

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM LATICÍNIO TIPO “A” E ESTUDO DE RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS PROCESSOS DE RESFRIAMENTO DE LEITE E AQUECIMENTO DE ÁGUA : UM ESTUDO DE CASO

RICARDO BALDASSIN JUNIOR

Engenheiro Mecânico, Mestrando em Planejamento de Sistemas Energéticos,
FEM/UNICAMP, Campinas-SP, CEP 13083-970, tel: (19) 3788-1013
e-mail: baldassin@fem.unicamp.br

LUÍS AUGUSTO BARBOSA CORTEZ

Orientador do presente trabalho, Prof. Dr. Livre Docente FEAGRI/UNICAMP,
Departamento de Construções Rurais, Caixa Postal 6011, CEP 13083-970,
Campinas-SP, tel: (19) 3788-4702, e-mail: cortez@reitoria.unicamp.br

RODRIGO APARECIDO JORDAN

Engenheiro Agrícola, Doutorando, FEAGRI/UNICAMP, Departamento de
Construções Rurais, Caixa Postal 6011, CEP 13083-970, Campinas-SP, tel: (19)
3788-1013, e-mail: jordan@agr.unicamp.br

LINCOLN DE CAMARGO NEVES FILHO

Prof. M.Sc. Assistente do Departamento de Engenharia de Alimentos
Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP,
Campinas-SP, CEP 13083-970, tel: (019) 3788-4040
e-mail: neveslin@fea.unicamp.br.

JORGE DE LUCAS JR.

Prof. adjunto, Departamento de Engenharia Rural,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal,
Jaboticabal-SP tel: (16) 3209-2637, e-mail: jlucas@fcav.unesp.Br

HONORATO CCALI PACCO

Engenheiro de Alimentos, Doutorando, FEAGRI/UNICAMP, Departamento de
Construções Rurais, Caixa Postal 6011, CEP 13083-970, Campinas-SP,
tel: (19) 3788-1013, e-mail: honorato.pacco@agr.unicamp.br

RESUMO

Nos últimos anos, o setor leiteiro nacional, apesar da grandiosidade e representatividade do leite no cenário econômico brasileiro, tem passado por diversas dificuldades, diante do alto custo produtivo e do baixo preço de mercado do leite. Diante deste cenário, cerca de 1/3 de pequenos produtores de leite foram excluídos do mercado nacional devido a dificuldades de se adaptarem ao novo cenário competitivo.

Desta forma, este trabalho objetiva atuar junto ao custo do consumo de energia elétrica nos processos de resfriamento e pasteurização, avaliando o potencial de economia de energia elétrica por uso final, nestes dois processos, no processo produtivo de leite tipo “A” de um laticínio localizado na região de Campinas. Na primeira parte, é apresentado um levantamento *in loco* do consumo de energia elétrica nos processos de resfriamento de leite, pré aquecimento e pasteurização, e, na segunda parte, dois objetivos são propostos: aproveitar o calor de condensação do sistema de refrigeração do banco de gelo para pré-aquecimento da água do tanque de acumulação de água quente acionado a resistência elétrica e; acionamento do sistema

de refrigeração do banco de gelo com o uso de energia elétrica oriunda de um gerador elétrico acionado a bio-gás de biodigestores.

ABSTRACT

In the last years, the national milk sector, despite the huge and representation of milk in the Brazilian economic scene, has passed for diverse difficulties, ahead of the high productive cost and low price of market of milk. Ahead from this scene, about 1/3 of small milk producers they had been excluded from the national market which had the difficulties of adaptation to the new competitive scene.

Of this form, this objective work to act together to the fixed cost of production, as for the cost with the consumption of electric energy in the processes of cooling and pasteurization, evaluating the potential of rationalization of electric energy for final use, in this two process, in the dairy farm type "A" in Campinas area. In the first part, it is presented a survey leases *in loco* of the consumption of electric energy in the processes of cooling of milk and pasteurization, and, in the second part, two objectives are considered: to profit the heat of condensation of the refrigeration's system of the ice bank for pre-heating the water of the tank of hot water accumulation set in motion the electric resistance and; pumping of the refrigeration's system of the ice bank with the use of deriving electric energy of an electric generator the bio-gas of biodigesters.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos gerais da agropecuária brasileira

