



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Novo Hamburgo

PROJETO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELA LUBRIFICAÇÃO

ESCHER, Orestes Ricardo Escher, Eng. ¹

LOSEKANN, Cláudio Roberto, Dr. Eng. ²

RESUMO

Este estudo quantifica a economia energética através da utilização de óleo lubrificante sintético na lubrificação de redutores industriais. Avaliando o consumo de energia pela produção realizada antes e depois da substituição do óleo mineral pelo óleo sintético.

O estudo foi realizado numa graxaria de um frigorífico do vale do taquari, com o objetivo de aumentar a eficiência energética e diminuir o consumo de energia elétrica no processo.

Palavras-chave: Lubrificante sintético; Eficiência energética; Redutor

¹ Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

² Engenharia Mecânica. Professor Orientador. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

ABSTRACT:

This study quantifies the energy savings through the use of synthetic lubricating oil for the lubrication of industrial gearboxes. Assessing the energy consumption for producing performed before and after the replacement of mineral oil with synthetic oils.

The study was conducted in a rendering plant of a frigorific in Taquari Valley, in order to increase energy efficiency and reduce consumption of electric energy in the process.

Keywords: Synthetic lubricant; Energy efficiency; Gearbox

1 INTRODUÇÃO

1.1 Importância no contexto atual

Segundo Araújo (2011) o aperfeiçoamento dos processos de fabricação possibilitou surgimento de materiais de maior resistência e confiabilidade, e com isso a geração de equipamentos cada vez mais produtivos e precisos. Entretanto, a lubrificação é o item principal que deve ser entendida e praticada no campo da manutenção industrial para garantir a funcionalidade e um aumento da vida útil dos componentes.

Johnson (2010) relata a dificuldade de comprovar e medir as vantagens do uso de um óleo de maior valor agregado junto ao setor de compras das companhias devido a dificuldade de provar o desempenho. É difícil de ver a diferença invisível entre as superfícies lubrificadas na máquina para julgar exatamente o que o material está fazendo para seu justificar seu valor diferenciado.

Segundo Magalhães (2010), devido o cenário econômico, a conservação ambiental e a necessidade de conservação energética surgem estudos e novas técnicas visando soluções sustentáveis e com evolução do ponto de visto técnico e econômico, dinamizando os atuais processos e fortalecendo a tendência de mercado baseado na sustentabilidade e com produção maior e mais eficiente.

Johnson (2010) quantifica que 1 a 3 % do orçamento da manutenção é gasto na compra de lubrificante, e 45% do orçamento da manutenção fica a encargo dos

salários e hora extras, que tem uma porcentagem relacionada com atividades de lubrificação. Assim sendo, com o uso de lubrificantes de maior qualidade, além do ganho energético, haverá uma carga menor de trabalho gerando além dos ganhos financeiros um impacto menor no meio ambiente, um aumento na confiabilidade dos equipamentos e retorno financeiro maior para as empresas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho visa elaborar um estudo de comprovação técnica e econômica com o uso de lubrificantes sintéticos em sistema de força motriz usados na indústria. Esse estudo consiste na análise da eficiência energética em um redutor com a redução do consumo de energia através do uso de óleo sintético, que tem um valor agregado maior, mas que devido um coeficiente de atrito menor gera um consumo menor de energia elétrica e provoca menos desgaste mecânico em seus componentes, aumentando sua vida útil e a confiabilidade do processo.

2.2 Objetivo específico

- Utilizar lubrificantes de maior tecnologia com propósito de aumentar a eficiência de equipamentos e a confiabilidade dos processos produtivo.
- Demonstrar a economia de consumo de energia com a substituição dos óleos minerais por óleos sintéticos;
- Comprovar os benefícios mecânicos em redutores quando lubrificadas por óleos sintéticos.

