



GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO TÉRMICA - GGT

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DE VÁLVULAS CONVERSoras DO SISTEMA HVDC

**MATEUS GUTEMBERG DE OLIVEIRA(1)
FURNAS-CENTRAIS ELETRICAS S.A.(1)**

RESUMO

Este trabalho demonstra a importância da conservação de energia elétrica, através da substituição de motores elétricos antigos por motores de alto rendimento no Sistema de Resfriamento das Válvulas Conversoras no Sistema HVDC.

A metodologia adotada para avaliar os motores incluiu um estudo preliminar, através das características de funcionamento e ensaios realizados segundo as normas da ABNT NBR17094-1/2008, NBR5383-1/2002 e anexo à portaria INMETRO Nº 488 de 08/12/2010. Nos quais foram verificadas as condições de operação dos mesmos e a provável economia que seria obtida pela utilização de motores de alto rendimento demonstrada através análise de viabilidade econômica.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência Energética, Rendimento de Motores, Viabilidade Econômica

1.0 - Introdução

Os motores elétricos vêm evoluindo ao longo do tempo, tanto no projeto como em materiais, na sua busca contínua da melhoria do rendimento, indo ao encontro das melhores práticas de sustentabilidade.

Como forma de verificar esta evolução ao longo do tempo, bem como as consequências advindas da recuperação de motores ao longo da sua vida útil, utilizamos um grupo de amostra de motores com fabricação de 1980, originais do início do funcionamento do sistema de resfriamento, e que ao longo do tempo com certeza sofreram recuperações / rebobinamentos.

Estes equipamentos, via de regra, trabalham em regime de serviço contínuo, S1, sofrendo paradas em intervalos constantes de 15 dias com a mudança de prioridade, em manutenções do sistema ou próprio. Os mesmos trabalham com partida direta.

A partir do levantamento realizados nestes equipamentos, os mesmos foram comparados com os ora em oferta no mercado, comparando assim o rendimento dos mesmos e, por conseguinte, os ganhos esperados.

2.0 - Desenvolvimento

2.1 – Dados dos equipamentos

De todos os motores disponíveis nas bombas do sistema de resfriamento, 16 no sistema primário e 16 no sistema secundário dos conversores, além de outros 08 no sistema de resfriamento dos compensadores síncronos, 01 foi selecionado com as seguintes características

Tabela 1 - Motores do Sistema

Descrição	Carga	Potência cv	Horas de operação / ano	Método de Partida	Quantidade
Resfriamento primário dos conversores	Bomba centrífuga	75	8.000	Direta	16
Resfriamento secundário dos conversores	Bomba centrífuga	60	8.000	Direta	16
Resfriamento dos compensadores síncrono	Bomba centrífuga	100	8.000	Direta	8



Figura 1 - Motor padrão 60 cv.

Os dados técnicos dos motores em estudo estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados técnicos dos motores em estudo.

Dados	Motor Padrão	Motor Alto Rendimento
Potência	60 cv	60 cv
Tensão	380 V	380 V
Frequência	60 Hz	60 Hz
Nº de Pólos	4	4
Rendimento	88,2%	95%

2.2 - Descrição do Projeto

Devido à algumas eventualidades como queima e aquecimento excessivo em motores elétricos, ficou constatado que havia a necessidade de analisar as causas dessas ocorrências.

Os fatores mais relevantes apresentados foram a qualidade dos serviços realizados pelos prestadores de serviço de rebobinamento e a vida útil dos motores.

Face os fatores supracitados, foram executados ensaios elétricos em um Motor de 60CV (45kW) do sistema de resfriamento secundário dos Conversores no Laboratório de Ensaios do IEE / USP. O Motor referenciado teve a execução do serviço de rebobinamento / enrolamento e não apresentava

2.3 - Ensaio

2.3.1 - Características técnicas

2.3.1.1 - Laboratório Responsável:

CTAE-04 - SERVIÇO TÉCNICO DE CONVERSÃO, TRANSFORMAÇÃO E ACUMULAÇÃO DE ENERGIA – IEE / USP.

2.3.1.2 - Descrição do corpo de prova:

Um motor de indução trifásico com rotor gaiola de esquilo e com os seguintes dados declarados em placa:

Fabricante:	GE	Tipo/ Modelo:	47.5834.110A
Potência útil:	60 cv	N. série:	FU 33209
Velocidade:	1770 rpm	Regime:	Contínuo
Tensão:	460 V	Classe da isolamento:	F
Corrente:	70,8 A	Grau de proteção:	---
Frequência:	60 Hz	Fator de serviço:	1,15
Rendimento:	---	Fator de potência:	---



Figura 2 – Placa do Motor padrão 60 cv.

