

Eficiência Energética por meio de Inversores de Frequência: Estudo de Caso Ventilador em uma Plataforma Off-Shore

CARNEIRO, Manasses Guimarães
Universidade Salvador (UNIFACS)
Programa de Pós Graduação – Mestrado em Energia
Salvador-BA, Brasil
aerosmane@hotmail.com

Resumo—O Brasil vive um cenário de altos preços de energia elétrica em virtude do alto despacho de usinas térmicas, neste contexto a indústria com 32,9% de todo o consumo de eletricidade nacional deve conduzir esforços para processos mais eficientes. Sistemas motrizes são responsáveis por 46% da energia elétrica consumida na indústria, processos mais eficientes existem com a utilização de recursos tecnológicos como o inversor de frequência. Este trabalho avaliará a efetividade do uso de inversores de frequência para a eficiência energética, para isso estudará o motor elétrico de um ventilador em uma plataforma off-shore.

Palavras-Chave—Eficiência energética, inversores de frequência, motor elétrico, plataforma, ventiladores.

I. INTRODUÇÃO

Em virtude da escassez e irregularidade de chuvas que o país vem sofrendo principalmente nos grandes reservatórios de hidrelétricas do eixo Sudeste-Centro-Oeste, o percentual de energia armazenada nestes reservatórios passou de 83,01% em 2011 para 54,13% em 2013, caindo ainda mais em 2015, chegando a apenas 29,83% de sua capacidade em dezembro desse ano [1], com isto a geração elétrica a partir de fontes hidráulicas saiu de 428.333 GWh em 2011 para 407.200 GWh em 2014 [2]. Esta redução provocou o aumento do despacho a partir de usinas termelétricas que, segundo [3] custam 50% mais caro que a fonte principal da matriz brasileira até então; as hidrelétricas.

Fatos expostos o governo brasileiro no início do ano de 2015 por meio de [4] e [5] resolveu aumentar o custo da energia elétrica para o consumidor final, apesar das chuvas percebidas entre os meses de Dez./15 e Jan./16 e da pequena redução do valor da tarifa das bandeiras amarela e vermelha [6], até o início de Fev./16, não houveram medidas concretas para a redução do custo com energia elétrica.

A indústria responde por 32,9% de toda energia elétrica gasta no país [2], sendo o maior consumidor desta fonte, deste montante estima-se que aproximadamente 60% [7] sejam de

responsabilidade dos sistemas motrizes, principalmente motores elétricos.

Estima-se ainda que em todo o mundo os motores elétricos são responsáveis por 43 à 46% do consumo energético, ocupando a primeira colocação entre os maiores consumidores de energia com mais que o dobro do segundo colocado, iluminação [8].

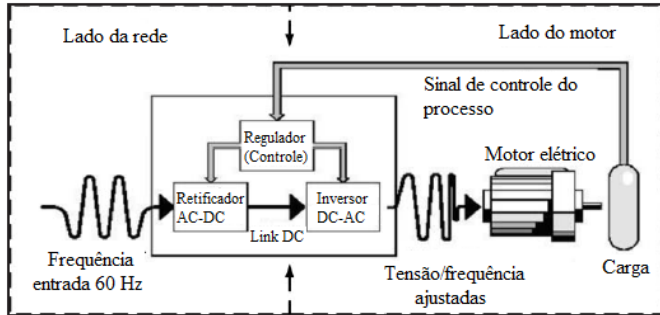
Diante do cenário de altos preços de eletricidade e recessão econômica que preveem uma redução do PIB nacional em 2015 e 2016 [9], a indústria deve redobrar os esforços para efficientizar os processos a qual é responsável, esta efficientização está alinhada também com os esforços mundiais de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), segundo [8] processos mais eficientes podem ser a alternativa mais palpável para alcançar a meta de redução de emissão dos GEE em uma perspectiva que não prevê redução de consumo de energia.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Inversores de Frequência

O controle de velocidade em motores elétricos ocorre devido à variação da frequência da corrente e tensão de alimentação do motor. De maneira básica o controle eletrônico recebe a tensão na frequência da rede elétrica, que no caso do Brasil, é de 60 Hz, retifica essa tensão para contínua e posteriormente para uma tensão e correntes alternadas e controladas em função de um sinal parametrizado do processo, esta tensão e frequência ajustadas promovem no motor elétrico a velocidade requerida como pode ser visto na FIGURA 1.