Com esse trabalho espera-se:

- Diminuir o consumo de energia elétrica com o acionamento de um redutor de grande porte;
- Diminuir a quantidade de trocas de óleo e tempo de manutenção em equipamentos de grande porte;

- Aplicar a racionalização e a efficientização da energia elétrica no processo produtivo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Atrito

Pauli e Uliana (1997 apud Araújo, 2011) através de exames acurados do contorno de superfícies sólidas mostraram que é impossível, mesmo com os mais modernos processos de espelhamento, produzir uma superfície verdadeiramente lisa ou plana. Ampliando-se uma pequena porção de uma superfície aparentemente lisa, mostram uma superfície com “grandes” irregularidades, Figura 1.



Figura 1 - Superfície com ampliação em destaque, evidenciando irregularidades das superfícies. Fonte: Araújo (2010, p.19).

Supondo essa superfície representar as faces dos dentes de engrenagem, o contato entre elas, superfícies aparentemente lisas, serão somente nos pontos salientes e quanto maior for a carga, maior será o número de pontos em contato. Ao movimentar um dente sobre o outro haverá um desprendimento interno de calor nos pontos de contato, que devido à ação da pressão e da temperatura provocam a solda dos pontos conforme.



Figura 2 - Superfícies em contato e movimento surgimento de micros soldas devido o calor gerado pelo atrito. Fonte: Araújo (2010, p.20).

Para manter o movimento é preciso romper as pequeníssimas soldas, necessitando fazer uma força maior e gerando desgaste metálico, com o rompimento das micros soldas, além da contaminação do óleo devido o arraste de algumas partículas de metal e contaminação do óleo lubrificante. Quando as superfícies de contato soldam-se mais profundamente, pode ocorrer a *grimpagem* ou ruptura das peças.

Para evitar esses efeitos indesejáveis, introduz uma camada de lubrificantes com o objetivo de manter as superfícies separadas. A lubrificação pode ser feita de muitas formas diferentes, dependendo da geometria dos corpos em contato, da aspereza e textura das superfícies deslizantes, da carga, da pressão e da temperatura, das velocidades de rolamento e escorregamento, das condições ambientais, das propriedades físicas e químicas do lubrificante, da composição material, e das propriedades da camada superficial das peças.

3.2 Lubrificantes

Segundo Losekann (2007), lubrificantes são substâncias que evitam o contato entre duas superfícies, sendo classificados conforme a força de coesão que mantém as moléculas unidas nos estados gasoso, sólido, pastoso ou líquido.

Os lubrificantes líquidos, segundo Losekann (2007) podem ser classificados em: óleos minerais, originários do petróleo; óleos graxos, origem vegetal ou animal (soja, mamona, porco, castor); óleos compostos, combinação entre óleos minerais e graxos; e óleos sintéticos, sintetizados artificialmente para suportar condições mais adversas.

- **Óleos minerais** – são oriundos de óleos crus de composição variada de grande número de hidrocarbonetos (compostos orgânicos de carbono e

hidrogênio) e mais oxigênio, nitrogênio, enxofre, etc, que são encontrados em menores percentagens. Os óleos crus passam por diferentes tratamentos, tais como: destilação, desasfaltação, desaromatização, desparafinização e hidrogenação. A sequência depende tanto da natureza do óleo cru como dos produtos finais desejados

- **Óleos graxos** - São de origem vegetal ou animal. Foram os primeiros lubrificantes utilizados; satisfaziam às modestas necessidades da época em que predominavam a tração animal. Atualmente são poucos recomendados, principalmente por não suportarem temperaturas elevadas, oxidando-se facilmente, tornando-se rançosos e formando ácidos que atacam as superfícies metálicas.
- **Óleos compostos** – são oriundos da mistura de óleo graxo com óleo mineral, que produz um lubrificante de maior oleosidade e maior facilidade de emulsão em presença de vapor.
- **Óleos sintéticos** - São lubrificantes “*processados*” por processo de polimerização para oferecer características especiais de viscosidade, resistência a temperaturas elevadas ou muito baixas. Estes óleos podem ser separados em alguns grupos.