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CNA) (2002) *apud* FAGUNDES (2003), no ano de 2002, o Brasil foi o quinto maior produtor de leite do mundo, respondendo por cerca de 66% do volume total de leite produzido pelos países que compõe o Mercosul e 5,3% da produção Mundial. Em 2002, o Valor Bruto da Produção Agropecuária foi de R\$.139 bilhões, destes, aproximadamente 86,5 bilhões são de Produtos Agrícolas, dos quais, R\$.52,5 bilhões são de Produtos Pecuários, tendo o leite uma posição de destaque, com um valor de R\$.8,64 bilhões, ou seja, 16,5% do Valor Bruto da Produção Pecuária, superado apenas pelo Valor da Produção da Carne Bovina. O leite está entre os seis primeiros produtos mais importantes da agropecuária, ficando atrás, somente da Carne Bovina, Soja, Carne de Frango, Cana de Açúcar e do Milho, mas, por sua vez, a frente de produtos tradicionais da agricultura brasileira como o Café beneficiado, Arroz e Carne Suína. Porém, de acordo com o MME (2003) em 2002, o Setor da Agropecuária representou 7,4% do PIB Nacional, contra 35,4% do Setor Industrial e 57,2% do Setor de Serviços, sendo que, o Setor da Agropecuária apresentou o maior índice de crescimento neste ano, chegando a 5,8 %, contra 1,5 % da Indústria e do Setor de Serviços.

De acordo com IBGE (2003) *apud* FAGUNDES (2003), o Brasil apresenta o terceiro maior rebanho mundial de vacas leiteiras, somando em 2002, cerca de 18,731 milhões de cabeças, representando cerca de 15 % do rebanho mundial.

Com relação a Renda Nacional, estima-se que cerca de R\$.18 bilhões são gerados pelos diferentes segmentos que compõem o setor (CNA, 2001 *apud* GOMES e ZOCCAL, 2001).

De acordo com o IBGE (1996) *apud* MARTINS (1998), registra-se aproximadamente 1,8 milhões de propriedades agrícolas destinadas ao setor da pecuária, ou seja, cerca de 1/3 das propriedades agrícolas brasileira. De acordo com CAMPOS (2000) *apud* AGUIAR (2001), aproximadamente 3,5 milhões de empregos são gerados na agroindústria leiteira, dos quais aproximadamente 1,8 milhões são de produtores, 41.650 são empregos nos setores dos transportes e os demais trabalham em laticínios. O setor emprega 3,5 vezes mais do que o Setor da Construção Civil, 3,02 vezes mais do que o Setor Siderúrgico e 4,77 vezes mais do que o Setor Automobilístico.

De acordo com o Censo de 1995-1996 realizado pelo IBGE *apud* FAGUNDES (2003), cerca de 44,1 % da produção de leite nacional é oriundo de pequenas propriedades rurais com até 50 ha, que se dedicam exclusivamente a produção de leite.

De acordo com SEBRAE/FGV, apresentado na Sondagem Conjuntural de Micro e Pequenas Empresas elaborada em Março de 2001, onde foram pesquisadas 1.895 micro e pequenas empresas rurais, com áreas entre 10 e 100 ha., cerca de 50 %, das micro e pequenas empresas rurais alegaram ter dificuldades de acesso a novas tecnologias; 44 % alegaram ter problemas com assistência técnica especializada; 41% alegaram ter dificuldades ao acesso de informações; 34 % relacionaram ter dificuldades para treinamento da mão-de-obra e 37 % descreveram ter dificuldades no treinamento gerencial.

1.2 Potencial de racionalização energética

Segundo STOUT (1984), nos Estados Unidos, o potencial de conservação de energia nas operações diárias no processamento de leite está entre 10 e 20%. A representatividade percentual das operações diárias do processo de produção de leite, sob o ponto de vista do consumo de energia, é:

- Aquecimento de água: 16%;
- Refrigeração do leite: 12%;
- Ordenhadeira: 10%;
- Iluminação: 3%;
- Ventilação e Aquecimento adicional: 4%;
- Processamento de Alimento e Distribuição: 8%;
- Remoção de resíduos (Limpeza): 26%;
- Transporte: 21%.