FIGURA 1: ESQUEMA BÁSICO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA



Fonte: Adaptado de Joubert, Kriel e Marais

Com a variação da velocidade do motor elétrico em função da real necessidade do processo pode-se alcançar uma redução significativa do consumo de energia elétrica [10], afirma que para uma redução de 50% das necessidades do processo pode-se reduzir 1/8 da energia gasta. Em processos que requerem grandes variações de rotação de um motor elétrico a utilização do controle de rotação pode significar reduções consideráveis no consumo de energia elétrica.

B. Pressurização de ambientes em atmosfera explosiva

Áreas classificadas são locais onde existe ou pode existir a presença de gases inflamáveis passíveis de ignição e explosão por meio de faíscas, ou superfícies aquecidas. Instalações industriais que movimentam derivados de petróleo são mais propensas a possuir este tipo de atmosfera.

Em ambientes classificados deve-se utilizar equipamentos vedados e lacrados ou pressurizados de tal forma a impedir a entrada de gases inflamáveis nos locais onde haja possibilidade de ignição da mistura explosiva.

Segundo [11] mantendo o interior do invólucro uma pressão positiva (maior que a do ambiente) gases inflamáveis externos não entrarão em contato com um possível ponto de ignição dentro desse invólucro.

O mesmo princípio é aplicável para salas e ambientes de controle de processos em áreas classificadas, a pressão positiva no interior das salas permite que qualquer centelha gerada dentro destas seja incapaz de ignitar uma possível mistura explosiva no meio externo, isto reduz o custo de implementação e instalação deste tipo de ambiente.

A pressurização ocorre por meio de ventiladores com alta vazão de ar que succionam o ar externo e o insuflam no ambiente fazendo com que a massa de ar insuflada aumente a pressão interna impedindo a entrada de ar não forçado.

III. ESTUDO DE CASO

Em uma planta de distribuição de gás natural há sempre a possibilidade de vazamentos de gás e, por conseguinte a entrada de mistura explosiva nas salas de controle caso as mesmas estejam muito próximas às linhas de distribuição.

Como em uma plataforma os espaços são demasiadamente reduzidos, a proximidade do prédio administrativo e da sala de operações com as linhas de processo é necessária, fazem-se, portanto cabíveis medidas para a prevenção de acidentes que podem ocorrer em caso de vazamento de gás na planta.

Neste tipo de evento pode ocorrer a entrada de mistura explosiva nos ambientes administrativos seguido de explosão

devido aos equipamentos não projetados para área classificada que podem provocar explosão em caso de presença de gases inflamáveis.

Equipamentos como micro-computadores, luminárias comuns e até eletrodomésticos podem provocar faíscas e promover explosão no ambiente.

A. Sistema de pressurização do prédio de operações de uma plataforma off-shore

Os terminais flexíveis de GNL do Brasil são montados em plataformas oceânicas que recebem navios supridores de gás natural liquefeito e os vaporizam por meio de um navio denominado FSRU (Float Storage Regaseification Unit) que armazenam o gás natural liquefeito e o regaseificam inserindo este no gasoduto a ele destinado.