3.3 Lubrificante sintético

Segundo Kluber (2010), a linha de óleo Klubersynth a partir da viscosidade ISO VG 220 alcança o estágio de carga API GL 5 de resistência ao desgaste (scuffing). Segundo Losekann (2007), API GL 5 é a classificação do Instituto de Petróleo Americano (API) que classifica os lubrificantes para engrenagens automotivas como o maior grau, indicando-o para aplicações em condições extremamente severas de carga e velocidade, sendo também destinado a engrenagens helicoidais e com alto nível de aditivação de extrema pressão (EP)

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento de dados

4.1.1 Equipamento

O equipamento em que será feito o estudo de eficiência energética pela troca do lubrificante é um secador de disco,

Figura 3, utilizado na secagem das vísceras das aves. As vísceras antes de chegar ao secador são processadas para retirada de líquido e gordura tornando-se uma massa úmida que será seca enquanto ela é transportada da entrada até a saída pelos discos que são aquecidos por vapor.

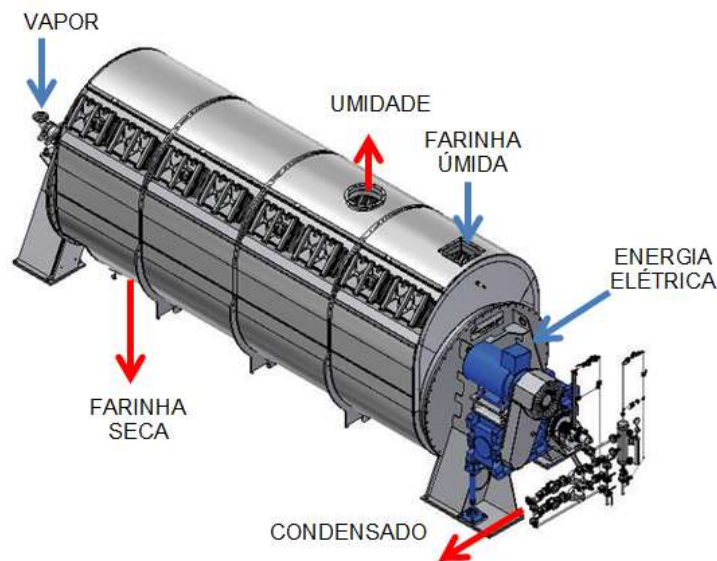


Figura 3 – Secador de disco com indicação do que entra e sai do equipamento.

4.1.2 Conjunto acionador

O redutor acionador que é um redutor SEW modelo X4FA240/T, com redução compostas por engrenagens helicoidais fabricadas com aço temperado e cementação de alta qualidade. Os eixos de saída são feitos de aço tenaz, sendo a saída com eixo oco e acoplado direto ao eixo do equipamento. A lubrificação é feita por banho de óleo com todos os pontos de engrenagem e de rolamento imersos parcialmente no óleo. O volume de lubrificante requerido é 212 litros de óleo. A massa do redutor, sem a carga de óleo, é de 3430 kg. Potência nominal de operação no eixo de entrada é de 93,1 kW e redução de 1: 155,53.

O acionamento do redutor é feito por um motor de trifásico de 90 kW (125 CV), 1785 rpm, acionado por correias conforme Figura 4.