2.3.2 - Ensaio realizado

2.3.2.1 - Objetivo:

Determinação do escorregamento, do rendimento, do fator de potência e da corrente.

2.3.2.2 - Norma e/ou Procedimento:

Ensaio realizado segundo as normas da ABNT NBR17094-1/2008, NBR5383-1/2002 e anexo à portaria INMETRO Nº 488 de 08/12/2010.



Figura 3 - Ensaio no laboratório IEE / USP

2.3.2.3 - Condições de ensaio

Ensaio com tensão nominal (460 V) e realizado após ensaio térmico com potência nominal.

a) Fonte de alimentação:

b) Regulador de tensão alimentado pela rede pública e com as seguintes características: Tensão: 460 V; Frequência: 60 Hz; Forma de onda: senoidal.

2.3.2.4 - Método de ensaio

a) Aplicação da carga utilizando freio eletrodinamométrico de 185 kW / 1800 rpm.

b) Metodologia de cálculo:

Ensaio dinamométrico com medição indireta das perdas suplementares e medição direta das perdas no estator, no rotor, no núcleo e por atrito e ventilação (utilizando a variação 2 do método).

2.3.3 - Resultados

Tabela 3 – Valores do ensaio.

Resistência média a frio do enrolamento do estator: 194 miliohms, a temperatura de 24,9 °C.

Resistência média do enrolamento do estator após ensaio de elevação de temperatura à carga nominal: 280 miliohms, a temperatura de 140 °C e temperatura ambiente de 27,3 °C.

Carga (% da nominal)	150	125	100	75	50	25
Temperatura ambiente (°C)	27,3					
Temperatura do enrolamento do estator (°C)	137					
Velocidade síncrona (rpm)	1800					
Velocidade (rpm)	1735,3	1753,0	1766,4	1776,2	1784,4	1792,6
Escorregamento (rpm)	64,70	47,00	33,60	23,80	15,60	7,400
Tensão média (V)	460,1	460,4	461,1	459,4	459,7	459,5
Corrente média (A)	122,4	94,95	73,46	54,76	37,71	23,02
Potência de entrada (kW)	83,64	66,81	52,47	38,91	25,96	13,60
Perda no núcleo (W)	379,3					
Perda I²R no estator, à 137 °C (kW)	6,249	3,760	2,251	1,251	0,5931	0,2210
Potência através do entreferro (kW)	77,02	62,68	49,84	37,28	24,99	13,00
Perda I²R no rotor, à 137 °C (kW)	2,768	1,637	0,9303	0,4930	0,2165	0,0535
Perda Atrito e Ventilação (W)	614,6					
Perdas convencionais (kW)	10,01	6,390	4,175	2,737	1,803	1,268
Correção do dinamômetro (N.m)	0,7416					
Conjugado corrigido (N.m)	376,5	312,8	250,7	188,4	125,8	63,62
Potência mecânica (kW)	68,46	57,46	46,41	35,06	23,53	11,95
Perda aparente (kW)	15,18	9,358	6,055	3,853	2,430	1,651
Perdas suplementares (kW)	5,170	2,968	1,880	1,116	0,6264	0,3824
Perda I²R no estator, à 137,5 °C (kW)	6,255	3,763	2,253	1,252	0,5937	0,2212
Potência corrigida através do entreferro (kW)	77,01	62,67	49,84	37,28	24,98	13,00
Escorregamento corrigido (rpm)	64,77	47,05	33,63	23,82	15,62	7,408
Velocidade corrigida (rpm)	1735	1753	1766	1776	1784	1793
Perda I²R no rotor, à 137,5 °C (kW)	2,771	1,638	0,9312	0,4935	0,2168	0,0535
Perdas suplementares corrigidas (kW)	4,728	3,263	2,097	1,183	0,5280	0,1350
Perdas totais corrigidas (kW)	14,75	9,658	6,275	3,923	2,332	1,404
Potência útil (kW)	68,90	57,16	46,19	34,99	23,63	12,20
Rendimento (%)	82,4	85,5	88,0	89,9	91,0	89,7
Fator de potência (%)	85,7	88,2	89,4	89,3	86,4	74,2
Rendimento interpolado para 45,0 kW nominal (%)			88,2			
Fator de potência interpolado para 45,0 kW nominal (%)			89,5			
Índice de afastamento de resultado (%)			452			
IAR calculado em função do rendimento especificado pela portaria 553/2005 (93,8%)						

3.0 - Viabilidade Econômica

O valor de aquisição do motor de alto rendimento de 45kW / 60 cv é de aproximadamente de R\$ 10.500,00. Considerando que os motores funcionam 24 horas por dia, o custo médio do kWh, levando em consideração o valor em horário de ponta, fora de ponta e período seco e úmido, é de R\$ 0,28.