1.3 Tecnologia da Bomba de Calor

Segundo BOUMA (2002), nos Estados Unidos existem cerca de 1,4 milhões de Bomba de Calor instaladas em residências e prédios comerciais até o ano 2001, sendo que no ano de 1999 foram vendidas aproximadamente 50.000 unidades. No Canadá, foram instaladas na década de 90 aproximadamente 30.000 Bombas de calor, onde cerca de 20% desta, em setores comerciais e institucionais, principalmente em escolas. No Japão, estima-se que haja aproximadamente 5,0 milhões de unidades. Estima-se cerca de 5,58 milhões de unidades instaladas na China, como um potencial de crescente de mercado, tendo em vista, que existe aproximadamente 800 milhões de m² com residências e prédios comerciais e institucionais que necessitam de aquecimento e refrigeração. Na Europa até 2001, os números são de 4,5 milhões de unidades instaladas em residências e 1,5 milhões em prédios comerciais, excluindo o Europa Oriental. Na região Nordeste da Europa, as Bombas de Calor residenciais são empregadas no aquecimento de água e calefação do ambiente, enquanto que no Sul da Europa, são empregadas no arrefecimento do ambiente. Na Europa, os países mais representativos em números de Bombas de calor instaladas, é a Espanha, a Suécia e a França, com 500.000, 36.000 e 15.000, respectivamente, sendo que os quatro países que mais venderam unidades em 2001, foi a Suécia, a Áustria, a Alemanha e Suíça, com 27.000, 4.800, 3.600 e 2.800, respectivamente

Sob o ponto de vista da aplicação de bombas de calor em laticínios, ARAÚJO e ROCHA (1990), descrevem diversas aplicações desta tecnologia nos processos de pasteurização e fabricação de queijos, em diversos países como: Rússia, Nova Zelândia, França, Alemanha, Suíça e Suécia. Segundo dados apresentados da aplicação de bombas de calor em laticínios, o valor médio do coeficiente de desempenho é acima de 3. O tempo de retorno do investimento, foi citado por alguns autores, como sendo 2 anos, porém sendo verificado em alguns casos 4 a 5 anos. Sob o ponto de vista de consumo energético, a faixa de economia de energia dos sistemas estão entre 13% e 45%.

Porém, não foi encontrado na literatura, casos brasileiros de aplicação da bomba de calor em laticínios.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Descritivo do estabelecimento

O latícinio estudado localiza-se na região de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil, onde consta um plantel de 220 vacas em lactação, produzindo, em média, 4.000 litros de leite tipo "A" por dia.

Das 220 vacas em lactação, cerca de 100 são criadas em regime totalmente confinadas, sendo, as demais, criadas em regime semi-estabulado.

A fazenda trabalha em regime de 2 ordenhas, uma no período da manhã, por volta das 5:00 horas, e a outra no período da tarde, por volta das 15:00 horas, coletando aproximadamente 2.200 e 1.800 litros de leite, respectivamente.

2.2 Etapas do processamento do leite.

O processo de pasteurização e envase, é realizado somente uma vez ao dia, sempre após a ordenha da manhã, processando leite de duas ordenhas. Durante a ordenha da tarde, o leite é diretamente encaminhado, por tubulação, para um trocador de calor do tipo placas, o qual sofre o processo de resfriamento rápido. Este processo de resfriamento é realizado com um banco de gelo, o qual fornece toda a carga térmica necessária para baixar a temperatura do leite para 4°C. Após resfriamento, este leite é armazenado em um tanque refrigerado, mantendo-se a temperatura de 4°C até a manhã do dia seguinte. O leite coletado na ordenha da manhã sofre o mesmo processo de resfriamento, e é misturado ao leite armazenado no tanque refrigerado. Em seguida, todo o leite é submetido ao processo de pasteurização e envase.

No processo de pasteurização, o leite é pré-aquecido a 53°C, utilizando água pré-aquecida a 60°C em um aquecedor elétrico de acumulação, e encaminhado ao homogeneizador. Em seguida, no pasteurizador, com o uso de um aquecedor elétrico de passagem (aquecimento suplementar da água pré-aquecida do acumulador elétrico), o leite é aquecido a aproximadamente 76°C, e resfriado rapidamente, a 4°C, utilizando como fonte térmica o banco de gelo. Após o resfriamento, o leite é armazenado em um tanque de leite pasteurizado, onde posteriormente será envasado e estocado em câmaras frias na temperatura de 4°C, aguardando o transporte.

2.3 Metodologia.

No levantamento do consumo de energia elétrica, foi utilizado um Medidor Eletrônico Digital Portátil da ESB Medidores, família SAGA 4000 modelo 1380.

As medições foram realizadas com intervalo de integração de 5 minutos, durante um período de 7 dias.