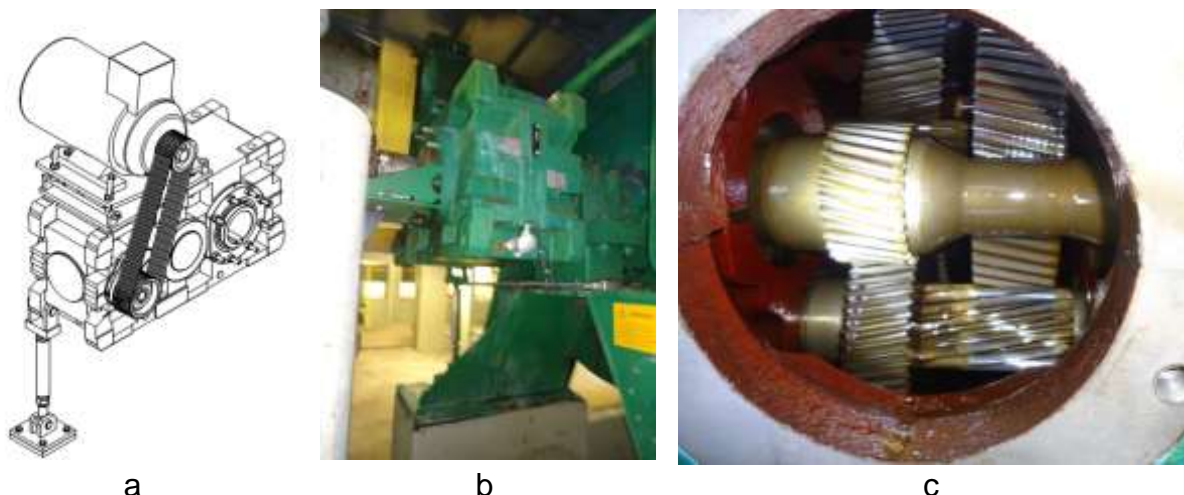


Figura 4 - Conjunto motriz do secador de disco. a - Desenho completo da montagem do acionamento. Fonte: Adaptado de Harslev (p. 48). b - Foto do acionamento na instalação. c - Foto das engrenagens e eixos pela porta de inspeção lateral.

4.1.3 Coleta dos dados

A coleta dos dados se deu em dois momentos, sendo a primeira com a máquina trabalhando com óleo mineral durante 72 horas e ocorreram entre o período de 26/11/2013 à 29/11/2013.

A segunda coleta de dados foi depois da substituição do óleo mineral para o óleo sintético de base polialfaolefina (PAO), Klubersynth GH 6-320, com duração de 120 horas e que ocorreram 13 a 19 de março de 2014.

4.1.4 Equipamentos utilizados

As medições de grandezas elétricas foram realizadas com equipamento Medidor/Registrador Eletrônico EMBRASUL R 4000 - Limite de Erro do Equipamento: $\pm 0,5\%$ e alicates (cintas para corrente) escalas 10 a 3000 A ~ - Precisão: $\pm 1\%$ leitura, $\pm 0,1A$.

As medições de massas de entrada e saídas são informadas pelo sistema de pesagem dos frangos abatidos no frigorífico.

A produção é a massa estimada pela produção levando em conta a quantidade de produto processado, produto expedido e o que ficou nos silos armazenados.

As medições de temperatura foram realizadas por termopar tipo PT 100, de 0 à 300 °C, com conversor de corrente, figura

Todos os dados são processados por um CLP Compact Logix L35E,

Rockwell.

Sendo o controle e armazenamentos dos dados gerenciados pelo supervisor Rs View32, software da Rockwell Automation, que gerencia toda a planta da graxaria. É através do software que é controlando acionamentos de motores e válvulas, visualizado as leitura de temperatura e pressão, além de ser a interface do operador com os equipamentos. O Rs View está instalado em computador na sala de controle, Figura 1Figura 5.

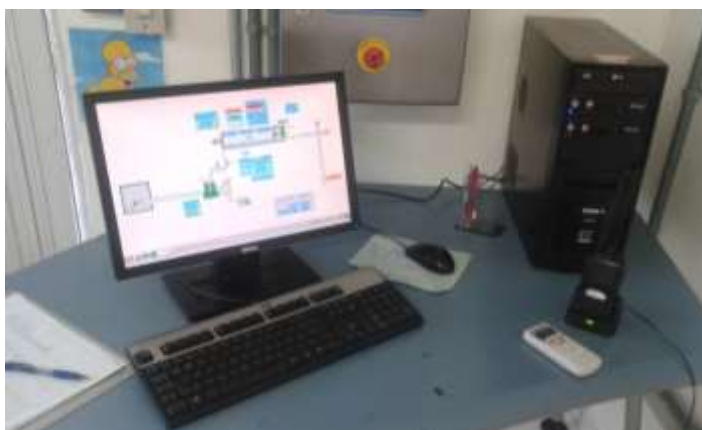


Figura 5 - Visualização da tela do Software de operação, supervisor, na sala de operação.

