza. Na produção de iogurtes os problemas são potencialmente os mesmos, incluindo-se vazamentos dos tanques de incubação. Na produção de queijos, alguns dos problemas que podem ser gerados são, vazamentos e derramamentos dos tanques de estocagem, perdas nos tanques de coalho, derramamentos dos moldes e separação incorreta do soro.

Além disso, deve-se levar em consideração que potenciais fontes de poluição do meio meio ambiente na indústria de laticínios podem surgir de diversas áreas na produção. Em áreas administrativas podem surgir resíduos como papel, papelão e outros produtos descartáveis. Nos restaurantes e refeitórios os potenciais resíduos são restos de comida e outros produtos descartáveis. Já na linha de produção pode-se ter produtos rejeitados como matérias primas, produtos semi-acabados e também produtos finais fora do padrão.

Pode haver também como fonte de resíduos, restos de embalagens como filme plástico, restos de madeira de pallets, sacos de papel e plásticos, vidro, papelão, bombonas e tambores. Nos laboratórios de controle de qualidade, situadas dentro das instalações do laticínio, pode haver resíduos gerados das análises como por exemplo produtos químicos altamente contaminantes.

Em relação à poluição do solo, nos arredores de laticínios, condições inadequadas de arma-

zenamento de produtos químicos e combustíveis são as principais fontes de poluição do solo. Em casos de vazamentos e/ou derramamentos, a ausência de barreiras de contenção pode resultar na contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas.

Outro fator, que o documento da CETESB considera como fonte de poluição do meio ambiente, de resíduos provindos de laticínios são as emissões atmosféricas. As fontes de emissão podem ser máquinas e equipamentos ou operações e para esse setor industrial devem ser considerados:

- Gases resultantes da queima de combustível: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOX) e de enxofre (SOX) e material particulado. O nível de emissões desses poluentes varia em função do tipo e qualidade do combustível utilizado, do estado das instalações e da eficiência e controle do processo de combustão;
- Gases refrigerantes, oriundos de eventuais vazamentos nos tubos de refrigeração;
- Vazamentos de vapor das tubulações;
- Exaustão de ar quente do evaporador de leite, que por sua vez transporta partículas de produto. Normalmente são instalados equipamentos de controle para remoção dessas partículas, entretanto a má operação do sistema pode ocasionar a geração de emissões;
- Esterilização das folhas de alumínio com peróxido de hidrogênio, em máquinas Tetra Pak;
- Odores;
- Vapores da torre de resfriamento.

Outros fatores estão relacionados ao ruídos gerados na indústria. Partes móveis de motores elétricos de bombas, o funcionamento de diversos equipamentos e os mecanismos de transporte de materiais podem gerar ruído e/ou vibração passíveis de causar incômodos à população de entorno. A produção mais limpa pode ser aplicada aos processos industriais, aos seus produtos e aos serviços inerentes às atividades produtivas, e as ações básicas devem ter foco na conservação das matérias-primas, água e energia; eliminação das matérias-primas tóxicas e perigosas; redução, nas fontes de geração, da quantidade e toxicidade de todas as emissões,efluentes e resíduos durante o processo produtivo (NETO, 2009).

Em geral, os processos desenvolvidos pelo setor de laticínios envolvem alto consumo de água e energia, e produzem quantidades também elevadas de efluentes líquidos, com alto teor de orgânicos. Uma vez que o consumo de insumos e a geração de resíduos e efluentes estão diretamente

relacionados à tecnologia adotada, às condições operacionais e ao gerenciamento de cada unidade, as oportunidades de Produção Mais Limpa (P+L) identificadas foram descritas de modo a permitir a redução do consumo e da geração de resíduos finais sem afetar a produção (SHAH; ADHYARU, 2011).

4.2 Reaproveitamento da água na indústria de laticínios

No Brasil, as externalidades ambientais associadas ao setor industrial e ao rápido crescimento urbano, no contexto do desenvolvimento das regiões metropolitanas, apontam para cenários futuros de escassez hídrica (ELETROBRáS, 2007).

Por outro lado, verifica-se que a concentração de indústrias ocorre justamente em regiões que apresentam elevado grau de urbanização, o que implica na necessidade das empresas buscarem reduzir o consumo de água, novas fontes de abastecimento e implantas sistemas fechados de utilização da água, com vistas à reciclagem do que até então era considerado como resíduos descartáveis, ampliando assim, o seu reaproveitamento para fins produtivos. Desta forma, poderá haver uma minimização dos conflitos pelo uso da água e a racionalização do uso deste recurso (ELETROBRáS, 2007).

A seguir é destacado os usos da água na indústria, que também se aplica à indústria de laticínios:

- Consumo humano: água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (lava-olhos, por exemplo) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;
- Matéria Prima: como matéria-prima, a água será incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, de cosméticos, de alimentos e conservas e de fármacos, ou então, a água é utilizada para a obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogênio por meio da eletrólise da água;
- Uso como fluido auxiliar: a água, como fluido auxiliar, pode ser utilizada em diversas

atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas,compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem;

- Uso para geração de energia: Para este tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
- Uso como fluído de aquecimento e/ou resfriamento: Nestes casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor, ou então, devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento;
- Outros Usos: Utilização de água para combate à incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

Para ilustrar, na Tabela 4.1 encontra-se alguns valores da distribuição de água na indústria.

Tabela 4.1 - Distribuição do consumo de água na indústria por atividades

Segmento Industrial	Resfriamento	Processos	Uso Sanitário
Laticínios	53	27	19
Abat. e limpeza de aves	12	77	12
Automóveis	28	69	3
Carne enlatada	42	46	12
Cimento	82	17	1
Celulose e papel	18	80	1
Frutas e veg. enlatados	19	67	13
Indústria têxtil	57	37	6
Refinaria de petróleo	95	4	1

Fonte: (ELETROBRáS, 2007)

A Conservação de Água pode ser compreendida como as práticas, técnicas e tecnologias que aperfeiçoam a eficiência do uso da água, podendo ainda ser definida como qualquer ação que:

- Reduz a quantidade de água extraída das fontes de suprimento;
- Reduz o consumo de água;
- Reduz o desperdício de água;
- Reduz as perdas de água;
- Aumenta a eficiência do uso da água;
- Aumenta a reciclagem e o reuso da água;

- Evita a poluição da água.

Os benefícios esperados através de um Programa de Conservação e Reuso da Água (PCRA) na indústria são muitos, sendo que a adoção deste programa, principalmente por laticínios, em que a água é dos recursos mais utilizados. Alguns destes benefícios são economia gerada pela redução do consumo de água; economia gerada pela redução dos efluentes gerados; conseqüente economia de outros insumos como: energia e produtos químicos; redução de custos operacionais e de manutenção dos sistemas hidráulicos e de equipamentos; aumento da disponibilidade de água (proporcionando aumento da produção sem incremento de custos de captação e tratamento); agregação de valor aos produtos; minimização dos impactos da cobrança pelo uso da água e complementação às ações de responsabilidade social da empresa.

4.3 Reaproveitamento da soro na indústria de laticínios

Segundo Pelegrine (2008), atualmente as indústrias de laticínios de pequeno porte, durante o preparo do queijo, descartam o soro do leite, produto de elevado valor nutritivo. Na tentativa de procurar condições que visem à diminuição de pelo menos parte dos desperdícios neste tipo de indústria, diversos estudos tem sido realizados com o objetivo principal de se formular novos produtos (bebidas enriquecidas com o soro do leite), nos quais é utilizado o soro doce do leite obtido no preparo do queijo.

O soro é gerado do processo produtivo de queijos. Representa 80 a 90% do volume total de leite que entra no processo e contém cerca de 50% dos nutrientes do leite: proteínas solúveis, lactose, vitaminas e minerais. Com o início da fabricação de queijos em larga escala, a disposição desse resíduo tornou-se um grande problema, uma vez que era descartado sem que fossem consideradas as consequências ambientais.

Aos poucos esse resíduo passou a ser tratado como sub-produto e a ser utilizado para produção de lactose e principalmente na alimentação de animais, e atualmente já pode ser considerado pelo seu valor nutricional, o que faz com que seu beneficiamento ou utilização adequados tenham grande importância econômica.

A lactose, que é a maior contribuinte da poluição causada pelo soro, tem propriedades es-

pecíficas como : poder edulcorante baixo, solubilidade baixa à temperaturas ambientes e alta à temperatura altas, hidroscopicidade reduzida, boa fixadora de aromas, bom poder absorvente de pigmentos, bom poder emulsificante, poder caramelizante, e faculdade de poder ser reduzida. Isto lhe confere uma boa utilização como suporte ou base na industria alimentícia, (SPREER, 1991).

Um outra propriedade da lactose é sua função como substrato nutritivo para uma grande variedade de microorganismos, o que faz com que ela seja aproveitada para produzir penicilina e outros antibióticos. A industria farmacêutica utiliza grandes quantidades de lactose refinada na preparação de numerosa medicamentos (SOROA, 1980). É também uma substância que está ganhando cada vez mais importância na industria alimentícia, sobretudo na elaboração de alimentos infantis e produtos dietéticos.

A lactose muito pura constitue uma fonte de galactose, açúcar que entra para formar parte nos cerebróxidos, lipídeos presentes em grande quantidade nos tecidos nervosos . É utilizada também em panificação, e na fabricação de batatas fritas. Estas são submergidas em uma solução de lactose para melhorar e regularizar a cor devido o cozimento.

Segundo Bieger e Rinaldi (2009), o reaproveitamento do soro de leite acarreta algumas mudanças nos fluxos das atividades entre os agentes da cadeia produtiva, especificamente, no elo industrial. O soro de leite que é um resíduo para os laticínios produtores de queijo, passa por um processo industrial para se tornar um insumo novamente introduzido nas indústrias de alimentos. No caso do laticínio estudado no trabalho deste autor , toda a produção é destinada para indústrias que utilizam o produto para secagem e produção de soro em pó, ou como ingrediente na formulação de diversos produtos alimentícios.

Este autor, ainda, conclui em seu estudo, que a conversão do resíduo de soro de leite, para insumo na forma de soro de leite concentrado, representa um novo fluxo de produtos que ocorre no âmbito do elo industrial, da cadeia produtiva do leite, com o diferencial de ser um produto descartado em certa atividade de transformação de matéria-prima, ou seja, a fabricação de queijo, onde se apresentava como um problema enquanto resíduo poluente. A partir do seu processamento, o soro de leite se torna um produto concentrado, convertendo-se em insumo passível de aproveitamento no próprio elo industrial, configurando uma nova dinâmica intra-segmento

No entanto, ressalta-se que o processo de secagem do soro, atualmente no Brasil, é muito dispendioso devido, tanto ao equipamentos necessários para realizar tal atividade, quanto pelo alto custo energético utilizado neste processo. Desta forma, somente grandes empresas instaladas no

Brasil, possui a atividade de secagem de soro, sendo que o produto de soro em pó é utilizado em linhas consideradas "premium"pelo mercado.

A seguir encontra-se a Figura 4.1, que ilustra todo o processo que resulta na produção de soro segundo Cetesb (2006):

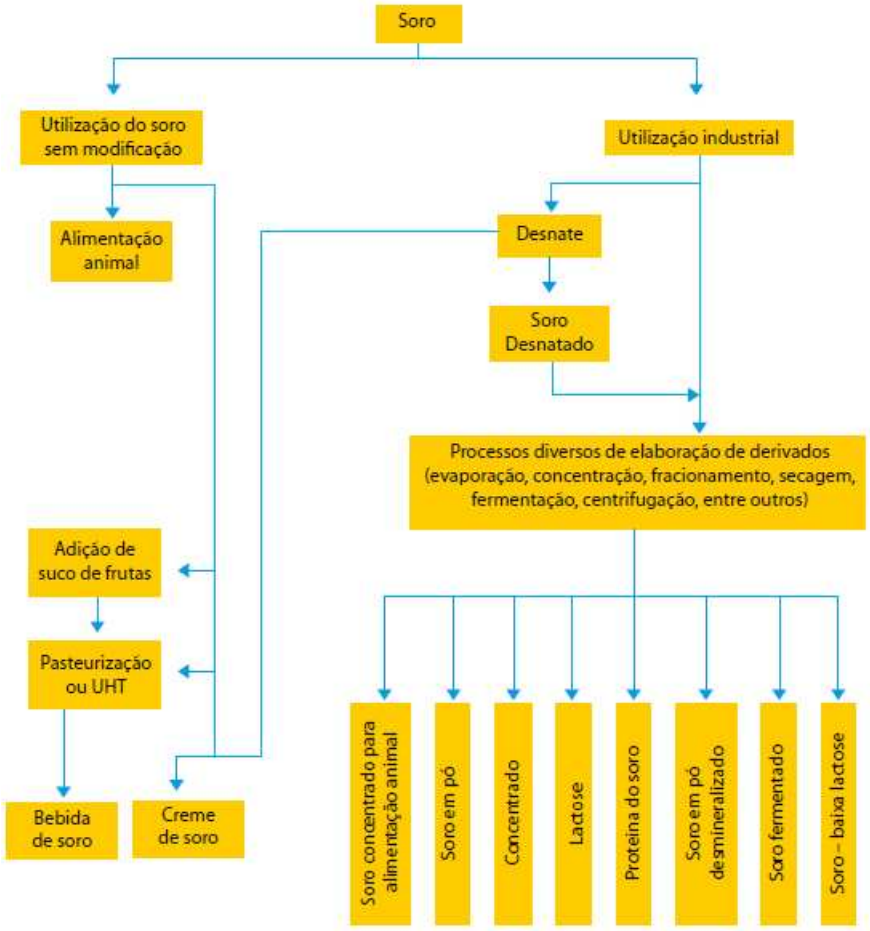


Figura 4.2 - Processo de recuperqmùqo de soro
Fonte: (CETESB, 2006)

5 OTIMIZAÇÃO E FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS

5.1 Formulações matemáticas do Caso 1

Segundo Pindyck e Rubinfeld (2010), muitas decisões em economia de energia se encaixam em certas categorias como quando o custo de um método proposto para conversão de energia deve ser comparado contra o custo de um outro método de conversão. Também há o caso de quando tem-se uma proposta de investimento para a redução do cunsumo de energia e esta deve ser avaliada para determinar se as economias de energia esperadas no futuro compensam o investimento, ou mesmo quando há duas ou mais alternativas propostas para desempenhar determinada tarefa devem ser comparadas, com custos de energia compreendendo uma porção significativa do custo operacional total para uma ou mais alternativas.