As medições realizadas, até agora, consistiram de: Consumo total de energia elétrica, Consumo de energia elétrica do aquecedor elétrico de acumulação, Consumo de energia elétrica do aquecedor elétrico de passagem (pasteurização) e Consumo de energia elétrica do banco de gelo (resfriamento).

O consumo de eletricidade mensal, total e por processo, é estimado como sendo 4 vezes o valor do consumo de energia elétrica medida pelo analisador durante os 7 dias de medição. Neste tipo de caso, esta estimativa se mostra coerente, pois não há variações significativas na quantidade de leite processada diariamente.

3. CURVAS DE CONSUMO

São apresentados neste trabalho, somente as medições do consumo de energia elétrica dos processos de resfriamento rápido (banco de gelo), do processo de pré aquecimento (tanque de acumulação), do processo de pasteurização (aquecedor elétrico de passagem) e total, pois, tendo em vista a aplicação da bomba de calor acionada a biogás, somente estes processos são passíveis de substituição. Porém, em trabalhos futuros, pretende-se apresentar um mapeamento completo do consumo de energia, podendo, desta forma, verificar a representatividade de cada processo no processo produtivo, destacando outros pontos passíveis de economia de energia elétrica.

O banco de gelo – que tem como função realizar o resfriamento do leite nas fases de pós-ordenha e pós-pasteurização-, opera com dois compressores herméticos marca Maneurop de 10 hp cada, com trocadores *tube-in-tube*, condensação a água (resfriamento da água de condensação em torre de resfriamento com ar forçado) e expansão direta em evaporador tipo serpentina imersa em tanque de água. O banco de gelo tem um volume de 7150 litros a 2°C.

O acumulador elétrico de água quente – que tem como função: o pré-aquecimento do leite; pré-aquecimento da água de alimentação do aquecedor elétrico de passagem e; aquecimento da água de limpeza de equipamentos e do estabelecimento de processamento, sala de ordenha e estábulo-, consiste em um reservatório térmico com volume de 2000 litros e com resistência elétrica de 2,7 kW. A temperatura da água pré aquecida é de 60°C. O consumo diário de água quente é de aproximadamente 5000 litros/dia.

O aquecedor elétricos de passagem - que tem como função aquecer a água pré-aquecida, de 60°C para 80°C, para aquecer o leite a uma temperatura 75°C-, possui uma potência elétrica de 45 kW.

Na Figura 3 é apresentado a curva de consumo médio diário de energia elétrica (Total, Banco de gelo, Acumulador elétrico e Aquecedor elétrico de passagem).

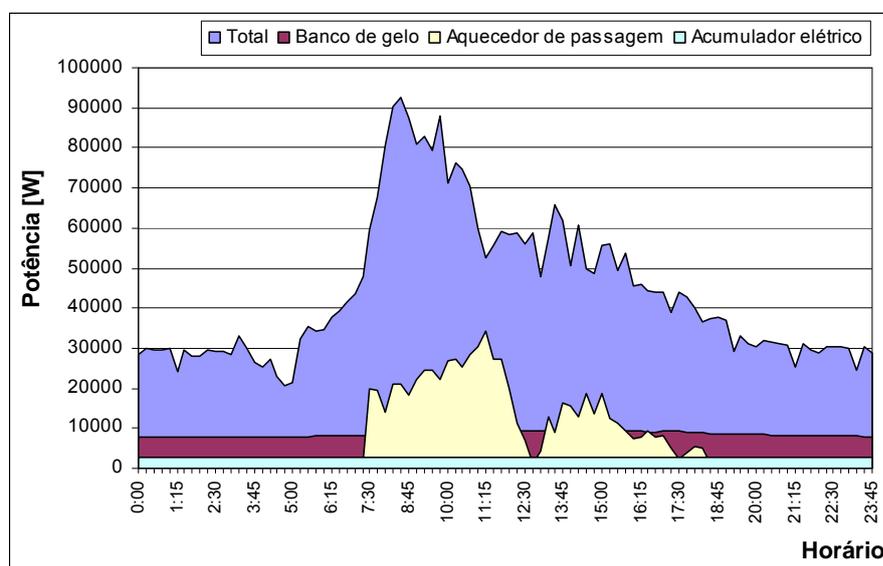


Figura 3 – Curva de consumo médio de energia elétrica.

Segundo dados fornecidos pelo medidor, o consumo de energia elétrica total, do banco de gelo, do acumulador elétrico e do aquecedor de passagem, considerando sete dias, foram de 7,45 MWh, 1,41 MWh, 0,464 MWh e 1,20 MWh, respectivamente.