4.2 Dados obtidos

Os dados retirados do supervisor Rs View 32 antes e depois da troca do óleo foram agrupados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados

Dia	Tipo óleo	Massa total - Entrada com UR 60% (kg)	Potência Média (kW)	Umidade FINAL (%)	Massa seca - produção farinha (kg)	Temperatura redutor (°C)
26/11/13	Mineral	59.492	58,28	3,91	20.000	83,9
27/11/13	Mineral	51.569	48,65	5,56	20.000	82,1
28/11/13	Mineral	57.514	47,09	5,73	18.000	80,5
29/11/13	Mineral	53.215	42,83	5,13	20.000	76,6
12/03/14	Sintético	75.409	61,51	6,79	23.200	75,7
13/03/14	Sintético	67.519	53,29	5,51	23.200	75,1
14/03/14	Sintético	81.305	49,48	6,33	23.200	74,1
17/03/14	Sintético	67.080	50,64	4,61	23.200	67,9
18/03/14	Sintético	64.723	56,14	4,98	20.000	75,0
19/03/14	Sintético	68.641	42,52	5,46	20.000	72,2

A potência média consumida pelo acionamento para o lubrificante mineral na Figura 6 sendo que a potência oscilou entre 45kW e 65kW resultando na potência média de operação de 49,22 kW.

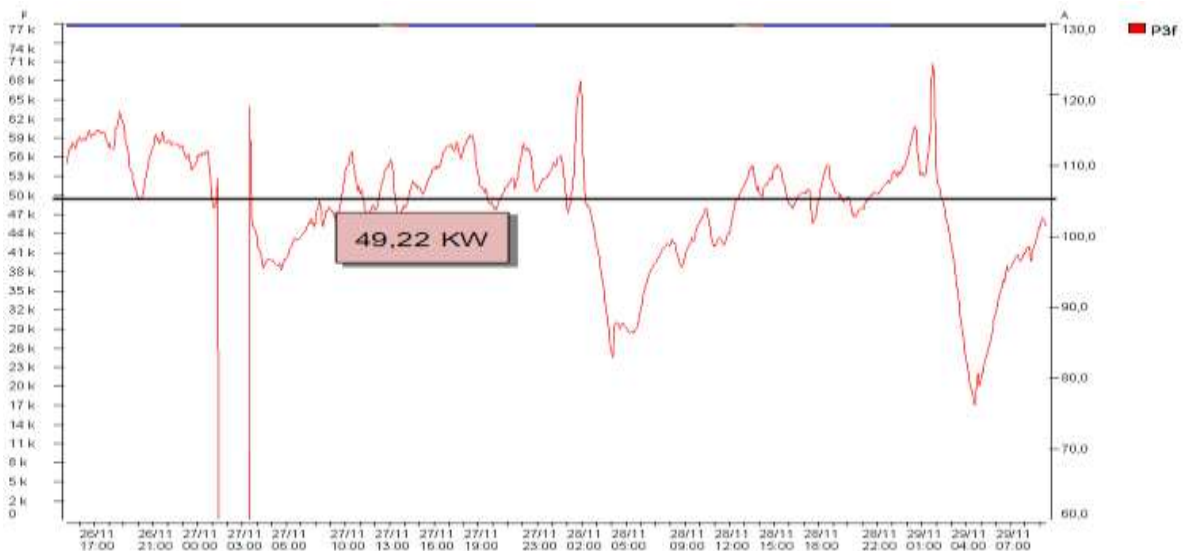


Figura 6 - Potência consumida pelo acionamento com lubrificante mineral. Medida pelo equipamento Embrasul RE400 no período de 16:08 de 26/11/2013 à 10:27 de 29/11/2013.

A potência média consumida pelo acionamento para o lubrificante sintético, Figura 7, sendo que a potência oscilou entre 35kW e 71kW resultando na potência média de operação de 50,45 kW, Figura 7.