Os investimntos devem ser analisados do ponto de vista econômico e do ponto de vista financeiro principalmente. A análise econômica é o primeiro passo para tal, sendo que os resultados econômicos de um investimento consiste em analisar a rentabilidade total do projeto, considerando todas as receitas e despesas ao longo de um certo período de análise. A análise de viabilidade financeira é o passo seguinte, sendo que projeto deve ser economicamente atrativo. Outra situação é quando o aporte de recursos complementares ao capital dos próprios empreendedores melhora a atratividade do investimento.

A seguir será apresentada as formulações matemáticas dos métodos econômicos aplicados no Estudo de Caso 1. Os índices estudas e analisados foram o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Índice de Lucratividade (IL) e o *Payback*.

- Valor Presente Líquido:

Um dos critérios usuais de análise econômica está relacionado ao cálculo do VPL do fluxo de caixa associado a investimento. Para o cálculo do VPL, uma questão essencial é a consideração de que o dinheiro tem um valor temporal, ou seja, não é indifente receber (ou gastar) um montante para hoje ou para daqui a outro período adiante. Para isso, é necessário determinar-se a equivalência entre os valores futuros e presentes utilizando como base uma taxa de desconto escolhida, conforme

equação abaixo:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \tag{5.1}$$

onde:

P = Valor Presente;

F = Valor Futuro;

i = Taxa de desconto;

n = Número de períodos no futuro.

- Taxa Interna de Retorno (TIR):

A taxa Interna de Retorno (TIR), ou taxa de rentabilidade interna, é igual à taxa de desconto que "zera"o VPL, ou seja, iguala receitas e despesas observadas nos vários períodos de um fluxo de caixa.

Calculada a TIR, o valor encontrado deve ser comparado com a taxa mínima de atratividade arbitrada pelo empreendedor para as condições de viabilização do projeto considerado:

- Se TIR > i então aceita-se o projeto;
- Se TIR < i então rejeita-se o projeto.

onde:

i = Taxa de desconto.

Um dos procedimentos de solução e por tentativa e erro, outra alternativa é resolver o problema graficamente, encontrando o valor que iguala receitas e despesas. Matematicamente, a TIR corresponde a uma das raízes de um polinômio de grau n. A equação matemática abaixo:

onde:

Fn = Valores futuros a serem desembolsados por n períodos;

i = Taxa de desconto;

P = Valor do investimento inicial.

- Índice de Lucratividade (IL):

O Índice de Lucratividade compreende a relação entre o valor presente líquido do projeto e o módulo do valor presente dos desembolsos desse projeto, ou seja, é o valor presente líquido por

unidade de investimento. O critério adotado é o seguite:

Critério aceita/rejeita:

- Se IL > 0 então aceita-se o projeto;
- Se IL < 0 então rejeita-se o projeto.

Abaixo encontra-se a equação que determina o valor do IL.

$$IL = \frac{VPL}{VPdesembolsos} \tag{5.2}$$

- *PAYBACK*:

O método do payback simples mede o tempo necessário para se ter de volta o capital investido, sem considerar a mudança de valor do dinheiro no tempo. Seu valor fornece um indicativo do risco do investimento, sendo que quanto maior o valor do *Payback* de um investimento, mais tempo dverá ser o necessário para se obter o capital investido de volta e, portanto, maior é seu risco. O critério do Payback despreza todos os fluxos de caixa que ocorrem após o período de recuperação do capital invstido. Abaixo, ecnontra-se a formulação de *Payback* aplicado nest trabalho.

$$Payback = \frac{|FCn-|}{(|FCn-| + (FCn+)} * (((Ano+) - (Ano-)) + (Ano-)) \tag{5.3}$$

onde:

FCn- = Valor do Fluxo de Caixa do último valor negativo;

FCn+ = Valor do Fluxo de Caixa do primeiro ano positivo;

Ano+ = Número do ano em que primeiramente o Fluxo de Caixa aparece com valor positivo;

Ano- = Número do ano em que primeiramente o Fluxo de Caixa aparece com valor negativo;

5.2 Formulações matemáticas do Caso 2 e 3

Nesta seção será representada a parte da modelagem matemática dos Casos 2 e 3 na forma matemática, ou seja, na forma algébrica. Dessa forma, a função objetivo e as restrições serão desenvolvidas neste formato a seguir.

Função Objetivo: Representa a função a ser maximizada, que neste caso é a maximização da Margem de Contribuição (MC) unitárias, ou seja, de cada produto, multiplicada pelas quantidades a ser obtidas pelo Solver.

$$MaxZ = \sum_{i=1}^{6} a_i x_i \tag{5.4}$$

onde:

a_i = Coeficiente para a Margem de Contribuição (MC) de cada produto (R$/Kg ou L);

x_i = Quantidade ótima a ser obtida de cada produto (Kg ou L).

As restrições serão apresentadas abaixo:

Restrição 1 (R1): Essa restrição representa o o limite máximo de leite que entra no sistema que é igual a 20000 L. Este restrição também representa os coeficientes de rendimento em litros de leite para se gerar cada litro ou Kg de produto, sendo este coeficiente multiplicados pelas quantidades dos produtos a serem obtidas pelo modelo de otimização.

$$\sum_{i=1}^{6} b_i x_i \leq Q_L \tag{5.5}$$

onde:

b_i = Coeficiente de redimento em L de leite utilizados por L ou Kg de produto final;

x_i = Quantidade ótima a ser obtida de cada produto (Kg ou L);

Q_L = Quantidade de leite em L disponível para produção dos derivados sendo Q{L} = 20000 L.

Restrição 2 (R2): Este restrição está relacionada aos teores de gordura de cada produto final produzido, sendo que como o teor de gordura do leite tipo C é de 4%, a quantidade máxima é de 800 Kg Q{G}. Assim as quantidades individuais de gordura de cada produto (c{i}), multiplicada pelas quantidades individuais a serem obtidas de cada produto tem que ser menor ou igual a Q{G}.

$$\sum_{i=1}^{6} c_i x_i \leq Q_G \tag{5.6}$$

onde:

c_i = Quantidade de gordura individual de cada produto;

x_i = Quantidade ótima a ser obtida de cada produto (Kg ou L);

Q_G = Quantidade de gordura máxima.

Restrição 3 (R3): Esta restrição diz respeito à capacidade da fermenteira que é de 3000 L de produto final por dia, possuindo 1 unidade desse equipamento. Assim, a formulação matemática é determinada conforme a seguir:

$$x_2 \leq C_f \tag{5.7}$$

onde:

x_2 = Quantidade a ser obtida de iogurte;

C_F = Capacidade de produção diária da fermenteira que é de 3000 L/ dia.

Restrição 4 (R4): Esta restrição se refere à capacidade máxima da máquina envasadora de leite Longa Vida em embalagens de 1 L. A capacidade máxima em L/dia é de 3500L, conforme observa-se abaixo na formulação matemática.

$$x_4 \leq C_{LV} \tag{5.8}$$

onde:

x_4 = Quantidade a ser produzida de leite Longa Vida;

C_{LV} = Capacidade máxima de produção de leite Longa Vida que é igual a 3500L/dia.

Restrição 5 (R5): Esta restrição introduzida no modelo se refere à demanda de creme de leite, que por dia não ultrapassa 150 Kg no exemplo estudado. A formulação matemática para esta restrição encontra-se abaixo:

$$x_6 \leq D_{CL} \tag{5.9}$$

onde:

x_6 = Quantidade de creme de leite a ser obtida;

D_{CL} = Demanda do creme de leite em Kg/ dia que é igual a 150 Kg.

Restrição 6 (R6): Esta restrição trata da capacidade máxima de produção do queijo minas frescal, mais especificamente à quantidade de formas para o queijo, que no total, permite produzir até 7000 Kg de queijo por dia. Abaixo encontra-se a formulação matemática para esta restrição.

$$5{,}45x_1 \leq C_{FQ} \tag{5.10}$$

onde:

x_1 = Quantidade de queijo a ser encontrada pelo modelo de otimização;

C_{FQ} = Capacidade total de produção de queijos em Kg/ dia que é igual a 7000 Kg.

Restrição 7 (R7): Esta restrição refere-se à capacidade de produção diária de requeijão, sendo que neste modelo há duas panelas para produção deste produto, cada uma com capacidade de 100 Kg por dia. Dessa forma, a capacidade diária de produção de requeijão é de 200 Kg/dia. Abaixo está representada a formulação matemática para esta restrição.

$$x_5 \leq C_{PR} \tag{5.11}$$

onde:

x_5 = Quantidade de requeijão a ser obtida pelo modelo de otimização;

C_{PR} = Capacidade de produção de requeijão em Kg/dia, que é de 200Kg/dia.

Restrição 8 (R8) = Esta restrição baseia-se em relação à máquina envasadora de leite tipo C, sendo que sua capacidade é de 6500 L por dia, ou seja, 6500 saquinhos de 1 L por dia. A formulação matemática para esta restrição encontra-se abaixo.

$$x_3 \leq C_{LC} \tag{5.12}$$

onde:

x_3 = Quantidade de leite tipo C a ser obtida pelo modelo de otimização;

C_{LC} = Capacidade máxima da máquina envasadora de leite tipo C, em L/dia.

As restrições que se referem a tornar as quantidades dos produtos a serem produduzidas sempre positivas, pelo modelo de otimização do Solver, é representada de acordo com a formulação

matemática abaixo.

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0 \tag{5.13}$$

- Abaixo, encontra-se a figura que representa o modelo matemático do Solver realizado no software Excel. Nesta figura, tem-se os principais dados para a solução do problema como as restrições e a função objetivo.

	A	B	C	D	E
1	**Produto**	**Margem de Contribuição R$/Kg ou L**	**Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)**	**Gordura (%)**	**Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)**
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%	
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%	
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%	
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%	
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%	
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%	
8					
9	**Restrições**	**Capacidade (L ou Kg)**			
10	Volume de leite/dia	20000			
11	Quantidade de gordura	800			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	3500			
17	Demanda Creme	150			
18			***Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)***	**0,00**	
19	Restrição de Rendimento (R1)	0			
20	Restrição de Gordura (R2)	0,00			
21	5,45X1<=7000 (R6)	0			
22	x1 a x6 >= 0	0			

Figura 5.1 - Modelo matemático no Solver contendo restrições e dados principais
Fonte: Elaboração própria

- A Figura 5.2, demonstra a representação e esquematização no Excel da restrição (R1), referente ao rendimento em L ou Kg de produto final e também à quantidade de leite máxima que entra no sistema;
- A Figura 5.3 representa a demonstração da restrição (R2), que se refere às quantidades de gordura de cada produto e à quantidade máxima de gordura a ser gerada no sistema que é de 4%.

	A	B	C	D	E
1	**Produto**	**Margem de Contribuição R$/Kg ou L**	**Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)**	**Gordura (%)**	**Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)**
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%	
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%	
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%	
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%	
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%	
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%	
8					
9	**Restrições**	**Capacidade (L ou Kg)**			
10	Volume de leite/dia	20000			
11	Quantidade de gordura	800			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	3500			
17	Demanda Creme	150			
18					
19		=C2*E2+C3*E3+C4*E4+C5*E5+C6*E6+C7*E7			
20	Restrição de Gordura (R2)	0,00			
21	5,45X1<=7000 (R6)	0			
22	x1 a x6 >= 0	0			
23			***Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)***	**0,00**	

Figura 5.2 - Demonstração da construção da restrição R1
Fonte: Elaboração própria

- A Figura 5.4 representa a construção da restrição (R6), que se refere à capacidade do laticínio de produção de queijo, por meio das formas para produção do queijo minas frescal.
- Na Figura 5.5, está representada a função objetivo em que se multiplica os valores das margens de contribuição de cada produto pela quantidade a ser obtida no modelo de maximização da margem de contribuição.
- Na Figura 5.6, segue a figura que demonstra a tela de adição das restrições e também onde se escolhe que o problema é de maximização.
- A Figura 5.7, representa a tela de adição de cada uma das restrições adotadas no modelo de otimização no Solver do Excel.
- A Figura 5.8 demonstra as quantidade dos produtos a serem produzidos pelo modelo de otimização. Em seguida seleciona-se o Relatório de Resposta.
- Na Figura 5.9, está representada a tela com o Relatório de Respostas, por meio do qual tem-se o valor final da margem de contribuição maximizada e as quantidade dos

	A	B	C	D	E
1	Produto	Margem de Contribuição R$/Kg ou L	Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)	Gordura (%)	Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%	
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%	
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%	
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%	
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%	
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%	
8					
9	Restrições	Capacidade (L ou Kg)			
10	Volume de leite/dia	20000			
11	Quantidade de gordura	800			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	3500			
17	Demanda Creme	150			
18					
19	Restrição de Rendimento (R1)	0			
20		=D2*E2+D3*E3+D4*E4+D5*E5+D6*E6+D7*E7			
21	5,45X1<=7000 (R6)	0			
22	x1 a x6 >= 0	0			
23			Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)	0,00	

Figura 5.3 - Demonstração da contrução da restrição (R2)
Fonte: Elaboração própria