Diante disso, pode-se concluir que os processos de resfriamento rápido, o processo de pré aquecimento e o processo de pasteurização representam cerca de 18,9 %, 6,23 % e 16,1 %, respectivamente, ou seja, 41,23% do consumo total de energia elétrica do laticínio.

4. DEMANDA TÉRMICA DOS PROCESSOS DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO DO LEITE.

4.1 Sistema de refrigeração do banco de gelo.

O processo de resfriamento do leite é realizado em duas etapas, na pós-ordenha e na pós-pasteurização. Na pós-ordenha o leite é resfriado de 35°C para 4°C e na pós-pasteurização de 73°C para 4°C.

Com uma produção diária de 4000 litros/dia, tem-se a seguinte carga térmica:

- Pós-ordenha:

$$Q_{\text{ordenha1}} = m_{\text{leite}} \cdot C_{p\text{leite}} \cdot \Delta T = 1800 \cdot 1,036 \cdot 0,92 \cdot 31 = 53.184 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{ordenha2}} = m_{\text{leite}} \cdot C_{p\text{leite}} \cdot \Delta T = 2200 \cdot 1,036 \cdot 0,92 \cdot 31 = 65.002 \text{ kcal}$$

- Pós-pasteurização:

$$Q_{\text{pós}} = m_{\text{leite total}} \cdot C_{p\text{leite}} \cdot \Delta T = 4000 \cdot 1,036 \cdot 0,92 \cdot 69 = 263.061 \text{ kcal}$$

Logo, a carga térmica de frio diária requerida é de aproximadamente 388.872 kcal.

4.2 Sistema de aquecimento de água.

O processo de aquecimento do leite é realizado em duas etapas, no pré-pasteurização e na pasteurização, realizado em 4 horas. Na pré-pasteurização o leite é pré-aquecido de 4°C para 53°C e na pasteurização, de 53°C para 75°C.

Para a mesma produção diária de leite, tem-se a seguinte carga térmica requerida:

- Pré-aquecimento:

$$Q_{\text{pré-aq}} = m_{\text{leite}} \cdot C_{p\text{leite}} \cdot \Delta T = 4000 \cdot 1,036 \cdot 0,92 \cdot 49 = 186.811 \text{ kcal}$$

- Pasteurização:

$$Q_{\text{past.}} = m_{\text{leite}} \cdot C_{p\text{leite}} \cdot \Delta T = 4000 \cdot 1,036 \cdot 0,92 \cdot 22 = 83.874 \text{ kcal}$$

5. PROPOSTAS DE RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA.

5.1 Aproveitamento do calor de condensação do sistema de refrigeração do banco de gelo para pré-aquecimento de água.

Conforme mencionado anteriormente, o sistema de refrigeração empregado no banco de gelo trabalha com dois compressores herméticos e condensação a água. Onde, a água de condensação é resfriada em torres de resfriamento com ar forçado.

Tendo em vista a utilização de água quente em diversos processos no laticínio, representando 22,33% do consumo de energia elétrica total, é possível identificar, claramente, o desperdício de energia térmica, e energia elétrica, que ocorre no processo de resfriamento da água de condensação.

Desta forma, a primeira proposta é o aproveitamento da carga térmica da água de condensação do sistema de refrigeração do banco de gelo, no processo de pré-aquecimento da água do acumulador elétrico.

Segundo levantado no local, as únicas alterações a serem realizadas corresponderão a alterações nas tubulações e instalação de uma bomba de água de circulação da água entre o reservatório do acumulador elétrico e os trocadores de calor.

As unidades condensadoras empregadas são unidades Marca Danfoss para R22, alta temperatura de condensação, modelo HGM 80, 6,8 kW. Segundo catálogo Danfoss (2001), a capacidade de refrigeração é de 8.397 kcal/h a -10°C e temperatura de condensação de 58°C.