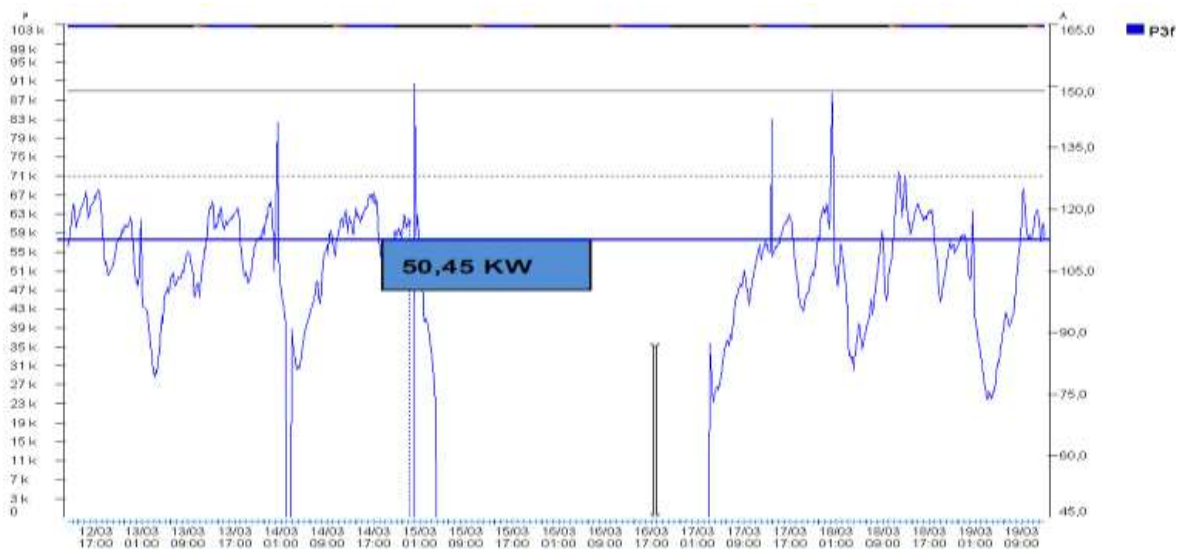


Figura 7 - Potência consumida pelo acionamento com lubrificante sintético. Medida pelo equipamento Embrasul RE400 no período de 15:10 de 12/03/2014 à 16:04 de 19/03/2014

4.3 Análise dos dados coletados

Como observado pelos dados iniciais coletados não há uma constante na quantidade de produto entrando no secador, assim buscou-se achar o consumo específico para cada lubrificante, pois com o óleo mineral houve uma entrada média de 55,5 toneladas de produto por dia e saiu 19,5 toneladas de farinha seca, com um consumo diário de 1.181 kWh e um consumo específico de 60,57 kWh/tonelada de farinha seca produzida, e uma temperatura média no redutor de 80,8 °C. A Figura 8 demonstra o esquema da operação.



Figura 8 - Resumo de produção com o lubrificante mineral

Para o óleo sintético, fazendo um análise similar, ocorreu com uma entrada média de 70,8 toneladas de produto por dia e saiu 22,1 toneladas de farinha seca, com um consumo diário de 1.244 kWh e um consumo específico de 56,2 kWh/tonelada de farinha seca produzida, e uma temperatura média no redutor de 73,3 °C. Figura 9 esquetiza esta operação.



Figura 9 - Resumo de produção com o lubrificante sintético

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o uso do lubrificante sintético houve uma melhora de performance mecânica perceptível principalmente pelo desempenho térmico do redutor, que mesmo com uma potência maior de consumo devido o aumento de produção teve uma diminuição da temperatura, o por já comprova o ganho na eficiência energética. Na avaliação do consumo, foi observado um aumento de produção de 13,5% enquanto o consumo aumentou 5,3%, trazendo uma redução no consumo por kWh/tonelada de farinha seca de 4,37 kWh/ton., que representa uma economia de 7,2 %.

Assim, a economia diária total devido a troca de lubrificante foi de 97 kWh, pois antes era consumido 1.181kWh para produzir 19,5 toneladas de produto, que com o aumento de produção para 22,1 toneladas passaria a consumir 1.340 kWh, 159 kWh a mais.

5.1 Avaliação econômica e de processo.

Considerando que o volume de óleo de 212 litros para ambos os óleos foi levantado os custos que seguem. Sendo o custo da energia elétrica de R\$ 0,26 por kWh, sendo que nesse valor engloba o custo da energia em horário dentro e fora de ponta/ICMS/PIS e COFINS, valor fornecido pela engenharia da companhia.