Com base nestas premissas, serão calculados os valores de consumo dos motores, para mensuração da economia gerada com a substituição dos motores.

Motor Padrão:

Energia = (Potência cv x horas de uso x 0,736) / rendimento = kWh

Energia = (60 x 8.000 x 0,736) / 0,882 (Valor do Ensaio) = 400.544 kWh/ano

Motor Alto Rendimento:

Energia = (Potência cv x horas de uso x 0,736) / rendimento = kWh

Energia = (60 x 8.000 x 0,736) / 0,95 (Valor de Placa) = 371.873 kWh/ano

Economia de Energia = 400.544 – 371.873 = 28.671 kWh/ano

Economia em R\$ = 28.671 x 0,28 = R\$ 8.027,88 por motor

Economia gerada por todos os motores = R\$ 8.027,88 x 20 = R\$ 160.557,60

Através dos valores obtidos, constatou-se uma economia anual de 573,42 MWh, totalizando R\$ 160.557,60 com a substituição de todos os motores.

No capital investido para a substituição de 20 motores, valor unitário de R\$ 28.178,00 e foram considerados os valores do motor e do frete, totalizando R\$ 563.560,00.

A Tabela 4 apresenta o capital descontado, tendo como base o tempo de vida útil do motor de alto rendimento, estimado em 20 anos, adotando uma taxa de juros de 11% ao ano.

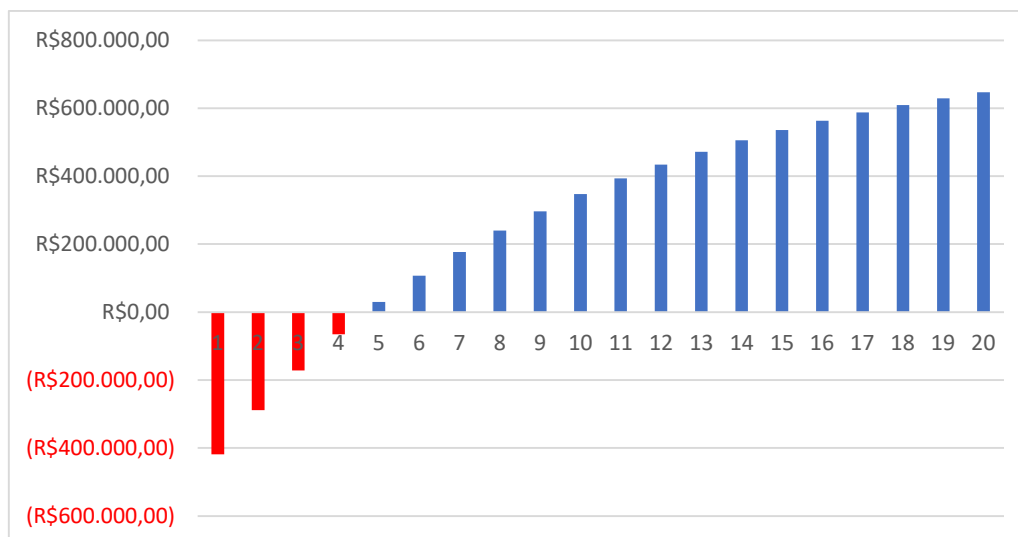
Tabela 4 - Capital descontado.

Ano	Capital	Capital Descontado	Acumulado
0	-R\$ 563.560,00	-R\$ 563.560,00	-R\$ 563.560,00
1	160.557,60	R\$ 144.646,49	-R\$ 418.913,51
2	160.557,60	R\$ 130.312,15	-R\$ 288.601,36
3	160.557,60	R\$ 117.398,33	-R\$ 171.203,03
4	160.557,60	R\$ 105.764,26	-R\$ 65.438,77
5	160.557,60	R\$ 95.283,12	R\$ 29.844,36
6	160.557,60	R\$ 77.333,92	R\$ 107.178,27
7	160.557,60	R\$ 69.670,20	R\$ 176.848,47
8	160.557,60	R\$ 62.765,94	R\$ 239.614,41
9	160.557,60	R\$ 56.545,89	R\$ 296.160,31
10	160.557,60	R\$ 50.942,25	R\$ 347.102,56
11	160.557,60	R\$ 45.893,92	R\$ 392.996,47
12	160.557,60	R\$ 41.345,87	R\$ 434.342,34
13	160.557,60	R\$ 37.248,53	R\$ 471.590,88
14	160.557,60	R\$ 33.557,24	R\$ 505.148,11
15	160.557,60	R\$ 30.231,74	R\$ 535.379,86
16	160.557,60	R\$ 27.235,81	R\$ 562.615,66
17	160.557,60	R\$ 24.536,76	R\$ 587.152,42
18	160.557,60	R\$ 22.105,19	R\$ 609.257,61
19	160.557,60	R\$ 19.914,59	R\$ 629.172,20
20	160.557,60	R\$ 17.941,07	R\$ 647.113,27