Observa-se que, o sistemas de refrigeração opera aproximadamente 24 horas dia, o que mostra um incoerência, em se tratando do uso de banco de gelo. Logo, a fim de corrigir o tempo de operação e verificar o dimensionamento das unidades condensadores, tem-se que:

- Ordenha 1 (tarde):

$$\begin{aligned} \text{Tempo operação}_{\text{tarde}} &= Q_{\text{ordenha1}} \cdot 1,1 / \text{Capacidade evaporador} = 53184,1,1 / 8397 = 6,97 \text{ h} \\ m_{\text{gelo_tarde}} &= Q_{\text{ordenha1}} \cdot 1,1 / h_{\text{lv gelo}} = 58502,4 / 80 = 731 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Ordenha 2 (manhã):

$$\begin{aligned} \text{Tempo operação}_{\text{manhã}} &= Q_{\text{ordenha2}} \cdot 1,1 / \text{Capacidade evaporador} = 65002,1,1 / 8397 = 8,52 \text{ h} \\ m_{\text{gelo_manhã}} &= Q_{\text{ordenha2}} \cdot 1,1 / h_{\text{lv gelo}} = 71503 / 80 = 894 \text{ kg} \end{aligned}$$

Para estes cálculos foram considerados uma perda de 10% no tanque de gelo. Portanto o tempo de total de operação será de 15,49 horas/dia, com um consumo diário de energia elétrica de 105,33 kWh/dia.

Realizando o mesmo procedimento, a fim de avaliar o resfriamento no processo pós-pasteurização, tem-se:

$$\text{Tempo operação} = Q_{\text{pós}} \cdot 1,1 / \text{Capacidade evaporador} = 263061,1,1 / 8397 = 34,46 \text{ horas.}$$

Como o tempo de operação calculado excede um dia, tem-se a necessidade de utilizar uma segunda unidade condensadora, desta forma, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Tempo operação} &= Q_{\text{pós}} \cdot 1,1 / 2 \cdot \text{Capacidade evaporador} = 263061,1,1 / 2 \cdot 8397 = 17,23 \text{ horas.} \\ m_{\text{gelo}} &= Q_{\text{pós}} \cdot 1,1 / h_{\text{lv gelo}} = 263061 / 80 = 3289 \text{ kg} \end{aligned}$$

Portanto, para este tempo de operação, o consumo de energia elétrica é de 231,2 kWh/dia.

O coeficiente de performance para estas unidade, pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{refrig}} &= \text{Capacidade evaporador} / \text{Potência} = 8397 / 6,8.860 = 1,44 \\ \text{COP}_{\text{bomba calor}} &= \text{COP}_{\text{refrig}} + 1 = 2,44 \end{aligned}$$

Calculando a carga térmica disponível para aquecimento de água nas unidades condensadoras, tem-se:

$$\begin{aligned} Q_{\text{conj1}} &= \text{COP}_{\text{bomba calor}} \cdot \text{Potência} \cdot T_{\text{operação1}} = 2,44 \cdot 6,8.860 \cdot 15,49 = 221.028 \text{ kcal} \\ Q_{\text{conj2}} &= 2 \cdot (\text{COP}_{\text{bomba calor}} \cdot \text{Potência} \cdot T_{\text{operação2}}) = 2 \cdot (2,44 \cdot 6,8.860 \cdot 17,23) = 491.713 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Considerando a necessidade de aquecer água de 20°C para 55°C, tem-se que o volume diário de água disponível é de:

$$m_{\text{água quente}} = (Q_{\text{conj1}} + Q_{\text{conj2}}) / [Cp_{\text{água}} \cdot (55-20)] = 712741 / (1.35) = 20.364 \text{ litros/dia}$$

Conforme calculado anteriormente, o processo de pré-aquecimento de leite demanda 186.811 kcal/dia. Avaliando os valores calculados acima, verifica-se que somente o aproveitamento do carga térmica de condensação do conjunto 1 (resfriamento no pós-ordenha) já atende as

necessidades deste processo. Desta forma, torna-se necessário ainda, a utilização da torre de resfriamento como condensador auxiliar.

Logo, o consumo mensal de energia elétrica, aproximado, para o processo de resfriamento de leite é de 10,1 MWh/mês. Segundo as medições apresentadas acima, tem-se que o consumo mensal real é de 6,04 MWh/mês. O aumento é justificado, pois houve a necessidade de acréscimo de uma unidade condensadora, a fim de atender a demanda térmica do processo.