5.1.1 Óleo mineral

O óleo mineral tem um custo sem imposto de R\$ 8,50, e de R\$ 10,00 com impostos, e sua vida útil estimada para essa operação é de 8.400 horas. Considerando uma operação diária de 24 horas, nos 5 dias da semana, o óleo mineral alcançará o fim de sua vida útil com aproximadamente 16 meses (1 ano e 4 meses). Sendo que para cada troca há a necessidade de dois manutentores por um tempo estimado de 2,5 horas para executar todo o procedimento de troca a um custo R\$ 30,00 por hora/homem. Não considerando a parada como custo de operação, pois o equipamento é desligado normalmente todos os finais de semana.

Assim o uso do óleo mineral resultará num gasto de R\$ 2.185,20 por troca que irão se repetir quatro vezes no período de 6 anos e nove meses, gerando um gasto de 848 litros de óleo que deverão ser destinado ao descarte que atualmente é coletado por uma empresa que paga R\$ 0,40 por litro descartado, gerando uma

receita de R\$ 84,00 por troca de óleo que já foi abatido no valor considerado para a troca. Não trarão ganho nenhum na economia de energia, mas atenderá satisfatoriamente aos padrões de utilização/conservação do redutor.

5.1.2 Óleo Sintético

O óleo sintético com um custo inicial 5 vezes mais caro que o mineral, valor sem imposto de R\$ 34,16, e de R\$ 52,08 com impostos, por litro, tem sua vida útil estimada para essa operação é de 42.000 horas, que também equivale ao quádruplo da vida do mineral. Considerando o mesmo padrão operacional e de troca do óleo mineral, o óleo alcançará o fim de sua vida útil com aproximadamente 82 meses (6 anos e 9 meses) e exigirá os mesmos cuidados e tempo na hora da troca.

Com o custo de R\$ 11.106,16 por troca ele irá acontecer somente depois de 6 anos e nove meses, deixando de gerar 848 litros de óleo para descarte, eliminando todo um processo de risco e manuseio de produto nocivo a saúde e ao meio ambiente, e trará ganho médio de R\$ 646,53 por mês referente à economia de energia devido ao seu ganho energético pela quantidade de farinha produzida. Além dos ganhos mencionados, o óleo sintético opera com uma temperatura muito menor no redutor, comprando seu maior poder de formação de película entre as partes deslizantes e cumprimento de sua função com ganhos devendo resultar em um tempo maior de vida ao equipamento.

5.1.3 Comparação direta dos resultados

Para aplicar os critérios da companhia que estabelece como requisitos de investimento uma taxa de atratividade de 18% ao ano, sendo os dados e valores anteriormente apresentados agrupados no Quadro 1.

Tempo de uso		528	h/mês
Período no ano		12	mês
Consumo atual		27.680	kWh/mês
I		18%	aa
Custo Energia (Englobando custo do horário de ponta /ICMS/PIS e COFINS)		0,26	R\$/kWh
Projeto	Óleo mineral	Óleo sintético	
Produção mensal	457		ton/mês
Consumo por tonelada farinha produzida.	60,57	56,20	kWh/ton
Consumo mensal mineral	27.680	25.683	kWh/mês
Consumo (kwh/mês)	27.680	25.683	kWh/mês

Vida Útil (h)	8.400	42.000	
Preço (R\$)	R\$ 2.185,20	R\$ 11.106,16	
Investimento: Diferença do custo total das trocas entre o óleo sintético e o mineral	R\$ 8.920,96		
Tempo de Vida do óleo na aplicação (ano)	1,326	6,629	
Economia de energia por mês	0	1.997	kWh/mês
Economia de energia por ano	0	23.965	kWh/ano
Valor economizado	R\$ -	R\$ 6.230,92	R\$/ano

Quadro 1 - Resumo da avaliação comparativa dos dois óleos lubrificantes

Assim podemos fazer uma breve análise financeira onde resultara:

- Payback simples de:

$$PBS = \frac{I}{A} = \frac{8.920,96 \text{ R\$}}{6.230,92 \text{ R\$/ano}} = 1,43 \text{ ano} = 1 \text{ ano e 5 meses}$$

- Payback descontado de:

$$PBD = n = -\frac{\ln\left(1 - \frac{I}{A} \cdot i\right)}{\ln(1+i)} = -\frac{\ln\left(1 - \frac{8.920,96 \text{ R\$}}{6.230,92 \text{ R\$}} \cdot 18\%aa\right)}{\ln(1+18\%aa)} = 1,8 \text{ ano}$$

$$PBD = 1 \text{ ano e 9 meses}$$

- Valor presente líquido (VPL) de:

$$VPL = -I + A \cdot FVP(i; n) = -I + A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

$$VPL = -8.920,96 \text{ R\$} + 6.230,92 \text{ R\$} \cdot \frac{(1+18\%)^{6,63 \text{ anos}} - 1}{i \cdot (1+18\%)^{6,63 \text{ anos}}}$$

$$VPL = \text{R\$ } 11.954,56$$

6 CONCLUSÃO

Com os dados medidos e avaliados, pode ser observado o benefício mecânico ao sistema pela diminuição da temperatura de operação do redutor, mesmo com uma exigência mecânica maior no sistema devido ao aumento de produção e com uma potência consumida menor por tonelada de produto produzida.

Com o óleo mineral o consumo foi de 60,57 kWh por tonelada de produto produzida e a temperatura média do redutor foi de +- 80 °C com uma produção diária de 19,5 toneladas de produto.

Com o óleo sintético o consumo foi de 56,20 kWh por tonelada de produto

produzida e a temperatura média do redutor foi de +- 73 °C com uma produção diária de 22,1 toneladas de produto.

Com esses dados médios estima-se o retorno do investimento, o valor a mais pago pela carga de óleo sintético, em 1 ano e 9 meses, considerando que a produção e os valores do custo da energia se mantenham constante. Trazendo esses valores para o valor presente tem-se que o projeto representa um valor de R\$ 11.954,56, o que demonstra sua viável e eficiência na redução do consumo de energia do processo produtivo.

7 SEGESTÕES DE PRÓXIMOS TRABALHOS

Devido à dificuldade de levantamento de dados e a falta de trabalhos comparativos segue algumas possibilidades de novos trabalhos que possam qualificar e explicar melhor os dados aqui encontrados:

- Analisar o ganho existente em redutor com lubrificante mineral usado x óleo mineral novo, para avaliar se o ganho não é decorrente de outros aditivos presentes no óleo sintético;
- Identificar os agentes que fazem com que o óleo sintético provoque o menos coeficiente de atrito e assim possa comprovar sua aplicação.
- Acompanhar os resultados e variação de consumo específico com o envelhecimento e contaminação do óleo sintético.

8 REFERÊNCIAS

ARAUJO, R. **Análise de falha aplicada a redutores de velocidade com perda de lubrificante por vazamento**. 2011. 33 f. Monografia (MBA Gestão Estratégica em Manutenção, Produção e Negócios)–Rede Pitágoras de Ensino ICAP Instituto Superior de Tecnologia. São João Del Rei, 2011.

EVO. Efficiency Valuation Organization. **EVO 10000 – 1:2012 (Br)**. Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água Volume 1. Janeiro de 2012

JOHNSON, M. High-Performance lubricants: **Tribology & Lubrification Technology**. Maio 2010.

Haarslev Industries. **Original Instruction Manual for Haarslev Industries A/S Disc Dryer Type 2050-HM Part no. 108-926**. Manual. 68 p.

KLÜBERSYNTH GH 6: Óleos. Klüber Lubrication. 2007. Ficha técnica.

LOSEKANN, C. **Elementos de Maquinas I**. Universidade Federal de Santa Maria. 2007. 225p.

MAGALHÃES, F. R. P DE. **Análise de eficiência energética para técnicas de acionamento de correias transportadoras**. 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SEW. **Redutores Industriais: Redutores de engrenagens helicoidais e cônicas Redutores horizontais série X**. Manual Edição/2007. 198 p.