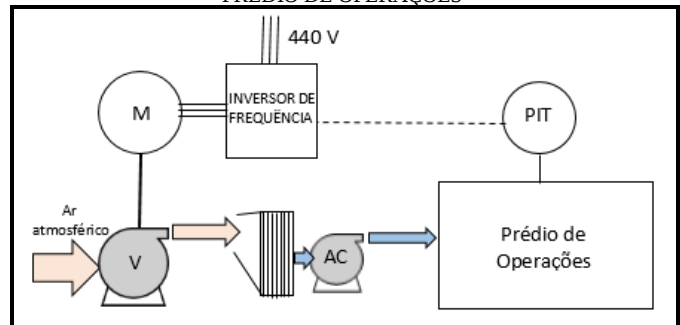
Nestas plataformas existe sempre uma sala de operação demasiadamente próxima das linhas de distribuição, com isso e devido a existência de equipamentos elétricos, no interior destas salas, que podem promover centelhas, foi projetado que as mesmas deveriam ser pressurizadas a fim de evitar a entrada de ar externo possivelmente explosivo no ambiente.

Esta pressurização é realizada por meio de um grande ventilador que succiona o ar do ambiente externo e o insufla no prédio mantendo assim este, com pressão sempre superior à externa.

Esta pressurização é controlada da maneira mais eficiente possível, isto é realizado com o controle de velocidade do ventilador por meio de um inversor de frequência.

O inversor recebe o sinal de um medidor de pressão que informa em tempo real a pressão interna do prédio e em função desta controla a velocidade de rotação do motor elétrico que aciona o ventilador, assim a vazão de ar que adentra o ambiente é a mais eficiente possível, tendo em vista que nem supera nem é inferior à vazão necessária para cumprir seu objetivo.

FIGURA 2: ESQUEMA SIMPLIFICADO DA INSUFLAÇÃO DE AR NO PRÉDIO DE OPERAÇÕES



B. Objetivo e metodologia

Com o objetivo de quantificar a eficiência energética e a economia de energia elétrica deste sistema, foi instalado um analisador de qualidade energética (RE-7000 da EMBRASUL) no painel elétrico do sistema de insuflação, a medição durou uma semana (21 à 27/10/2015) e durante este período os operadores foram orientados a informar qualquer problema relacionado ao ventilador que pudesse alterar a qualidade ou confiabilidade da medição, o qual não ocorreu.

FIGURA 3: ANALISADOR DE QUALIDADE DE ENERGIA NO PAINEL DO VENTILADOR



Ao analisar os resultados no software do analisador (ANL7000) foi observado que o ultimo dia de medição (27/10/2015) não havia contabilizado o consumo de energia, portanto, este dia teve que ser descartado da análise, além disso, o analisador contabilizou o início da medição às 10h13min do dia 21/10/2015. Até o final do dia 26/10/2015 foram somadas 133,78 horas de medição ou cinco dias, treze horas e quarenta e sete minutos de medições válidas.

Em paralelo foi analisada a placa de identificação do motor no intuito de quantificar a energia dispendida em caso da não existência do inversor de frequência, para isso foi realizada uma multiplicação direta da potência do motor pela quantidade de horas de operação por dia e depois somada encontrando o total, levando-se em consideração o intervalo de medição e excluindo-se o dia 27/10/2015 cujo consumo não foi contabilizado pelo analisador de qualidade.

$$E = P \cdot T \quad (1)$$

Onde:

E=Energia consumida

P=Potência do motor

T=Tempo de operação

FIGURA 4: FOTO DA PLAQUETA DO MOTOR



C. Resultados

Utilizando a Equação 1, a potência obtida na placa de identificação do motor e o tempo de operação e medição do analisador obteve-se que o consumo energético total do período foi de 4.013,5 kWh.

O ANL7000 forneceu os valores de consumo energético por dia do motor elétrico e percebeu-se que os valores obtidos através do analisador eram demasiadamente inferiores aos valores encontrados para o consumo através da Equação 1, o que confirmou o que era esperado para o estudo de caso.