	A	B	C	D	E
1	Produto	Margem de Contribuição R$/Kg ou L	Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)	Gordura (%)	Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%	
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%	
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%	
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%	
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%	
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%	
8					
9	Restrições	Capacidade (L ou Kg)			
10	Volume de leite/dia	20000			
11	Quantidade de gordura	800			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	3500			
17	Demanda Creme	150			
18					
19	Restrição de Rendimento (R1)	0			
20	Restrição de Gordura (R2)	0,00			
21	5,45X1<=7000 (R6)	=C2*E2			
22	x1 a x6 >= 0 (R9 a R14)	0			
23			Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)	0,00	

Figura 5.4 - Demonstração da construção da restrição (R6)
Fonte: Elaboração própria

	A	B	C	D	E
1	Produto	Margem de Contribuição R$/Kg ou L	Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)	Gordura (%)	Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%	
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%	
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%	
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%	
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%	
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%	
8					
9	Restrições	Capacidade (L ou Kg)			
10	Volume de leite/dia	20000			
11	Quantidade de gordura	800			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	3500			
17	Demanda Creme	150			
18					
19	Restrição de Rendimento (R1)	0			
20	Restrição de Gordura (R2)	0,00			
21	5,45X1<=7000 (R6)	0			
22	x1 a x6 >= 0 (R9 a R14)	0			
23	Marge Final	=B2*E2+B3*E3+B4*E4+B5*E5+B6*E6+B7*E7			

Figura 5.5 - Demonstração da contrução da função objetivo
Fonte: Elaboração própria

	A	B	C	D	E	F
1	Produto	Margem de Contribuição R$/Kg ou L	Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)	Gordura (%)	Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)	
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%		
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%		
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%		
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%		
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%		
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%		
8						
9	Restrições	Capacidade (L ou Kg)				
10	Volume de leite/dia	20000				
11	Quantidade de gordura	800				
12	Fermenteira	3000				
13	Leite Tipo C	6500				
14	Forma de Queijo	7000				
15	Panela de Requeijão	200				
16	Demanda Leite Desnat.	3500				
17	Demanda Creme	150				
18						
19	Restrição de Rendimento (R1)	0				
20	Restrição de Gordura (R2)	0,00				
21	5,45X1<=7000 (R6)	0				
22	x1 a x6 >= 0 (R9 a R14)	0				
23	Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)	0,00				

Parâmetros do Solver

Definir célula de destino: $D$23

Igual a: Máx Mín Valor de: 0

Células variáveis: $E$2:$E$7

Submeter às restrições:
$B$19 <= $B$10
$B$20 <= $B$11
$B$21 <= $B$14
$E$2 <= $B$14
$E$2 >= $B$22
$E$3 <= $B$12

Resolver
Fechar
Estimar
Opções
Adicionar
Alterar
Excluir
Redefinir tudo
Ajuda

Figura 5.6 - Figura representativa da adição das restrições e maximização do problema
Fonte: Elaboração própria

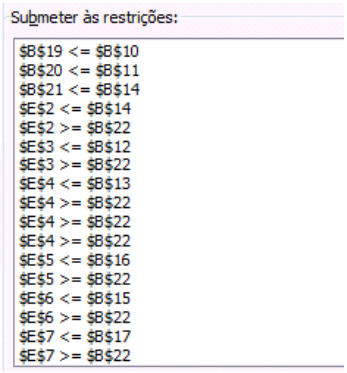


Figura 5.7 - Restrições no modelo de otimização
Fonte: Elaboração própria

	A	B	C	D	E
1	**Produto**	**Margem de Contribuição R$/Kg ou L**	**Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)**	**Gordura (%)**	**Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)**
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%	1284,4
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%	3000,0
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%	5620,0
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%	3500,0
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%	200,0
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%	150,0
8					
9	**Restrições**	**Capacidade (L ou Kg)**			
10	Volume de leite/dia	20000			
11	Quantidade de gordura	800			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	3500			
17	Demanda Creme	150			
18					
19	Restrição de Rendimento (R1)	20000			
20	Restrição de Gordura (R2)	658,62			
21	5,45X1<=7000 (R6)	7000			
22	x1 a x6 >= 0 (R9 a R14)	0			
23			***Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)***	**3036,61**	

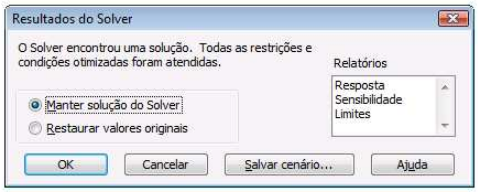


Figura 5.8 - Resultado das quantidades de produtos a serem produzidas
Fonte: Elaboração própria

produtos gerados pelo modelo de otimização.

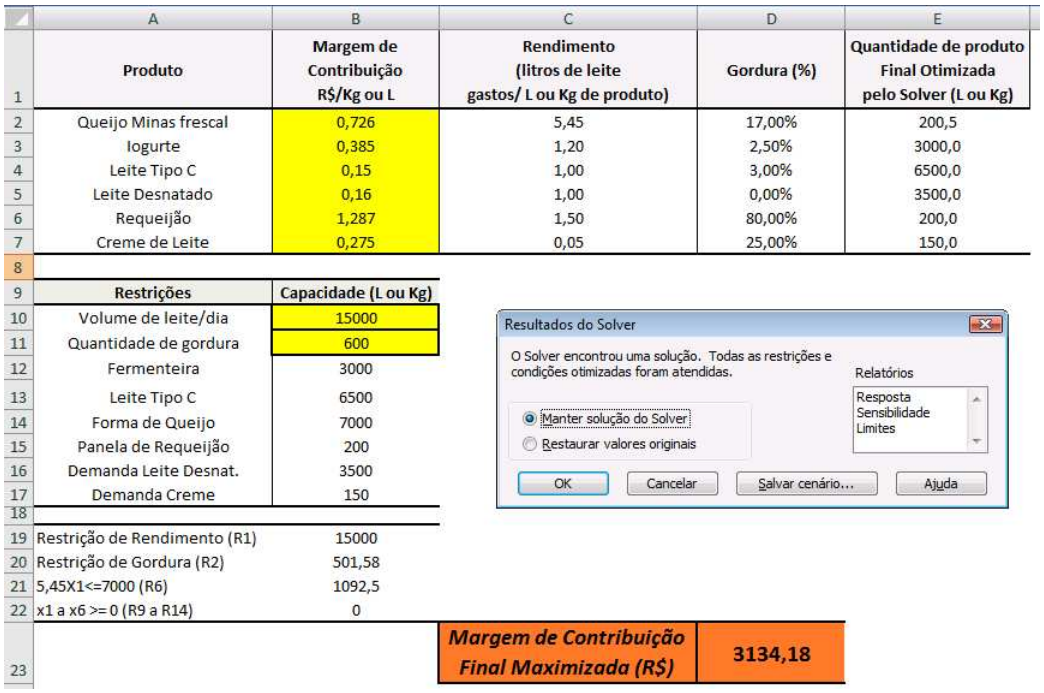
- Na Figura 5.10, está representada o aumento da capacidade produtiva do Leite Desnatado tipo Longa Vida, chegando a capacidade de 7000 L por dia. Esse é o Cenário 2, que é desenvolvido no estudo de caso 2.
- Na Figura 5.11, está representada o Cenário 3, em que há a redução da quantidade de leite que entra no sistema, juntamente com os aumentos nas margens de contribuição de cada produto.

	A	B	C	D	E	F
1	**Microsoft Excel 12.0 Relatório de resposta**					
2	**Planilha: [Simulacao Exemplo LATICINIO solver Dissertação2.xlsx]Plan1**					
3	**Relatório criado: 27/12/2012 16:29:31**					
4						
5						
6	Célula de destino (Máx)					
7		**Célula**	**Nome**	**Valor original**	**Valor final**	
8		$D$18	Margem de Contribuição Final (R$) Gordura (%)	0,00	3036,61	
9						
10						
11	Células ajustáveis					
12		**Célula**	**Nome**	**Valor original**	**Valor final**	
13		$E$2	Queijo Minas frescal Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)	0,0	1284,4	
14		$E$3	Iogurte Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)	0,0	3000,0	
15		$E$4	Leite Tipo C Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)	0,0	5620,0	
16		$E$5	Leite Desnatado Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)	0,0	3500,0	
17		$E$6	Requeijão Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)	0,0	200,0	
18		$E$7	Creme de Leite Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)	0,0	150,0	
19						

Figura 5.9 - Relatório de Resposta
Fonte: Elaboração própria

	A	B	C	D	E
1	**Produto**	**Margem de Contribuição R$/Kg ou L**	**Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)**	**Gordura (%)**	**Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)**
2	Queijo Minas frescal	0,66	5,45	17,00%	
3	Iogurte	0,35	1,20	2,50%	
4	Leite Tipo C	0,08	1,00	3,00%	
5	Leite Desnatado	0,12	1,00	0,00%	
6	Requeijão	1,17	1,50	80,00%	
7	Creme de Leite	0,25	0,05	25,00%	
8					
9	**Restrições**	**Capacidade (L ou Kg)**			
10	Volume de leite/dia	20000			
11	Quantidade de gordura	800			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	7000			
17	Demanda Creme	150			
18					
19	Restrição de Rendimento (R1)	0			
20	Restrição de Gordura (R2)	0,00			
21	5,45X1<=7000 (R6)	0			
22	x1 a x6 >= 0 (R9 a R14)	0			
23			***Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)***	**0,00**	

Figura 5.10 - Aumento da capaciadde produtiva do leite desnatado tipo Longa Vida
Fonte: Elaboração própria



	A	B	C	D	E
1	**Produto**	**Margem de Contribuição R$/Kg ou L**	**Rendimento (litros de leite gastos/ L ou Kg de produto)**	**Gordura (%)**	**Quantidade de produto Final Otimizada pelo Solver (L ou Kg)**
2	Queijo Minas frescal	0,726	5,45	17,00%	200,5
3	Iogurte	0,385	1,20	2,50%	3000,0
4	Leite Tipo C	0,15	1,00	3,00%	6500,0
5	Leite Desnatado	0,16	1,00	0,00%	3500,0
6	Requeijão	1,287	1,50	80,00%	200,0
7	Creme de Leite	0,275	0,05	25,00%	150,0
8					
9	**Restrições**	**Capacidade (L ou Kg)**			
10	Volume de leite/dia	15000			
11	Quantidade de gordura	600			
12	Fermenteira	3000			
13	Leite Tipo C	6500			
14	Forma de Queijo	7000			
15	Panela de Requeijão	200			
16	Demanda Leite Desnat.	3500			
17	Demanda Creme	150			
18					
19	Restrição de Rendimento (R1)	15000			
20	Restrição de Gordura (R2)	501,58			
21	5,45X1<=7000 (R6)	1092,5			
22	x1 a x6 >= 0 (R9 a R14)	0			
23			***Margem de Contribuição Final Maximizada (R$)***	**3134,18**	

Figura 5.11 - Cenário 3 no Solver do Excel
Fonte: Elaboração própria

6 ESTUDOS DE CASO

6.1 Estudo de caso 1: Estudo de viabilidade técnica-econômica de substituição de motores elétricos em laticínio

6.1.1 Introdução

Perante a forte concorrência de mercado em praticamente todos os segmentos industriais, e em função aos diversos benefícios oferecidos pelos projetos de eficiência energética atualmente, pode-se afirmar que tais projetos deixaram de ser apenas uma tendência de época e passaram a ser uma realidade e necessidade para as companhias se manterem competitivas.

A demanda mundial por energia vem crescendo continuamente. Em parte, isso decorre do crescimento populacional e das suas necessidades, o que resulta em mais indústrias, serviços e empregos. Porém, uma parcela significativa é constituída pelo desperdício de energia (ELETROBRáS, 2006).

O uso eficiente da energia interessa por si mesmo; como de resto são oportunas todas as medidas de redução das perdas e racionalização técnico-econômica dos fatores de produção. Cabe também observar o caráter estratégico e determinante que o suprimento de eletricidade e combustíveis apresenta em todos os processos produtivos. Ainda que represente uma parcela por vezes reduzida dos custos totais, geralmente não possui outros substitutos senão a própria energia, sem a qual os processos não se desenvolvem (ELETROBRáS, 2007).

Dessa forma, esse trabalho desenvolve um estudo de caso aplicado a motores elétricos, equipamentos responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica no setor industrial. O desenvolvimento deste estudo de caso está baseado em informações reais, extraídas de um banco de dados e através de um levantamento de campo em uma indústria do setor de Alimentos e Bebidas do segmento laticínios.

O trabalho foi motivado pelas oportunidades e benefícios que tal projeto poderá trazer para a empresa adotada, como economia de custo de operação, economia de custo de manutenção, re-

dução do consumo energético, renovação do parque fabril e reduções de emissões indiretas de CO2 equivalente, tema diretamente ligado à sustentabilidade. Além disso, este trabalhou resultou na publicação do artigo intitulado "Análise técnico-econômica de eficiência energética aplicada à substituição de motores elétricos"no VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético em 2012, cujos autores foram Bruno Rogora Kawano, Paulo Silva e Rafael Rodrigues da Silva.

Outro fator considerável para a escolha do tema foi a oportunidade de aplicar as técnicas de análise econômica a um estudo de caso prático, utilizando informações coletadas em campo, em uma indústria do segmento alimentício, tendo como principal objetivo analisar a viabilidade técnico-econômica do projeto através da aplicação de técnicas e teorias de engenharia e de economia.

Os motores de alto rendimento são equipamentos que utilizam tecnologia moderna, fruto de uma evolução aplicada a engenharia, que lhes proporciona a característica de retirar menor potência elétrica da rede para fornecer a mesma potência mecânica na ponta do eixo.

6.1.2 Materiais e Métodos

a) Aquisição de dados:

Para a realização da análise técnica foram identificados 441 motores, cujas potências são entre 1,5 cv a 324 cv, do Departamento de Utilidades. Esta área é responsável por 68% do consumo de energia elétrica da fábrica, conforme informado no Fluxo de Energia Elétrica na Figura 6.1 abaixo:

Para identificação dos motores foi adotado o banco de dados utilizado pela equipe de Planejamento de Manutenção da empresa, ou seja, o módulo Manutenção do software EMS, fornecido pela da empresa Datasul.