O tempo de retorno do capital investido através do método de Pay Back descontado é de 4,69 anos, ou seja, 4 anos e 8 meses. Através da Tabela 4 podemos obtermos o valor do VPL de R\$ 647.113,27, comprovando que o

investimento é plenamente viável e da TIR, que ficou em 15%. Os Gráficos 1 mostra a relação custo/benefício do projeto.

Gráfico 1 - Relação custo/benefício do projeto.



4.0 - CONCLUSÃO

O fator a ser analisado é o rendimento do motor que seria a grandeza que mede a “qualidade” com que ocorre a conversão de energia elétrica, absorvida da rede, em energia mecânica na ponta do eixo (trabalho). Esse fator de acordo com a norma da ABNT NBR17094-1/2008, indica que o valor deveria ser de 93,6% e o valor encontrado através dos ensaios é de 88,2%, face os valores apresentados temos uma perda aproximada de 7% e hoje os motores apresentam mais de 95% de rendimento que seria referente a 28,67 MW / ano por motor. Sendo assim fica comprovada que os motores antigos / padrão perdem parcialmente suas características originais e têm uma perda significativa em relação aos motores novos.

Tendo em vista o tempo de retorno do investimento de 4 anos e 8 meses, e que, a partir dessa data, a economia perpetuará durante todo período de vida útil de 20 anos, obtendo uma economia de aproximadamente R\$ 647.113,27. Conforme mostradas ao longo do trabalho, as ações de eficiência energética conseguem otimizar a utilização de energia associada a uma atividade, contribuindo assim para a redução dos gastos com este produto.

Estas ações, além de trazerem benefícios diretos para os consumidores, trazem também grandes benefícios à sociedade, pois promovem um alívio para os sistemas de suprimento de energia, contribuindo assim para reduzir os riscos de um racionamento de eletricidade.

5.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT NBR 17094-1/2013. **Máquinas elétricas girantes – Motores de indução Parte 1: Trifásicos**. 2013.
- (2) BARROS, B. F; BORELLI, R; GEDRA, R. L. **Gerenciamento de Energia: Ações Administrativas e Técnicas de Uso Adequado da Energia Elétrica**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2010.
- (3) BRASIL. **Decreto Nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002**. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiolos de esquilo, de fabricação nacional ou importada, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências.
- (4) BRASIL. **LEI Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.
- (5) BRASIL. **LEI Nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências.

- (6) COPEL. **Manual de Eficiência Energética na Indústria**. Paraná, 2005.
- (7) ELEKTRO. **Manuais Elektro de Eficiência Energética: Segmento Industrial**.
- (8) ELETROBRÁS; PROCEL. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. 3 ed. Itajubá, 2006.
- (9) ELETROBRÁS; PROCEL. **Eficiência Energética: Teoria e Prática**. Itajubá, 2007.
- (10) ELETROBRÁS; PROCEL. **Guia Operacional de Motores Elétricos**. Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- (11) ELETROBRÁS; PROCEL. **Motor de Alto Rendimento**. Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- (12) INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/>>. Acesso em: 04 mai. 2014.
- (13) IVANOV, A.V.; **"Máquinas Elétricas – Vol. 2"**. Mir Publishers, Moscou. 1984.
- (14) WEG. **Catálogo Geral de Motores Elétricos: Características, Especificação, Instalação e Manutenção**. Jaraguá do Sul, SC, 2004.

DADOS BIOGRÁFICOS



Mateus Gutemberg de Oliveira Formação Tecnólogo em Sistemas Elétricos pelo IFSP, Engenharia Elétrica pela Uniradial e Pós graduação em Gestão de Manutenção pela FMU. Técnico em Eletro-Mecânica com 30 anos de experiência em manutenção de máquinas e equipamentos, sendo nos últimos 15 anos atuando na manutenção da Subestação Conversora de Furnas do Sistema Itaipu em Ibiúna - São Paulo. Especialista em Compensadores Síncronos, Gerenciamento e Controle de Manutenções, Manutenções Corretivas / Preventivas / Preditivas, Gerenciamento de Projetos e Gestão de Ativos.