Conforme apresentado anteriormente, o tanque acumulador tem um consumo de energia elétrica de 1,98 MWh/mês e potência elétrica de 2,7 kW. O laticínio tem uma demanda de 100 kW, e enquadra-se como consumidor Grupo A4. Segundo CPFL (2004), a tarifa para grupo A4 é de 159,60 R\$/MWh para o consumo e 15,26 R\$/kWh para a demanda, com imposto de 12%. Logo, para o consumo de 1,98 MWh/mês, tem-se uma economia de :

$$E_{prop1} = [(2,7 \cdot 15,26) + (1,98 \cdot 159,60)] \cdot 1,12 = 400,10 \text{ R\$/mês}$$

5.2 Acionamento do sistema de refrigeração do banco de gelo com o uso de energia elétrica oriunda de um gerador elétrico acionado a bio-gás de biodigestores.

Diante da grande disponibilidade de dejetos bovinos no local, devido ao confinamento de 100 e o semi-confinamento de 120 animais, a segunda proposta, é a geração de energia elétrica através de geradores elétricos acionados a biogás, com o objetivo de acionar o sistema de refrigeração do banco de gelo.

Segundo estimativas de SANTIAGO e CRISTANA (1981), um bovino adulto estabulado gera aproximadamente 30 kg de dejetos/dia e um bovino adulto em regime semi-estabulado 15 kg de dejetos/dia, logo, para 100 animais estabulados, tem-se aproximadamente 3.000 kg de dejetos/dia e para 120 semi-estabulados, 1800 kg de dejetos/dia. Segundo apresentado em COMASTRI FILHO (1981), para se produzir 1 m³ de biogás, é necessário aproximadamente 25 kg de estorno fresco bovino, desta forma, para 4.800 kg de dejetos/dia, estima-se que a geração de bio-gás seja, aproximadamente, de 192 m³/dia.

Tendo como proposta a geração de energia elétrica como o uso de um gerador elétrico para acionar o sistema de refrigeração do banco de gelo, para o sistema dimensionado no item 5.1, necessita-se de um gerador elétrico de 26 KVA.

Segundo a MAQUIGERAL (2004), um grupo gerador a óleo diesel, modelo MAQ 1001, de 36 kVA (29 Kw), opera com um motor de 45 cv.

Segundo o IPT (1982), o consumo de bio-gás em um motor a explosão é de aproximadamente 0,37 m³/hp.h. Considerando uma perda de potência de 35% no motor, devido a substituição do óleo diesel pelo bio-gás, esta reduz-se a 29,25 cv, logo, o consumo de bio-gás estimado é de 10,82 m³/h. Considerando 17 horas de operação/dia, tem-se um consumo de 183,94 m³/dia. Demanda esta a qual é atendida pela estimativa de geração diária de biogás, havendo ainda, um pequeno excedente de 8 m³/dia.

Conforme fabricante, o custo de aquisição de um gerador elétrico de 36 kVA é de R\$. 25.000,00. Estima-se que o custo anual de operação e manutenção, seja de 10% do capital investido, ou seja, R\$.2.500,00.

Estima-se também que, o custo de construção de um biodigestor tipo indiano, com tanques de armazenamento de dejetos de plástico seja de R\$.5.000,00 por 50 m³/dia, logo, para a estimativa de geração de 192 m³/dia, tem-se um custo de construção de R\$.20.000,00. Supondo um custo anual de operação e manutenção de 15 %, tem-se R\$.3.000,00, ou, 0,04 R\$/m³

Desta forma, tem-se que o investimento inicial é da ordem de R\$. 45.000,00, com custos anuais de operação e manutenção de R\$.5.500,00.

Considerando o consumo de energia elétrica das unidades condensadoras, calculada no Item 5.2, de 10,1 MWh/mês, potência de 6,8 kW para cada unidade, tem-se que a economia obtida é de:

$$E_{prop2} = [(3.6,8.15,26)+(10,1.159,60)].1,12 = 2154,06 \text{ R\$/mês} = 25.848,67 \text{ R\$/ano}$$

Calculando o tempo de retorno do investimento, desconsiderado a taxa anual de juros e depreciação do equipamento, tem-se que:

$$T_{retorno} = (45000,00 + 2.5500,00) / 25.848,67 \approx 2,17 \text{ anos} \approx 26 \text{ meses}$$

Considerando uma vida útil de 5 anos para o gerador elétrico, a proposta é viável.

6. CONCLUSÃO

Avaliando a representação dos processos de resfriamento de leite e aquecimento de água no consumo total de energia elétrica do laticínio, estes se mostram representativos, contribuindo com cerca de 41,2 % do consumo total de energia elétrica. Pode-se verificar também, a expressividade do aquecedor elétrico de passagem, o qual chega a representar cerca de 1/3 da demanda no horário de pico, bem como, é responsável pelo aumento da demanda no período entre 7:30 horas e 17:30 horas.