Para realização do trabalho de campo, que foi realizado por meio da equipe colaboradora do laticínio estudado e também por Bruno Kawano, Paulo Silva e Rafael Rodrigues da Silva, levantamento de corrente elétrica dos motores, foram utilizados dois equipamentos de medição, sendo eles o Analisador de Qualidade de Energia cujo modelo executa medições necessárias para manter sistemas de energia, detectar problemas de energia e diagnosticar falhas de equipamentos.

O segundo equipamento utilizado foi o Alicate Amperímetro Digital que é utilizado para

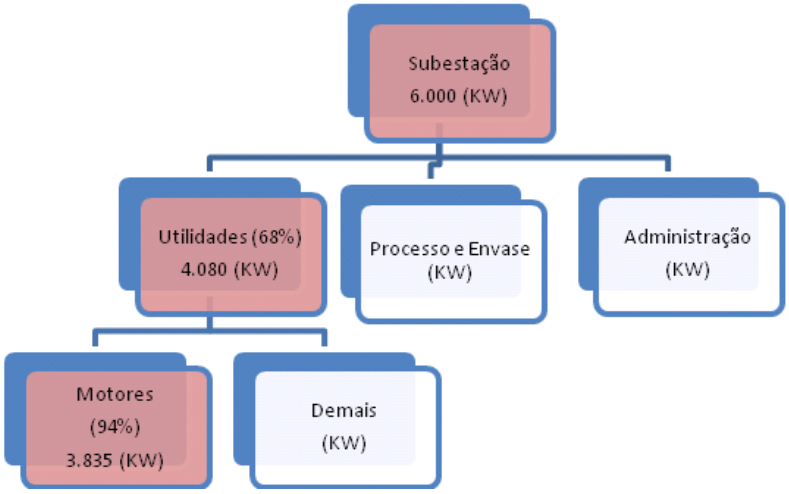


Figura 6.1 - Distribuição de energia na fábrica e representatividade dos motores elétricos no consumo de energia elétrica.

Fonte: Elaboração própria

analisar grandezas elétricas mais comuns como tensão, corrente e potência. É um equipamento simples e robusto, ideal para utilização nas rotinas diárias de fábrica.

6.1.3 Custo dos motores - Investimento

Em relação ao custo dos motores, eles tiveram seus custos estimados através da regressão exponencial dos dados de uma cotação prévia com o fornecedor WEG. O menor R (quadrado) atingido por tais regressões foi de 0,9785 para motores de 900RPM, rotação essa com pequeno número de motores da amostra total analisada. A Figura 6.2 abaixo apresenta tais regressões junto aos dados de cotação.

6.1.4 Custo de manutenção dos motores

Os custos de manutenção de motores foram definidos através de um valor apurado por Oliveira (2007) e demonstrados na Tabela 6.1. Os valores usados, dentre os tipos de manutenção

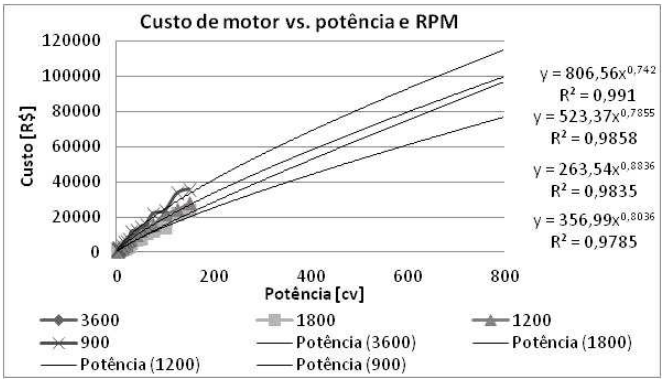


Figura 6.2 - Custo dos motores pela potência e rotação cujos dados foram obtidos a partir de dados de cotação com fornecedor da empresa WEG

Fonte: Elaboração própria e adaptado de WEG.

listados, foi o de Manutenção Preditiva, já que a planta utiliza esse regime de manutenção e os valores aqui apresentados são condizentes com a realidade da instalação e, portanto, para a amostra dos motores.

Como a análise aqui apresentada é para a substituição de motores, o custo de manutenção não deixa de existir pela simples troca dos motores. De forma, a capturar esse ganho pela economia de manutenção de motores novos, foi considerado que no ano 1 do fluxo de caixa a economia com a troca é total, no ano 2 também, mas nos anos 3 e 4 a economia é do valor calculado dividido por dois. Para os demais anos da vida útil dos motores novos não há economia perante os motores antigos.

Tabela 6.1 - Custo de manutenção por tipo de manutenção

Tipo de manutenção	US$/hp/ano (2007)	R$/hp/ano (2011)	R$/cv/ano (2011)
Corretiva	17,0 a 18,0	25,0	25,3
Preventiva	11,0 a 13,0	17,2	17,4
Preditiva	7,0 a 9,0	11,5	11,6

Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA, 2007)

Cabe neste trabalho ressaltar todo o esforço realizado para levantar as informações em campo, ou seja, no ambiente industrial. A coleta de dados correspondeu a cerca de 70% do tempo utilizado para realizar este estudo de caso. Todavia, destaca-se que a etapa de coleta de dados é preponderante neste tipo de avaliação, sendo que o sucesso técnico e econômico nesta etapa é condicionado a uma real e eficiente coleta de dados.

6.1.5 Análise técnica

Os índices de desempenho dos motores em uso foram aferidos através da análise de carregamento com o programa BDMotor que é um programa disponível gratuitamente no site do PROCEL.

Após aferida a condição de carregamento do motor em uso partiu-se para a análise de substituição desse motor por outro novo, de alto rendimento, também através do programa BDMotor a partir do qual foi possível realizar uma análise de quantidades de energia e valor economizado também neste módulo. Nesse módulo também foi realizada a análise de substituição de motores mal dimensionados (com carga abaixo de 50% da nominal do motor).

A partir dessas análises pode-se aferir a economia potencial de energia com a substituição dos motores em uso e proceder com valores monetários para a análise econômica.

A amostra de motores foi tratada através de planilha eletrônica, onde foram armazenadas as informações dos motores, carregamentos, novos consumos (quando a substituição é necessária ou com potencial economia), variação de parâmetros para a sensibilidade e outros fatores.

Os parâmetros analisados por sensibilidade foram o custo de investimento, o custo de energia elétrica e o custo de manutenção. Todos esses parâmetros foram analisados perante uma variação de 20% a mais e a menos, individualmente, para verificação de suas respectivas importâncias sobre índices econômicos da viabilidade do projeto - VPL, TIR, IL e Payback foram os índices escolhidos.

Os Fluxos de Caixa resultantes da análise dos motores - em conjunto - com Payback individuais menores que 10 anos sendo que todos possuem um horizonte de 10 anos de vida útil.

Conforme vai ser verificado na próxima seção de Resultados e Discussão, o cenário mais favorável em termos de retorno econômico do projeto, foi o que utilizou um total de 60 motores avaliados, sendo que estes são os que possuem menor potência e consequentemente os mais passíveis de serem subtituídos, tanto em termos técnicos como econômicos.

6.1.6 Resultados e Discussão

a) Índices financeiros (VPL, TIR, IL, Payback):

A seguir na Tabela 6.2, obteve-se os valores de Valor Presente Liquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback Simples e Corrigido. Os valores de VPL e TIR foram obtidos por meio das funções "VPL"e "TIR"de planilha eletrônica.

Tabela 6.2 - Retorno econômico dos investimentos

Motores	VPL (R)	TIR (%)	IL (%)	Payback Simples	Payback Corrigido
Todos	-809.729,00	-5,4	-54	> 10 anos	> 10 anos
Payback < 10 anos	17.716,00	12,8	6	5,3	8,9
Payback < 5 anos	46.599,00	17,6	26	4,4	6,6

Fonte: Elaboração própria

O resultado dos índices financeiros obtidos demonstram que a troca total dos motores elétricos antigos por novos representa um cenário negativo para a empresa implementar em uma única ação, sendo que o VPL, TIR, IL foram negativos e o Payback acima de 10 anos.

Já para um cenário de investimento de troca dos motores cujos valores de payback individuais foram abaixo de 10 anos é mais favorável economicante, sendo que o VPL, TIR e IL resultaram em valores positivos. Já os valores de payback, tanto o simples, quanto o corrigido apresentaram valores relativamente altos para os padrões adotados na empresa estudada.

Por fim, o cenário mais favorável obtido nessa análise foi para o caso de substituição dos motores cujos payback individuais foram abaixo de 5 anos, resultando em um investimento de R$189 mil. Dessa forma, neste último cenário, o VPL, TIR e IL demosntraram ser indicadores econômicos favoráveis ao investimento, sendo que o valor do VPL foi de R$ 46.599,00 a TIR de 17,6% o IL de 26% e o payback simples ficou abaixo de 5 anos, que demonstra ser um valor atrativo para a empresa em se tratando de investimento em setor de eficiência energética.

b) Análise de sensibilidade:

Foi realizada uma análise de sensibilidade para cada uma das seguintes variáveis: Investimento, Economia com Energia Elétrica e Custos com Operação e Manutenção (OM). Desejou-se avaliar o impacto de -20% e +20% em cada desses valores no VPL, TIR, IL e no Payback, onde

esses impactos foram representados na figuras a seguir.

- Valor Presente Líquido (VPL):

A Figura 6.3 representa o resultado da análise de sensibilidade, em que se variou os custos de investimento, economia de energia elétrica e custos de manutenção. Os valores representados na figura são as diferenças dos valores de VPL quando se variou -20% e +20% dos custos de cada item analisado. O valor zero na figura representa então o valor original do VPL.

De acordo com a Figura 6.3, nota-se que os custos de Investimento e a Economia de Energia Elétrica em R$, são mais impactantes no VPL em relação que o custo de OM. Nota-se que as diferenças em relação ao eixo zero (valor original do VPL) são maiores para esses dois custos em relação aos custos de OM. Dessa forma o tomador de decisão pode concluir que esses dois itens de custo são os mais impactantes no VPL.

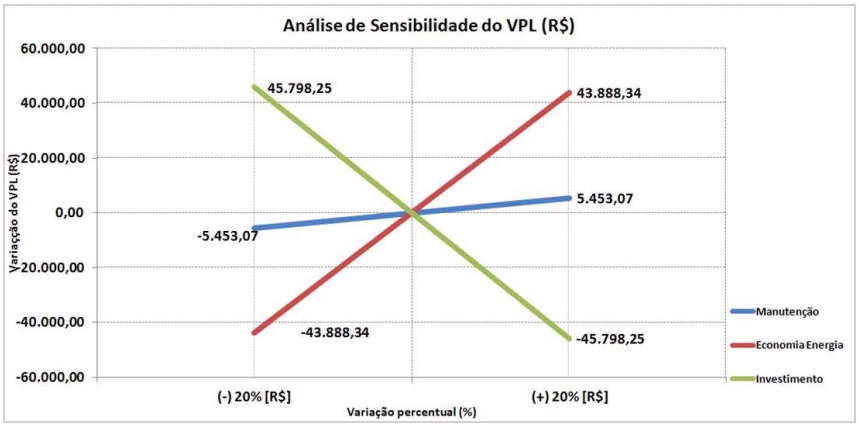


Figura 6.3 - Análise de sensibilidade do VPL
Fonte: Elaboração própria

- Taxa Interna de Retorno (TIR):

Para a TIR, Figura 6.4 Figura 6.4, a análise de sensibilidade seguiu o mesmo modelo que o VPL. Os valores representados na figura representam as diferenças dos valores da TIR em relação à TIR original considerada, que foi de 12,78%. Novamente, o padrão de que o custo de investimento e economia de energia foram os mais preponderantes em relação ao custo de OM, sendo possível concluir novamente que o peso de custos com OM são menos impactantes que os demais na TIR.

Índice de Lucratividade (IL):

A variação do Índice de Lucratividade, Figura 6.5 em relação aos itens de investimento,

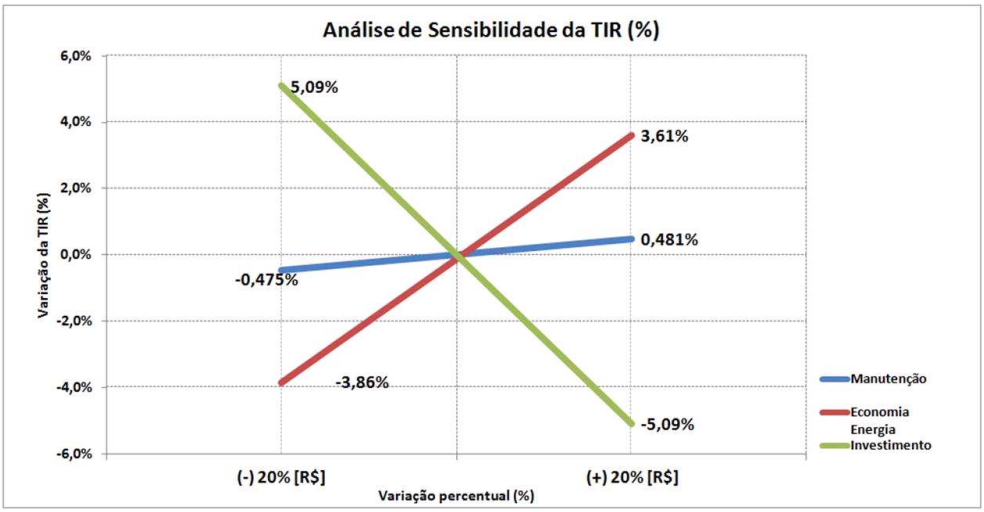


Figura 6.4 - Análise de sensibilidade da TIR
Fonte: Elaboração própria

economia de energia e custos com OM, obteve a mesmo conclusão de análise de sensibilidade, em que novamente estes, foram os valores mais relevantes em relação ao custos de OM. Os valores representados na figura abaixo são as diferenças em relação ao valor do IL original considerado que foi de 6,10%, para o cenário de Payback individual dos motores menor do que 10 anos.