TABELA 1: RESUMO DA ENERGIA CONSUMIDA

Dia	Horas	Inversor	Eq. 1
21/out	13,78	113,926	413,5
22/out	24	114,113	720
23/out	24	113,228	720
24/out	24	113,623	720
25/out	24	114,563	720
26/out	24	115,169	720
Total	133,78	684,622	4.013,5

A Tabela 1 mostra dia a dia a quantidade de horas analisadas em cada dia (Horas), o consumo de energia elétrica com o inversor de frequência (Inversor) medido pelo analisador e o consumo obtido através da Equação 1 (Eq. 1) que representa a condição de velocidade nominal do motor sem controle de rotação, o consumo total com a utilização do inversor de frequência foi de 684,62 kWh enquanto se estivesse na velocidade nominal sem qualquer controle de velocidade o motor teria consumido 4.013,5 kWh, o consumo utilizando meios de controle de velocidade foi de apenas 17,05% do consumo caso não existisse qualquer controle neste sentido.

FIGURA 5: TELA DO SOFTWARE ANL7000 MOSTRANDO O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM KWH

EMBRASUL RE7000 - Prodist N.S:70000072 V.S.2,00 ANL 1,57 (1 minuto)										
ANÁLISE GERAL (Integração = 1 minuto)										
Intervalo considerado: quarta-feira 21/10/2015 10:13:38,29 até terça-feira 27/10/2015 10:49:38,62										
Faixas de horário estabelecidas no software										
Intervalo - Fora de ponta:	13:30 - 14:30		15:30 - 15:30		16:30 - 24:00					
Intervalo - Ponta:	14:30 - 15:30									
Intervalo - Reservado:	15:30 - 16:30									
Fora de ponta										
FASE	kWh	kWh(g)	kVAh	kVAh	FP	Ponta	kWh	kWh(g)	kVAh	FP
Total	576,567	0,000	116,802	588,279	0,980	43,151	0,000	8,587	43,997	0,981
Reservado										
FASE	kWh	kWh(g)	kVAh	kVAh	FP	Total	kWh	kWh(g)	kVAh	FP
Total	64,904	0,000	13,136	66,220	0,980	1,577 k	0,000	316,694	1,608 k	0,980
Potências médias, por fase e trifásicas, no intervalo										
FASE	kW	kVA	kVA	FP						
Total	10,906	2,190	11,124	0,980						
Potências aparentes por fase, segundo máximos e mínimos trifásicos										
FASE	kVA(max)	Horário	kVA(min)	Horário						
3f	11,467	21/10/2015 10:14:38,29	6,967	26/10/2015 09:18:57,03						

IV. CONCLUSÕES

Percebe-se através dos resultados obtidos que a economia de energia elétrica com a utilização de inversores de frequência atingiu valores consideráveis e que esta pode ser uma opção vantajosa para eficiência energética, industrial e empresarial.

Motores elétricos são responsáveis por grande parte da energia consumida no mundo, no setor industrial eles podem responder por 64% da energia consumida [12], sendo assim podem e devem ser o ponto focal para estudos e investimentos no tocante a eficiência energética.

Quanto maior a variação de demanda do motor elétrico maior a viabilidade da implantação dos inversores de

frequência, no entanto, em aplicações industriais normalmente ocorrem superdimensionamentos de motores, parece ser o que ocorre neste estudo de caso, a partir dos resultados obtidos em nenhum momento o motor elétrico chegou perto da sua condição máxima de operação que é de 30kW (Figura 4), a máxima demanda instantânea registrada foi de 11,104 kW, 37% inferior a máxima admissível do motor.