Pode-se verificar a ineficiência do uso de energia elétrica nos processos de resfriamento e aquecimento. As unidades condensadoras, além de não estarem devidamente dimensionadas para o processo de resfriamento do leite, operam de forma inadequada e ineficientes. Verifica-se um grande potencial de aproveitamento da carga térmica da água de condensação, quando operando o sistema de refrigeração como bomba de calor. A carga térmica desperdiçada é da ordem de 712.741 kcal.

Devido a grande disponibilidade de dejetos bovinos, há um grande potencial de geração de bio-gás de biodigestores, cerca de 192 m³/dia. Conforme avaliado, existe a possibilidade de geração de energia elétrica com o de gerador elétrico acionado a biogás. A energia elétrica gerada é suficiente para atender a demanda total de energia do sistema de refrigeração que opera no processo de resfriamento de leite, gerando um economia de aproximadamente 10,1 MWh/mês, com um tempo de retorno do investimento em torno de 28 meses.

PALAVRAS-CHAVE: Energia elétrica, Aquecimento, Resfriamento, Racionalização, Bomba de calor, Bio-gás.

REFERÊNCIAS

- [1] AGUIAR, A. P. A. Sustentabilidade Técnica, Econômica e Social dos Sistemas de Produção de Leite a Pasto. In: MARTINS, C. E. et al. **Sustentabilidade de Sistemas de Produção de Leite a Pasto e Confinamento**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001, p. 27-60.
- [2] ARAÚJO, M. L.; ROCHA, N. R. **Aplicação de Bomba de Calor em Laticínios**. Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes. Juiz de Fora/MG, v(45), nº (267/272), 33-37p, 1990.
- [3] BOUMA, J. **Heat Pump – Better by Nature**. IEA Heat Pump Centre Newsletter. Holanda, v(20), n. 2, 10-27p, 2002. Disponível em: <<http://www.heatpumpcentre.org/nwletr/download/N2002.pdf>>. Acesso em: 01 Set. 2003.
- [4] COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense**. EMBRAPA. UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 9. Corumbá. 1981. 53p.

- [5] CPFL. Companhia Paulista de Força e Luz. Consulta on-line. Disponível em <<http://www.cpfl.com.br>>. Acesso em 16 de Junho de 2004.
- [5] FAGUNDES, M. H. **Leite : Situação atual e perspectivas para o setor**. Conjunturas Agropecuárias, Estudos Especiais. Brasília: CONAB, 2003. 32p. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/downloads/cas/especiais/LEITE%2026%20AGOSTO.pdf>>. Acesso em: 27 Ago. 2003.
- [6] GOMES, A. T.; ZOCCAL, R. Caracterização da produção de leite nas principais regiões produtoras do País. In: MARTINS, C. E.; ALENCAR, C. A. B.; BRESSAN, M. **Sustentabilidade da produção do leite no Leste Mineiro**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001, p. 7-17.
- [7] MAQUIGERAL. Grupo Geradores Maquigeral. Catálogo on-line. Disponível em <<http://www.maquigeral.com.br>>. Acesso em 16 de Junho de 2004.
- [8] MARTINS, P. C. **Leite e Derivados: Uma Cadeia Produtiva em Transformação**. Revista Agrosoft. Juiz de Fora, n. 4, p. 3-8, 1998. Disponível em : <<http://www.agrosoft.com.br>>. Acesso em: 06 Ago. 2003.
- [9] MME. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: MME, 2003, p. 168.
- [10] MOREIRA, J. R. **Potencial de Conservação de Energia**. Estudo Técnico. Brasília: CGEE, Julho 2001, 10p. Disponível em <<http://www.cgEE.org.br/nis/energia.htm>>. Acesso em: 18 Set. 2003.
- [11] SEBRAE/FGV. **Sondagem Conjuntural – Micro e Pequenas Empresas**. Ano 6, n. 17, 2001, 6p. Disponível em : <<http://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: 06 Ago. 2003.
- [12] SANTIAGO, A. C.; CRESTANA, M. S. M. **PROGÁS – Normas técnicas para projetos de biodigestores**. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI). Com. Téc. N. 27. Campinas. 1981. 13p.
- [13] STOUT, B. A. **Energy – Use and Management in Agriculture**. Breton Publishers, North Scituate. Massachussets, 1984, 318p.