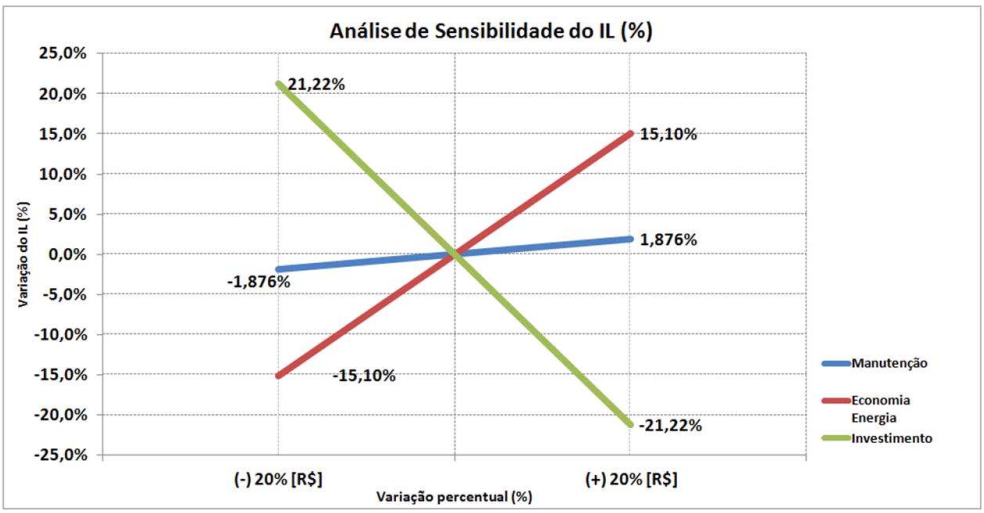


Figura 6.5 - Análise de sensibilidade do IL (%)
Fonte: Elaboração própria

- Payback Simples:

A análise de sensibilidade realizada sobre o valor do Payback Simples corrobora as outras análises dos outros valores econômicos. Novamente o custo de Investimento e a Economia de Energia Elétrica foram os que impactam mais no Payback, Figura 6.6, em relação aos custos com OM.

Dessa forma, pode-se concluir que negociações do gerente industrial ou responsável pelo acompanhamento desses custos, em relação, por exemplo, a obter descontos junto aos fornecedores de motores, podem ser importantes para se analisar os projetos através da visão técnica-econômica.

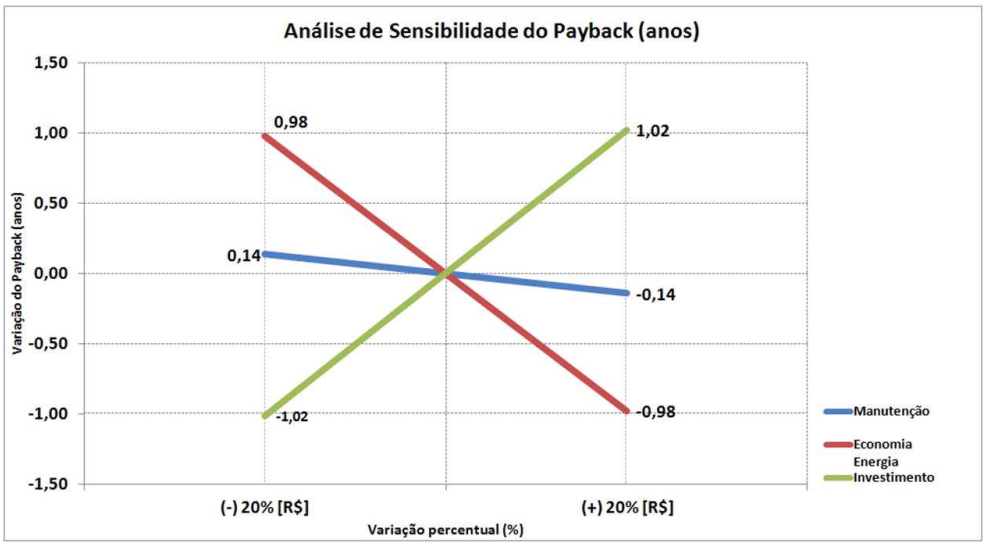


Figura 6.6 - Análise de sensibilidade do Payback (anos)
Fonte: Elaboração própria

6.1.7 Conclusões

Conclui-se este estudo de caso que integrou análises técnicas e econômicas forneceu base real para o suporte de uma situação de real de tomada de decisão de racionalização do consumo de energia. A análise técnica forneceu condição necessária para o estudo de caso real. A Gama de motores com viabilidade econômica de substituição foi de 19,3%, o que representa 60 motores, principalmente os de menor potência representando R$311 mil contra R$1.611 mil do total de motores.

A análise de sensibilidade demonstrou que o preço da energia elétrica e investimento na compra de novos motores são preponderantes sobre o custo de manutenção para todos os parâmetros avaliados como o VPL, TIR, IL e Payback. Dessa forma, essa análise permite, por parte do tomador de decisão, uma melhor visualização dos fatores mais preponderantes no momento de realizar um

investimento e dos principais fatores de custo na sua unidade produtiva.

Assim, este estudo de caso que representou um estudo de caso real pode contribuir para o fomento da adoção de programas de eficiência energética por outros pesquisadores e de tomadores de decisão da indústria. Em função aos bons resultados obtidos através das análises realizadas, o projeto será levado para apresentação à diretoria da empresa e apresenta grande possibilidade de ser implementado.

6.2 Estudo de caso 2: Otimização da margem de contribuição de um laticínio

Neste estudo de caso objetivou-se realizar por meio da Programação Linear a maximização da margem de contribuição de 6 produtos de um laticínio, em que foram levantados e descritos as principais variáveis e determinadas as restrições de produção.

6.2.1 Materiais e Métodos

Foram considerados 3 cenários de produção em que no primeiro adotou-se um lote de recepção de 20.000 litros de leite. Ressalta-se que estes dados são dados reais obtidos através do Laticínio X localizado no estado brasileiro do Rio Grande do Sul. A adoção deste lote de 20.000 litros é somente um exemplo tomado para a realização deste estudo de caso, sendo que a capacidade de recepção real deste laticínio é muito superior a este valor. Ainda sobre este cenário, a matéria-prima então foi destinada para a confecção de 6 produtos e são eles: Queijo Minas Frescal, Iogurte (Garrafa de 750 ml), Leite Tipo C (saquinho), Leite Desnatado (Longa Vida), Requeijão e Creme de Leite.

O segundo cenário considerou uma mudança na linha de produção da fábrica sendo a esta adicionada mais um equipamento de envase de Leite Desnatado (Longa Vida).

O terceiro cenário levou em conta o efeito da sazonalidade de produção do leite, que neste estudo, é a principal matérias-prima dos derivados analisados. Assim, considerou-se um aumento

das Margens de Contribuição dos produtos analisados e uma menor aquisição diária de leite que em média é de 20.000 litros de leite e no "período da seca", ou seja, no período em que há uma menor produção de leite devido à estiagem que afeta diretamente a produção de leite nas propriedades.

Para tal, realizou-se um levantamento das variáveis restritivas ao processo de produção de cada produto bem como sua devida análise para a construção do modelo matemático que foi resolvido por meio software Solver Pacote Office do Microsoft para a determinação da maximização da margem de contribuição desse lote de produtos para ambos os cenários estabelecidos.

6.2.2 Resultados e Discussão

Abaixo na Tabela 6.3, encontra-se o resultado do levantamento das variáveis que foram identificadas como importantes para a formulação da modelagem matemática. Estas são as margens de contribuição individuais (R$/Kg ou L produzido), assim como o rendimento de cada produto a partir de uma determinada quantidade de litros de leite que foi utilizada para a confecção de litros ou quilogramas de produto final.

Tabela 6.3 - Margem de contribuição e rendimento de cada produto analisado

Produtos	MC (R$/Kg ou L)	Rendimento (L leite /L ou Kg de produto)
Queijo Minas Frescal	0,66	5,45
Iogurte (Garrafa 750mL)	0,35	1,11
Leite Tipo C (Saquinho 1L)	0,08	1,00
Leite Desnatado (Longa VIda 1L)	0,12	1,00
Requeijão	0,17	2,00
Creme de Leite	0,25	0,05

Fonte: Elaboração própria

As restrições de produção, como capacidade dos equipamentos são:

- 1 Fermentadeira para produção de Iogurte, com capacidade para 3.000L de produto final, podendo ser utilizada uma vez ao dia;
- Quantidade de formas para produção de queijo Minas Frescal tem capacidada para 7.000 Kg de queijo;
- 2 Panelas cozinhadeira de Requeijão com capacidade de 100 kg;

Além disso, sabe-se que o teor de gordura padrão do leite integral foi considerado 4%, do leite desnatado 0%, e padronizado para produção de queijo e leite envasado tipo C em 3%. Além disso, o teor de gordura do creme obtido do processo de desnate do leite foi de 40% e para se produzir 1 Kg de Requeijão gasta-se cerca de 2 litros de creme a 40%;

Considera-se teor de gordura para o queijo Minas Frescal com 17% e o Iogurte com 2,5%, o Requeijão com 80% e Creme de leite a 25%. Quanto ao consumo de leite por lote estudado nesse caso foi de 20.000L de leite por dia e a produção de creme de leite deve ser menor que 150L por dia.

Em relação a estes 6 produtos, realizou-se por meio do Solver, um modelo para estabelecer o melhor mix de produção. O resultado mostrará as quantidades de cada produto a ser produzida que resultará na maior Margem de Contribuição, estabelecidas as restrições de para cada item.

Foi modelado também a seguinte situação: se compensa financeiramente a aquisição de outra máquina de envase de leite longa vida de 1L, e para isso foi levantado o preço desta que ficou em R$20.000,00 e a margem de contribuição por litro de leite envasado de R$0,31.

Em seguida são encontram-se as variáveis:

Z: função objetivo: representa, neste caso, a soma das Margens de Contribuição unitária de cada um dos produtos;

X1: Variável para a quantidade em kg de queijo Minas Frescal; X2: Variável para a quantidade em L de Iogurte (Embalagem de 750 ml); X3: Variável para a quantidade em L de leite C (saquinho 1 L); X4: Variável para a quantidade em L de leite Desnatado (longa vida 1 L); X5: Variável para a quantidade em Kg de Requeijão; X6: Variável para a quantidade em L de Creme de leite.

A função objetivo do problema será, portanto:

Max Z = Margem de Contribuição (X1,X2,X3,X4,X5,X6) - (Custo de Aquisição da Máquina de Envase de Leite Longa Vida 1L) = [0,66X1 + 0,35X2 + 0,08X3 + 0,25X4 + 0,17X5 + 1,12X6 + 0,31X7] - 20000Y

Abaixo estão as restrições (de 1 a 13, denominada de R1 até R14) relativas à produção e se baseiam nas informações citadas acima:

R1: Em relação à quantidade do lote em litro de leite estudado neste caso é de:
5,45X1 + 1,11X2 + 1X3 + 1X4 + 2X5 + 1X6 <= 20000

R2: Em relação aos teores de gordura do leite integral a equação estabelecida foi a seguinte:
0,17X1 + 0,025X2 + 0,03X3 + 0X4 + 0,8X5 + 0,25X6 <= 800

R3: Em relação à produção de Iogurte a restrição é:
X2 <= 3000

Esta restrição é devida à fermentadeira que possui capacidade de produção de 3000 litros de iogurte por dia;

R4: Em relação à demanda de Leite desnatado:
X4 <= 3500

Em relação a esta restrição, que se refere à quantidade de leite máxima que se pode produzir devido à capacidade da maquina envase do leite (em que 1 unidade desta corresponde à produção máxima de 3500 litros de leite por dia), somou-se a esta mais uma maquina caracterizando assim o segundo cenário considerado, ou seja, dobrou-se a quantidade de produzida de leite desnatado (Longa Vida 1 L);

R5: Em relação à demanda de Creme de leite:
X6 <= 150

R6: Em relação à utilização das formas de queijo:
5.45X1 <= 7000

R7: Em relação à utilização da panela cozinhadeira do Requeijão a restrição será:

X5 <= 200

R8: Com relação à capacidade da envasadora de leite tipo C em saquinhos de 1 L, a capacidade desta por dia é de 6500 L, ou seja, 6500 saquinhos de 1 L:

X3 <= 6500

R9 até R14: A restrição para que não ocorram valores negativos será:

R9 = X1 >= 0; R10 = X2 >= 0; R11 = X3 >= 0; R12 = X4 >= 0; R12 = X5 >= 0; R14 = X6 >= 0;

Na Tabela 6.4 encontra-se o resultado do primeiro cenário, em que este foi obtido após essas equações terem sido inseridas no Solver. Trata-se da determinação da quantidade que cada produto deve ser produzido a fim de se obter a maximização da margem de contribuição.

Já na Tabela 6.5, encontra-se o resultado para o segundo cenário em que foi considerado a aquisição de mais um equipamento de envase de Leite Desnatado (Longa Vida 1 L). Este até o momento, não foi adquirido devido ao fato de que possui um custo muito superior em relação ao custo da maquina de envase de Leite Tipo C (saquinho 1L), que até o momento possui maior produção em relação ao outro envase.

Tabela 6.4 - Quantidade ótima de produção obtida dos resultados do Solver no primeiro cenário

Produto	Quantidade
Queijo Minas Frescal	1284,4 Kg
Iogurte (Garrafa 750mL)	3000 L
Leite Tipo C (Saquinho 1L)	5620 L
Leite Desnatado (Longa VIda 1L)	3500 L
Requeijão	200 Kg
Creme de Leite	150 Kg

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que para todos os produtos, exceto para o queijo minas frescal e leite tipo C (saquinho de 1 litro), as quantidades ótimas de produção ficaram no limite de restrição de cada processo, demonstrado nas equações 1 a 7.

Tabela 6.5 - Quantidade ótima de produção obtida do Solver no segundo cenário

Produto	Quantidade
Queijo Minas Frescal	1284,4 Kg
Iogurte (Garrafa 750mL)	3000 L
Leite Tipo C (Saquinho 1L)	2120 L
Leite Desnatado (Longa VIda 1L)	7000 L
Requeijão	200 Kg
Creme de Leite	150 Kg

Fonte: Elaboração própria

Observa-se, Tabela 6.5, que no segundo cenário, onde houve a aquisição de mais uma maquina de envase de Leite Desnatado (Longa Vida 1L), a quantidade ótima obtida para a sua produção foi a máxima, principalmente devido ao fato de este ter uma margem de contribuição superior ao do Leite Tipo C (saquinho 1 L). Este por sua vez obteve teve sua quantidade reduzida de 5620 L para 2120 L, sendo esta quantidade realocada para a produção de Leite Desnatado (Longa Vida 1L).

Além disso, foi realizada a simulação de uma possível aquisição de outra unidade de máquina de envase de leite longa vida de 1L. O software do Solver do Excel gerou o resultado de que não é compensatório a aquisição desta, já que pelo preço de aquisição que foi de R$20.000,00, foi muito alto, mesmo com a margem de contribuição unitária sendo maior, de R$0,31. Assim, ressalta-se a importância de se buscar a redução de custos em outros pontos do laticínio.

Quanto a margem de contribuição maximizada obtida nos cenários 1 e 2 obteve-se o seguinte resultado na Tabela 6.6:

Tabela 6.6 - Margens de Contribuição nos Cenários 1 e 2

Cenário Considerado	MC Maximizada (R$)
Cenário 1	3036,61
Cenário 2	3176,6
Variação	4,6%

Fonte: Elaboração própria

Através do resultado obtido na Tabela 6.6, analisa-se que com uma possível aquisição de outra máquina de envase de Leite Desnatado (Longa Vida 1 L) há uma incremento de 4,6% na margem de contribuição maximizada para estes produtos indo de R$ 3036,61 no cenário 1 para R$ 3176,6 no cenário 2.

Em relação ao terceiro cenário, refere-se a analisar o efeito da sazonalidade de produção de leite nas propriedades no "período da seca", ou seja, no período em que há uma menor produção

de leite pelas vacas. Além disso, considerou-se que neste período, devido à redução desta matéria-prima (de 20000 L para 15000 L) e o seu consequente aumento do preço, há um aumento de 10% nas margens de contribuição (MC) individuais de cada produto, à exceção do leite tipo C que em média possui MC = R$0,08 passa a possuir MC = R$0,15 e o leite desnatado passa de uma MC = R$ = 0,12 para MC = R$0,16.

Assim, formula-se as novas margens de contribuição dos produtos estudados, cujos dados são apresentados abaixo, na Tabela 6.7:

Tabela 6.7 - Margens de Contribuição no Cenário 3

Produto	MC (R$/Kg ou L)
Queijo Minas Frescal	0,726
Iogurte	0,385
Leite Tipo C	0,15
Leite Desnatado	0,16
Requeijão	1,287
Creme de Leite	0,275

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, realizou-se essa mudança das Margens de Contribuição no modelo de otimização, conforme apresentada no Apêndice A, resultando nos seguintes resultados na Tabela 6.8 a seguir:

Tabela 6.8 - Resultado das quantidades maximizadas de produtos a serem produzidos no Cenário 3

Produto	Quantidade Otimizada (L ou Kg)
Queijo Minas Frescal	200,5
Iogurte	3000,0
Leite Tipo C	6500,0
Leite Desnatado	3500,0
Requeijão	200,0
Creme de Leite	150,0

Fonte: Elaboração própria

Além disso, a nova Margem de Contribuição Final Maximizada, foi de R$3134,18. Dessa forma, nota-se que neste cenário, houve aumento quantidade a ser produzida de leite tipo C, chegando até a sua capacidade máxima que é de 6500 L por dia. Já a quantidade de Queijo Minas Frescal teve sua quantidade reduzida, em relação ao Cenário 1, de 1284,4 Kg para 200,5 Kg.

Esse aumento da quantidade a ser produzida do leite tipo C e a redução da quantidade de queijo se justifica pelo fato de que o aumento da Margem de Contribuição do leite tipo C, como

sendo superior aos 10% em relação ao aumento da MC do queijo, assim para maximizar as quantidades produzidas houve redução na quantidade de produção do queijo minas frescal.

Em relação a Margem de COntribuição Final Maximizada, no Cenário 1 foi de R$3036,61, neste Cenário 3 a MC ficou em R$3134,18, que resulta em um aumento de 3,21%m sendo que considerando taxas de aumento de MC no setor industrial, este valor é consideravelmente alto.

6.2.3 Conclusões

Conclui-se através das análises dos resultados que a programação linear é uma importante ferramenta para a obtenção de otimização de qualquer medida que se queira avaliar. Neste trabalho, esta mostrou-se imprescindível na determinação de quantidades ótimas a serem produzidas no laticínio a fim de obter a máxima margem de contribuição.

Além disso, as análises permitem aos gestores uma melhor avaliação das opções que se tem para produção em diversos cenários.

6.3 Estudo de caso 3: Otimização do custo energético em um laticínio de pequeno porte

Neste estudo de caso pretende-se realizar a otimização de custos com energia em laticínios. Será realizada a análise em um laticínio fictício que pode ser considerado de pequeno a médio porte.

Sabe-se que o custo de energia em laticínios é preponderante em relação a outros custos dentro de sua estrutura produtiva, sendo esta constituída principalmente de geração de energia, operação dos equipamentos, matéria-prima e recursos humanos.

Tomou-se como exemplo uma planta industrial de laticínio de médio porte, sendo que será o mesmo do Estudo de Caso 2, com capacidade de processamento de 20.000 litros de leite por dia e com os mesmo produtos analisados. Somente para informação um laticínio de grande porte consome cerca de 1.000.000 litros por mês.

No caso do laticínio de pequeno porte, que denominou-se de Laticínio A. Este estudo de caso é uma continuação do segundo estudo de caso, sendo que vai ser analisado o efeito do reaproveitamento de calor residual da caldeira para aquecimento de água com a finalidade de utilização na produção da amostra dos 6 produtos analisados no Estudo de Caso 2.

Estes processos são aquecimento de água para lavagem de equipamentos como fermenteiras, tachos de produção de requeijão, lavagem das instalações internas e aquecimento de água para utilização desta como ingrediente na produção de iogurte, que necessita de aquecimento da água na fermenteira.

Além disso, vai ser considerado que neste laticínio, a produção da polpa de frutas utilizada na confecção dos iogurtes com sabores de frutas, é realizada no próprio laticínio. Sendo assim, neste caso, há também a aplicação de água aquecida no cozimento das frutas in natura para a produção de polpa para os iogurtes.

Dessa forma, espera-se que haja um aumento da margem de contribuição dos produtos analisados (Queijo Minas Frescal, Iogurte (Garrafa de 750 mL), Leite Tipo C (saquinho 1 L), Leite Desnatado (Longa Vida 1 L), Requeijão, Creme de Leite), devido ao fato de que haverá uma redução de custo no laticínio pelo reaproveitamento de calor provindo da caldeira. Neste caso considerou-se que esta redução de custo energético vai ser descontada diretamente nos custo de produção dos produtos analisados.

O calor residual de uma caldeira pode ser reaproveitado na indústria para geração de energia elétrica necessitando para tal que o porte da planta industrial seja maior, sendo necessários investimentos mais significativos para a obtenção de equipamentos específicos para a realização desta tarefa.

A seguir, será detalhada a análise do Laticínio A. A Tabela 6.9 apresenta as quantidades de água consumida por litro de leite processado. Verifica-se que em relação aos outros países, o Brasil possui um nível de consumo mais elevado, sendo que parte disso é explicada pela menor eficiência nos processos e maior desperdício de água, Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Quantidade de água consumida por litro de leite processado nos países

Produtos	Suécia	Dinamarca	Finalândia	Brasil
Leite e iogurte	0,015 a 0,024	0,060 a 0,097	0,012 a 0,029	0,039 a 0,045
Queijos	0,020 a 0,025	0,012 a 0,017	0,020 a 0,031	0,027 a 0,033
Leite	0,017 a 0,040	0,069 a 0,190	0,014 a 0,046	0,051 a 0,072

Fonte: Adaptado de (CETESB, 2006)

Dessa forma, vai ser considerado, de acordo a Tabela 6.9, o consumo de água para os produtos analisados. Além disso, de acordo com Fiesp (2008), o consumo de água quente na indústria de laticínios é cerca de 7% do volume total consumido. Lembrando os dados da Tabela 1, onde tem-se o valor de rendimento de litros de leite por quantidade (Kg ou L) de produto final, pode-se estabelecer o consumo de Água Quente por Kg ou L de produto final, conforme a Tabela 6.10.

Tabela 6.10 - Consumo de água total e água aquecida por L de leite processado estabelecido para os produtos analisados

Produto	Total (L/L)	Aquecida (L/L)	Aquecida/Kg ou L de prod. final
Queijo Minas Frescal	0,035	0,00245	0,013
Iogurte (Garrafa de 750 mL)	0,032	0,00224	0,002
Leite Tipo C (saquinho 1 L)	0,03	0,002	0,002
Leite Desnatado (LV 1 L)	0,033	0,002	0,002
Requeijão	0,03	0,0021	0,004
Creme de Leite	0,035	0,00245	0,002

Fonte: Elaboração própria

Tomando-se por base as quantidades ótimas apresentadas pelo Solver no Estudo de Caso 1, pode-se realizar o cálculo dos valores do consumo de água por produto por dia. De acordo com a SANASA (Serviço Municipal de Água e Esgoto de Campinas) o custo da água industrial para um consumo de acima de 50 m3, como é este caso, é de R$12,43/m3.

Considerando também que o custo de produção de água quente na indústria, é de R$0,03/m3, sendo que adicionando o custo de aquisição dos equipamentos necessários para recuperar o calor residual é de R$20.000, cujo valor vai ser amortizado em 18 meses (período necessário para se pagar o investimento).

Segundo (FIESP, 2008), cerca de até 13% do calor gerado na caldeira pode ser recuperável. Contando com as perdas, que é cerca de 2%, segundo dados de Fiesp (2008), até o aquecimento da água, somente cerca de 11% da energia em forma de água quente vai deixar de ser consumido no processo produtivo. Essa economia de energia em forma de água quente vai corresponder ao valor da Margem de Contribuição dos produtos. Portanto, esse novos valores podem alimentar a simulação de otimização, nos mesmos moldes que a realizada no Estudo de Caso 1 de forma a estabelecer um novo mix ótimo de produção para os 6 produtos analisados.

Agora levantando-se os valores ótimos de produção que o Solver obteve no processo de otimização (maximização da margem de contribuição) no Estudo de Caso 1, tem-se que o nível ótimo de produção/dia do Queijo Minas Frescal foi de 1284,4Kg, para o Iogurte foi de 3000L, para o

Leite tipo C foi de 5620L, para o Leite desnatado foi de 3500L, para o requeijão foi de 200Kg e para o creme de leite foi de 150Kg.

Dessa forma, pode-se obter a quantidade bruta e o custo de água quente utilizada por cada produto. Conforme comentado, somente é possível recuperar até 13% da energia da caldeira em forma de calor residual, e retirando-se as perdas ficam em torno de 11%. Assim, do valor do custo da água quente, deve-se utilizar somente 11% do valor para adicionar na margem de contribuição de cada produto, conforme a Tabela 6.11.

Tabela 6.11 - Dados de consumo e quantidade em L e em R$ de água quente a ser utilizada

Produto	Prod. ót. inicial (Kg,L)	Aquecida (L/dia)	C. aquecida (R$/dia)
Queijo Minas Frescal	1284,4	17,1	0,51
Iogurte (Garrafa de 750 mL)	3000,0	7,5	0,22
Leite Tipo C (saquinho 1 L)	5620,0	6,2	0,19
Leite Desnatado (LV 1 L)	3500,0	4,6	0,14
Requeijão	200,0	0,8	0,03
Creme de Leite	150,0	0,4	0,01

Fonte: Elaboração própria

A partir dos dados de Valor em R$ para se adicionar na MC, última coluna da Tabela 6.11, pode-se retomar o valor inicial da MC de cada produto na Tabela 6.12 e com isso somar os valores, resultando no Valor Final da Margem de Contribuição, sendo estes dados expressos na tabela abaixo.

Tabela 6.12 - Valor final da Margem de Contribuição em R$

Produto	R$ adicionar na MC	VI da MC (R$)	VF da MC (R$)	Var (%)
Queijo Minas Frescal	0,057	0,66	0,72	8,6
Iogurte	0,025	0,35	0,37	7,0
Leite Tipo C	0,020	0,08	0,10	25,5
Leite Desnatado	0,015	0,12	0,14	12,6
Requeijão	0,003	1,17	1,17	0,2
Creme de Leite	0,001	0,25	0,25	0,5

Fonte: Elaboração própria

Os valores da Tabela 6.12, mostram que a economia com a recuperação de calor gerou aumentos significativos na margem de contribuição dos produtos. Os valores do Leite Tipo C e do Leite Desnatado demonstram que há certa divergência. Muito se deve ao fato de os seus valores de utilização de água em seus processos produtivos serem muito baixos, como pode-se ver na Tabela 9. Contudo, para os demais produtos, os valores estão dentro de uma escala mais aceitável.

Agora estes novos valores da Margem de Contribuição vão ser adicionados no modelo inicial do Caso 1 e vai ser gerado um novo patamar ótimo de produção para os produtos analisados.

Abaixo segue a Tabela 6.13 com os dados da nova margem de contribuição:

Tabela 6.13 - Nova Margem de Contribuição MC dos produtos em RS/Kg ou L de produto

Produtos	Nova MC
Queijo Minas Frescal	0,72
Iogurte Garrafa 750mL	0,37
Leite Tipo C Saquinho 1L	0,10
Leite Desnatado Longa Vida 1L	0,14
Requeijão	1,17
Creme de Leite	0,25

Fonte: Elaboração própria

Assim a nova Função objetivo, sem considerar a aquisição da uma nova evasadora como no cenário 1 do Caso 2, será:

Max Z = Margem de Contribuição (X1,X2,X3,X4,X5,X6) = [0,72X1 + 0,37X2 + 0,10X3 + 0,14X4 + 0,17X5 + 0,25X6]

Realizando a inserção destes dados na mesma planilha do Caso 1, com as mesmas restrições, e sua resolução do problema de otimização no Solver do Excel, obteve-se os dados da Tabela 6.14:

Tabela 6.14 - Resultado do Solver para novas quantidades de produtos a serem produzidos

Produto	Qtde Inicial Caso 2	Qtde com nova MC
Queijo Minas Frescal	1284,4 Kg	1468,1 Kg
Iogurte (Garrafa de 750 mL)	3000 L	3000 L
Leite Tipo C	5620 L	5620 L
Leite Desnatado	3500 L	2642 L
Requeijão	200 Kg	200 Kg
Creme de Leite	150 Kg	150 Kg

Fonte: Elaboração própria

Nota-se pela Tabela 6,14, que houve redução na produção da quantidade de Leite Tipo C e aumento na quantidade ótima a ser produzida de Queijo Minas Frescal. Para o leite houve redução de 858 litros e para o queijo houve aumento de 183,7 Kg por dia.

Isso resultou em um aumento do valor ótimo, em que no Caso inicial era de R$3036,61/ dia para R$3109,42/ dia. O aumento foi de R$72,81 que em porcentagem foi de 2,39%. Levando em conta que, atualmente, uma indústria em um ambiente competitivo, trabalha com ganhos de por exemplo 0,5%, esse aumento de 2,39% é algo significativo quando pode-se pensar em uma

planta industrial de laticínio com maior capacidade de processamento ou mesmo em outras áreas de produção industrial como termelétricas e refinarias de petróleo. Nestes casos, qualquer aumento de 0,1% no aumento da margem de contribuição é muito significativo e buscado pelos gestores do meio.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusão

A partir de todo o estudo realizado, tanto por meio da revisão de literatura, quanto pela análise dos estudos de caso, pode-se concluir que o potencial de ganho em eficiência energética na indústria de laticínios é preponderante quando se aplicam conceitos e ferramentas tanto técnicas, que inclui a análise da otimização, quanto econômica, que inclui a aplicação das ferramentas da engenharia econômica.

Neste trabalho, conseguiu-se aliar os conhecimentos técnicos de engenharia e eficiência energética através do Estudo de Caso 1, que partiu de dados dados reais coletados "em campo"com conhecimento advindos da aplicação de ferramentas da economia. Os resultados, para o estudo de Caso 1 foram muito satisfatórios tendo em vista que os resultados foram apresentados para a equipe gestora e responsável pela área de eficiência energética do laticínio estudado.

No Estudo de Caso 1, que integrou análises técnicas e econômicas, o destaque foi para a base real de dados para o suporte de uma situação de real de tomada de decisão de racionalização do consumo de energia. A gama de motores com viabilidade econômica de substituição foi de 19,3% representando R$311 mil contra R$1.611 mil do total de motores.

A análise de sensibilidade demonstrou que o preço da energia elétrica e investimento na compra de novos motores são preponderantes sobre o custo de manutenção para todos os parâmetros avaliados como o VPL, TIR, IL e Payback. Para o caso de troca do todos os motores o VPL ficou negativo em cerca de R$809 mil, no caso de substituição dos motores com Payback menor do que 10 anos o valor do VPL ficou positivo em cerca de R$17,7 mil e para VPL com Payback menor que 5 anos este valor foi para R$46,6 mil.

No caso da TIR, no primeiro cenário o valor ficou negativo em -5,4%, já nos cenários subsequentes estes valores foram para 12,8% e 17,6%. No caso do IL, no primeiro cenário este valor ficou em -54% e nos seguintes em 6% e 26%. Já nos casos de Payback simples e corrigido, o cenário mais favorável à troca dos motores foi para os que obtiveram retorno sobre o investimento menor do que 5 anos. Dessa forma, essa análise permite, por parte do tomador de decisão, uma

melhor visualização dos fatores mais preponderantes no momento de realizar um investimento e dos principais fatores de custo na sua unidade produtiva.

Assim, este trabalho, que representou um estudo de caso real, pode contribuir para o fomento da adoção de programas de eficiência energética por outros pesquisadores e de tomadores de decisão da indústria. Em função aos bons resultados obtidos através das análises realizadas, o projeto será levado para apresentação à diretoria da empresa e apresenta grande possibilidade de ser implementado.

Através dos levantamentos realizados pela revisão de literatura, permitiu-se realizar uma análise crítica sobre as políticas de eficiência energética vigentes no Brasil e de até que ponto essas iniciativas são abrangentes os suficiente para que haja uma real adesão de todos os setores, principalmente os energo-intensivos, em programas que visem a aumentar a eficiência energética e também a conservação de energia na indústria.

No caso do Brasil, tem-se alguns programas de eficiência energética que são aplicados principalmente aos maiores consumidores de energia elétrica, que é a indústria e o setor residencial. Conforme demonstrado neste trabalho, conclui-se também que há a necessidade de maior regulamentação no setor de controle de níveis mínimos de eficiência energética, ou níveis máximos de consumo de enegia elétrica para outros setor que não somente o de motores elétricos e outros poucos equipamentos, que atualmente são regulamentados pelo INMETRO, por meio de laboratórios autorizados a realizar as devidas inspeções.

Além disso, constatou-se que o setor da iniciativa privada, tem investido relativamente pouco em suas instalações a fim de proporcionar maiores níveis de eficiência energética. Este fato é sustentado, porém não justificado m termos de potencal de ganhos econômicos, pelo fato da instalação da atual crise econômica pela qual o mundo vem passando desde 2008.

Como no Brasil grandes empresas na área da indústria de laticínios, são multinacionais, sendo estas as que possuem as maiores capacidades de investimentos vultosos em eficiência energética, possuem suas matrizes em países em que está instalada a crise econômica de forma mais profunda, quando comparada ao Brasil. Estes países são França, Itália e Estados Unidos.

As empresas instaladas no Brasil e que se destacam em invstimentos em eficiência energética são Danone e Braskem. A Danone, é uma empresa multinacionais, com sua matriz sediada na França, sendo que o tamanho da indústria de alimentos do Brasil é uma das maiores entre as unidades no mundo. Nesta empresa tem havido investimento em eficiência energética bem como o

acompanhamento e realização de auditorias energéticas que permitem um maior controle do uso de energia na planta industrial.

Foi avaliado neste trabalho também, que nos processos de produção de laticínios, principalmente dos produtos estudados nos Estudos de Caso 2 e 3, como o quiejo, o iogurte, o leite longa vida, o requeijão e o creme de leite, que há oportunidade de ganho em eficiência energética. Por meio da avaliação de análise dos seus processos de produção, listou-se diversas medidas que ajudam os gestores de laticínios a aumentar os níveis de conservação de energia, principalmente na área de refrigeração, que nos laticínios é representada principalmente pela câmara frias e pelos motores elétricos.

No Estudo de Caso 2, o valores da Margem de Contribuição Maximizada do cenário 1 foi de R$3036,61 e no cenário 2 foi de R$3176,6, o que representou um aumento de 4,6%. Já no cenário 3, a MC maximizada foi de R$3134,18, o que representou um aumento de 3,21% em relação ao cenário original. Além disso, pode-se concluir deste estudo de caso que através das análises dos resultados que a utilização da programação linear, por meio do uso do software SOLVER do Excel, é uma importante ferramenta para a obtenção de otimização de qualquer medida que se queira avaliar. Neste trabalho, esta mostrou-se imprescindível na determinação de quantidades ótimas a serem produzidas no laticínio a fim de obter a máxima margem de contribuição. Além disso, as análises permitem aos gestores uma melhor avaliação das opções que se tem para produção em diversos cenários.

A obtenção dos níveis ótimos de produção dos produtos estudados nos Estudos de Caso 2 e 3 foi satisfatória quando comparamos às quantidades iniciais produzidas sem a ajuda do modelo de otimização, quando se trata do valor da Margem de Contribuição (MC) analisado. Concluiu-se também que as análises de sensibilidade realizadas em todos os estudos de caso foram imprescindíveis para uma maior compreensão dos cenários com o qual um gestor de uma indústria de laticínios pode se deparar.

Além disso, tanto os resultados iniciais, quanto os resultados das análises de sensibilidade ajudam a obter uma maior percepção sobre o funcionamento e os fluxos de matérias-primas e os produtos finais a ser produzidos em um determinado tempo. Isto porque, um dos principais dilemas nas indústrias de laticínios é a determinação de, justamente, um ponto ótimo a ser produzido de cada produto, dentro do portifóio e capacidade da empresa de produzir determinadas quantidades de lotes dos mesmos.

No Estudo de Caso 3, obteve-se uma Margem de Contribuição Maximizada de R$3109,42 por dia, o que representou um aumento de 2,39% em relação ao cenário original etudado inicialmente. Assim, ficaram claras as vantagens de aproveitamento de calor residual de uma caldira de um laticínio, no processo produtivo de uma planta industrial que utilize calor em parte da produção. No caso estudado o calor é reaproveitado e direcionado para utilizações como aquecimento de água e limpeza das instalações, bem como em processos como o *Clean in Place* (CIP), que consomem grandes quantidade de energia para aquecimento de água em seu processo de limpeza principalmente das fermenteiras.

O reaproveitamento de "subprodutos"em laticínios também foi estudado neste trabalho e conclui-se que, além do reaproveitamento do calor residual das caldeiras como citado acima, o reaproveitamento do soro, que é obtido do processo de produção dos queijos é muito vantajosa. Este reaproveitamento pode ser tanto com a finalidade de incluir o soro residual como matéria prima de outros produtos dentro da indústria de laticínios, como para a produção e direcionamento deste recurso em ração animal, devido aos seus teores de proteínas serem em torno de 3%.

A questão ambiental e de sustentabilidade em laticínios também foi abordada e discutida neste trabalho. Os efluentes e principais resíduos em uma indústria de laticínios foram destacados e também as principais formas de destino, tratamento e despejo correto destes na natureza foram citados. Destaca-se que outras fontes, aparentemente não usuais e pouco reconhecidas como poluidoras do meio ambiente foi citada nesta dissertação como a poluiçõa sonora dentro das plantas industriais de laticínios.

Por fim, deve-se citar que ao final desta dissertação foi elaborado um manual de eficiência energética para pequenos laticínios, com base em 3 documento citados no Apêndice A. Este documento surgiu da carência encontrada na obtenção de dados e também de documentos destinados principalmente a pequenos laticínios Brasil. Tal fato é justificado pela razão de que a maioria, em termos de número absoluto, dos estabelecimentos produtores de laticínios no Brasil ser de micro ou pequena produção.

Desta forma, este documento visou auxiliar na apresentação de maiores informações sobre como o pequeno produtor de laticínios pode reduzir o consumo de energia e aumentar a eficiência energética por meio de ações simples e de fácil acesso. As perspectivas para o Brasil em relação à eficiência energética são positivas visto que cada vez mais tem havido a adesão de empresas e maior percepção das vantagens advindas destes programas.

Segundo Tolmasquim et al. (2007), de acordo com o cenário macroeconômico de referência, estima-se que em 2030 o consumo de energia elétrica no Brasil supere o patamar de 1.080 TWh (terawatt-hora), perfazendo uma expansão média de 4% ao ano no período considerado. Note-se que essa projeção inclui uma parcela de eficiência energética referente ao progresso autônomo, isto é, ao aumento de eficiência decorrente de melhores práticas no uso e, principalmente, da progressiva substituição de equipamentos elétricos por outros mais eficientes nos diferentes segmentos da economia e da sociedade, incorporando avanços tecnológicos disponíveis no mercado. Admitindo-se a continuidade de tal tendência, essa conservação de energia responderia por cerca de 4% da demanda em 2030.

Quanto ao Estudo de Caso 2, conclui-se através das análises dos resultados que a utilização da programação linear, por meio do uso do software SOLVER do Excel, é uma importante ferramenta para a obtenção de otimização de qualquer medida que se queira avaliar. Neste trabalho, esta mostrou-se imprescindível na determinação de quantidades ótimas a serem produzidas no laticínio a fim de obter a máxima margem de contribuição. Além disso, as análises permitem aos gestores uma melhor avaliação das opções que se tem para produção em diversos cenários.

7.2 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se o aprofundamento deste trabalho e a adição de mais produtos a serem analisados no modelo de otimização. A sua aplicação so setor industrial e seus resultados demonstraram-se positivas por meio deste trabalho. Logo outras análises âmbito da indústria de laticínios podem e devem ser realizadas a fim de dar contiuidade a este projeto de trabalho que se mostrou positivo para ações que visaram à maior economia de energia e aumento da eficiência energética nas indústrias.

Além disso, um maior detalhamento e aprofundamento dos temas abordados neste trabalho podem auxiliar a tomadores de decisão na esfera do ambiente dos gestores das indústria de alimentos a se conscietizarem de que a aplicação de técnicas como as abordadas neste trabalho em suas plantas industriais pode trazer benefícios técnicos, econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

BARATA, N. G. Linhas de financiamento bndes. **Seminário Climatização & Cogeração a Gás Natural**, 2012.

BEJAN, A. Adnvanced engineering thermodynamics. J. Wiley, 1997.

BIEGER, A.; RINALDI, R. N. Reflexos do reaproveitamento de soro de leite na cadeia produtiva de leite do oeste do paraná. **Congresso da SOBER**, 2009.

CAMPOS, K. C.; PIACENTI, C. A. Agronegócio do leite: Cenário atual e perspectivas. **XLV CONGRESSO DA SOBER**, 2007.

CEMIG. Relatório de riscos e oportunidades no setor elétrico. **CEMIG**, CEMIG, 2008.

CEPEA. Boletim do leite. **Boletim do Leite**, v. 182, 2009.

CETESB. Guia técnico ambiental de produtos lácteos. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2006.

CNI. Eficiência energética na indústria: O que foi feito no brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional. **Confederação Nacional das Indústrias**, 2009.

ELETROBRáS. Conservação de energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações. **Procel**, v. 3, 2006.

____. Eficiência energética: Teoria & pratica. **Procel Educação. Universidade Federal de Itajubá**, 2007.

EPE. Plano nacional de energia 2030. Ministério de Minas e Energia, 2007.

____. Balanço energético nacional. **Empresa de Pesquisa Energética**, Empresa de Pesquisa Energética EPE, 2009.

____. **Eficiência energética na industria e nas rediências**. 2010. ed. Rio de Janeiro, julho 2010.

____. Balanço energético nacional. ano base 2010. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2011.

FAENQUIL. Uso racional de energia. **Faculdade de Engenharia Química de Lorena**, 2004.

FIESP. Conservação e resuo de Água: Manual de orientações para o setor industrial. v. 1, 2008.

FILHO, A. T. Viabilidade técnica e ambiental da utilização de resíduos de madeira para a produção de um combustível alternativo. **Dissertação de mestrado Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)**, 2005.

GASPAR, C. Utilização racional de energia. **ADENE - Agência para a Energia de Portugal**, 2007.

GAUNT, J. L.; LEHMANN, J. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergt production. **Environmental Science & Technology**, v. 42, p. 11, 2008.

HAMMOND, G. P. Engineering sustainability: thermodynamic, energy systems, and the environment. **International Journal of Energy Research**, v. 28, p. 613–639, 2004.

HORNGREN, C. T.; DATAR, S. M.; FOSTER, G. Contabilidade de custos. 2004.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Brasília: IBGE, 2011.

INDI. Perfis industriais: Queijos. **Instituto de Desenvolvimento Industrial de Minas Gerais**, 2008.

LAWDER, J. H. Análise energética e econômica em uma agroindústria de laticínios. **Dissertação de Mestrado**, 2012.

MARTINS, E. Contabilidade de custos. **Atlas**, v. 9, 2006.

MISSBAUER, H. Optimal lower bounds on the contribution margin in the case of stochastic order arrival. **OR Spectrum**, v. 25, p. 497–519, 2003.

MME. Balanço de energia Útil. **MME**, Ministério de Minas e Energia, v. 1, 2005.

____. Plano nacional de eficiência energética: Premissas e diretrizes básicas. **Ministério de Minas e Energia**, 2009.

NEGRI, S. F. P. O papel da controladoria e do controller no processo de tomada de decisão. **Monografia Universidade Metodista de Piracicaba**, 2003.

NETO, A. L. Contrato de créditos de carbono. Jurua, 2009.

NOGUEIRA, L. A. H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos Avançados**, p. 91–105, 2007.

OLIVEIRA, J. S. Queijo: fundamentos tecnológicos. **Icone**, v. 2, 1990.

OLIVEIRA, T. M. Manutenção preditiva de motores de corrente contínua com ênfase em mcsa - motor current signature analysis. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Itajubá**, 2007.

PADOVEZE, C. L. Contabilidade gerencial: um enfoque em sistema de informação contábil. **Atlas**, v. 5, 2007.

PELEGRINE, D. H. G. Aproveitamento do soro do leite no enriquecimento nutricional de

bebidas. **Brazilian Journal of Food Technology**, 2008.

PEREIRA, M. G. et al. The renewable energy market in brasil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 3786–3802, 2012.

PIMENTEL, J. C. Fatores críticos ao desenvolvimento do sistema agroindustrial de leite no nordeste. v. 3, 1998.

PINDYCK, R.; RUBINFELD, D. Microeconomia. v. 7, 2010.

PROESCO. Apoio a projetos de eficiência energética. **Proesco**, 2010.

RODRIGUES, M. V. Otimização da margem de contribuição total com base na teoria das restrições: uma aplicação na indústria têxtil. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, 2007.

SANTOS, A. J. Conservação de energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações. **Universidade Federal de Itajubá**, 2006.

SANTOS, J. J. Análise de custos. **Atlas**, 1990.

SHAH, S.; ADHYARU, D. M. Boiler efficiency analysis using direct method. **International Conference on Current trends in Technology**, 2011.

SOROA, J. M. Indústrias lácteas. 1980.

SPREER, E. Lactologia industrial. **Zaragoza**, v. 6, 1991.

TOLMASQUIM, M.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**, 2007.

UFSC. Tratamento térmico do leite na indústria de laticínios. **Universidade Federal de Santa Catarina**, 2005.

WANG, M. Q. et al. Energy and greenhouse gas emission effects of corn and cellulosic ethanol with technology improvements and land use changes. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 1885–1896, 2011.

ZOCCAL, R. Panorama do leite. **Embrapa Gado de Leite**, v. 31, 2009.

APÊNDICE - MANUAL PRÁTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA PEQUENOS LATICÍNIOS

Manual de eficiência energética para laticínios de pequeno porte: Instruções básicas

A.1 Introdução

O presente manual foi elaborado a partir dos estudos realizados nesta dissertação e faz parte revisão de literatura realizada, principalmente nos trabalhos de FIESP e PROCEL Manual de Eficiência Energética. Atualmente, nota-se que há muitos documentos que auxiliam grandes indústrias e setores da economia, elaborados por órgãos dos governos federal, estadual, municipal e agências de fomento.

Contudo, nota-se que há pouca disponibilidade, ou mesmo acesso de informações básicas de eficiência energética e redução de custos energéticos para pequenos laticínios. Dessa forma, este documento visa a auxiliar pequenos laticínios e realizarem levantamentos em suas instalações e reduzir por meio de tarefas simples o custo de, por exemplo, de energia elétrica consumida.

Neste documento foram selecionados 8 das 27 recomendações de boas práticas na indústria de laticínios, principalmente as relacionadas com pequenos estabelecimentos.

A.2 Boas práticas para aumentar a eficiência energética em laticínios

1) Controle de recebimento de matérias-primas e produtos auxiliares:

Implementação:

- Estabelecimento de critérios de aceitação de materiais; - Laboratório e/ou kit para testes expeditos; - Controle das condições de armazenagem; - Treinamento de pessoal; - Estabelecimento de procedimentos operacionais.

Benefícios ambientais:

- Redução na quantidade de resíduos gerados; - Redução no consumo de recursos (água e energia).

Aspectos econômicos:

- Redução nos custos de matérias-primas; - Redução nos custos de tratamento/ disposição de resíduos e/ou produtos rejeitados; - Custos de equipamentos para testes; - Investimento em recursos humanos.

Considerações:

A implantação de sistema de controle de qualidade para matérias-primas e produtos auxiliares implica no estabelecimento de critérios e no conhecimento das especificações dos produtos considerados aceitáveis. Essa medida exige treinamento de pessoal para a realização de testes analíticos e procedimentos operacionais que garantam sua adequada aplicação.

2) Redução nas perdas de leite:

Implementação:

- Estabelecimento de procedimentos operacionais para operações com alto risco de perdas; - Estabelecimento de rotina de manutenção preventiva para maquinas, equipamentos e Instalações; - Segregar o leite derramado do restante dos efluentes; - Implantar sistema de monitoramento com controles e alarmes.

Benefícios ambientais:

- Redução na quantidade de resíduos e carga poluidora dos mesmos; - Redução da carga orgânica dos efluentes.

Aspectos econômicos:

- Menores perdas de matéria-prima; - Redução nos custos de tratamento/disposição de resíduos; - Investimento em válvulas e mecanismos de controle.

Considerações:

Derramamentos e perdas de matéria-prima estão diretamente relacionados a acréscimos na quantidade e carga poluidora dos efluentes líquidos. E altamente desejável a criação de mecanismos de controle para a redução dessas perdas no recebimento, bem como em tanques, bombas, tubulação e equipamentos. Também devem ser evitadas as perdas de materiais por acondicionamento inadequado ou por falta de condições apropriadas para manutenção de sua qualidade, tal como refrigeração, por exemplo.

3) Recuperação de energia do tratamento térmico do leite:

Implementação:

- Instalação de trocadores de calor; - Bombas; - Substituições no sistemas de bombeamento do leite, água quente e fria.

Benefícios ambientais:

- Menor consumo de energia.

Aspectos econômicos:

- Menor consumo de energia; - Custos de instalação e adaptação do processo.

Considerações:

O tratamento térmico do leite demanda grande consumo de energia, e a otimização da recuperação de energia durante essa etapa, pelo uso de trocadores de calor, possibilita recuperar o calor do leite, na saída do pasteurizador/esterilizador no preaquecimento do leite refrigerado na entrada e circuito de circulação do mesmo. Cerca de 90% do calor pode ser recuperado.

4) Utilização do soro:

Implementação:

- Identificação das alternativas de uso; - Avaliação das alternativas quanto a viabilidade tecnico-econômica de implantação; - Seleção de alternativas; - Implementação da alternativa escolhida.

Benefícios ambientais:

- Redução no volume e da carga orgânica do efluente final; - Utilização do subproduto.

Aspectos econômicos:

- Redução nos custos de tratamento do efluente; - Beneficio econômico pelo uso do soro; - Custo adicional para o estudo de alternativas e sua implementação; - Custo adicional para equipamentos e recursos humanos.

Considerações:

O soro recuperado do processo deve ser utilizado de modo a provocar o mínimo impacto

ambiental possível. Outras atividades associadas a seu uso, tais como transferencia e transporte ao local de processamento ou sua concentração "in loco"para redução de volume e consequente diminuição nos custos em transporte devem ser levados em conta. Ao considerar que a produção de soro pode chegar a nove vezes a quantidade de queijo produzido, verifica-se que sua contribuição no efluente final é muito significativa, tanto em termos quantitativos, quanto qualitativos.

5) Limpeza de superfícies à seco:

Implementação:

- Remoção dos resíduos por raspagem ou sistema de ar comprimido; - Instalação de dispositivo para retirada dos resíduos; - Treinamento de pessoal; - Estabelecimento de procedimentos operacionais para operações de limpeza.

Benefícios ambientais:

- Redução no consumo de água; - Redução da carga poluidora do efluente.

Aspectos econômicos:

- Redução no consumo de água; - Redução nos custos de tratamento do efluente; - Custos adicionais para treinamento de pessoal; - Custo adicional de gerenciamento de resíduos.

Considerações:

As operações de limpeza exigem grande consumo de água, resultam na geração de significativo volume de efluentes, e no caso da limpeza de superfícies e instalações, essas operações geram sólidos que normalmente são descartados com o efluente final e resultam no acréscimo da carga poluidora do mesmo.

A remoção previa dos resíduos sólidos reduz a quantidade de sólidos no efluente e diminui o consumo de água. Esse procedimento pode permitir reduções da ordem de 25% da água consumida

na limpeza, sendo o gerenciamento dos resíduos removidos sem água mais fácil e econômico.

6) Controle periódico das emissões nas caldeiras:

Implementação:

- Manutenção preventiva da(s) caldeira(s); - Amostragem periódica das emissões; - Estabelecimento de procedimentos operacionais; - Controle visual da fumaça - Treinamento de pessoal.

Benefícios ambientais:

- Redução nas emissões de poluentes gasosos; - Redução no consumo de combustível.

Aspectos econômicos:

- Redução no consumo de combustível; - Custos adicionais para amostragem e analises das emissões; - Custos adicionais com pessoal.

Considerações:

A implantação de programa de manutenção periódica de caldeiras, bem como o monitoramento e controle das emissões dos gases de combustão auxiliam o funcionamento apropriado do sistema e proporcionam a otimização da combustão, reduzindo a emissão de poluentes.

7) Armazenamento de produtos perigosos sob condições adequadas:

Implementação:

- Determinação de área especifica para estocagem desses produtos, provida de dispositivos de segurança e sistema de contenção com coleta independente do efluente, para conter eventuais vazamentos/derramamentos; - Impermeabilização do piso - Treinamento de pessoal para o geren-

ciamento desses produtos; - Estabelecimento de plano de contingencia para evento de acidente; - Identificação adequada dos produtos por símbolos e etiquetas descritivas.

Benefícios ambientais:

- Prevenção de acidentes e seus impactos associados.

Aspectos econômicos:

- Redução nos custos de tratamento; - Custos adicionais para preparação da área de estocagem; - Custos adicionais de treinamento de pessoal.

Considerações:

Produtos perigosos podem poluir e contaminar o solo e águas subterrâneas/superficiais em caso de acidentes, portanto e altamente recomendável a estocagem dos mesmos em áreas especificas para esse fim, com acesso restrito a pessoas autorizadas e proibido para veículos, e dotadas de sistema de contenção para eventual recolhimento de residuais de eventuais vazamentos/derramamentos.

8) Minimização de resíduos de embalagens:

Implementação:

- Desenvolvimento de estudo de alternativas para minimização e de mercado; - Modificações na produção das embalagens.

Benefícios ambientais:

- Diminuição da quantidade de resíduos de embalagens descartadas pós consumo.

Aspectos econômicos:

- Menor consumo de material para embalagem; - Menor custo de gerenciamento de resíduos de embalagens gerados na empresa; - Custos adicionais para os estudos de minimização e mercado; - Custos adicionais para modificação nas operações e estocagem das embalagens.

Considerações:

O setor envolve vasto uso de embalagens que muitas vezes, por defeitos na linha de produção das mesmas ou do produto final, são descartadas como resíduos antes mesmo de chegarem ao consumidor final. A otimização da relação entre peso da embalagem e o peso do produto permite a redução do consumo desnecessário de recursos e/ou energia para sua produção, bem como reduz a quantidade de resíduos de embalagens pós consumo.