FIGURA 6: DEMANDAS MÁXIMAS E MÍNIMAS REGISTRADAS

EMBRASUL RE7000 - Prodinst N.S:70000072 V.S.2,00 ANL 1,57 (1 minuto)											
ANÁLISE GERAL (Integração = 1 minuto)											
Intervalo considerado: quarta-feira 21/10/2015 10:13:38,29 até terça-feira 27/10/2015 10:49:38,62											
Faixas de horário estabelecidas no software											
Intervalo - Fora de ponta:			13:30 - 14:30			15:30 - 15:30			16:30 - 24:00		
Intervalo - Ponta:			14:30 - 15:30								
Intervalo - Reservado:			15:30 - 16:30								
Demandas máximas por horário											
Fora de ponta [kW]				Ponta [kW]				Reservado [kW]			
26/10/2015 17:08:49,50 11,104				26/10/2015 15:22:51,36 10,997				26/10/2015 16:23:50,59 11,015			
26/10/2015 17:11:49,50 11,101				26/10/2015 15:24:51,24 10,975				25/10/2015 15:59:09,46 11,014			
26/10/2015 17:19:49,45 11,085				26/10/2015 15:18:51,36 10,974				25/10/2015 15:54:09,46 11,004			
Fora de ponta [kVA]				Ponta [kVA]				Reservado [kVA]			
23/10/2015 18:07:47,95 2,387				22/10/2015 14:58:12,69 2,304				24/10/2015 16:25:29,07 2,330			
23/10/2015 17:59:48,14 2,387				22/10/2015 14:46:13,21 2,283				26/10/2015 16:27:50,39 2,315			
23/10/2015 18:06:47,95 2,382				22/10/2015 14:59:12,69 2,275				24/10/2015 16:08:30,08 2,313			

Motores que acionam máquinas com demanda variável possuem capacidade de otimização energética surpreendente, variações mínimas de velocidade correspondem a grande economia energética, no estudo de caso apresentado, a economia chegou a 83%, a despeito da suspeita de superdimensionamento do motor reduções de até 30% podem ser alcançadas [12].

[8] afirmam que 95% do custo de um motor elétrico durante toda a sua vida útil advém do consumo elétrico, os outros 5% são de responsabilidade de itens de manutenção e aquisição, num cenário a nível nacional onde o custo com energia elétrica subiu vertiginosamente nos últimos anos a eficiência dos motores elétricos parece ser o balizador para ações de otimização.

Além da questão financeira a redução de consumo de eletricidade provoca, indiretamente, a também redução das emissões de GEE, uma vez que, com a otimização do consumo espera-se uma diminuição da geração de eletricidade; no Brasil a matriz energética é em sua grande parte suprida por hidrelétricas que emitem menos GEE na geração de eletricidade, no entanto, qualquer redução significativa em países como a China e Estados Unidos que se utilizam de carvão e petróleo para a geração elétrica, levam a uma queda das emissões de GEE considerável, tendo em vista os objetivos propostos da COP21 de Paris [13] aos quais a maioria dos países do mundo se comprometeu a seguir; os inversores de frequência são uma ótima opção para a redução das emissões mundiais de GEE [8].

No atual cenário mundial, onde existe pressão da sociedade pela redução das emissões de GEE e tendência de aumento dos custos de energia elétrica, os inversores de

frequência são instrumentos eficazes para atender aos requisitos e anseios da maioria dos setores da sociedade.

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Série Histórica Energia armazenada SE/CO; 2001-2002. Disponível em http://www.ons.org.br/historico/energia_armazenada_out.aspx Acesso em 01/07/2015 às 12:15.
- [2] BRASIL. Balanço Energético Nacional 2015. Ministério das Minas e Energia. Brasília, 2015.
- [3] LIMA, S. Usinas Térmicas Atingem Pico Histórico de Geração de Energia. Folha de São Paulo, 2014. Caderno Mercado. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2014/02/1410939-usinas-termicas-atingem-picohistorico-de-geracao-de-energia.shtml> Acesso em: 14/05/15.
- [4] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Aprova o Submódulo 6.8 dos Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET, que trata das Bandeiras Tarifárias e dá outras providências. Resolução Normativa Nº 649 de 27 de Fevereiro de 2015. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/006/resultado/ren2015649.pdf> Acesso em 05/11/15 às 02:56.
- [5] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Homologa os resultados da revisão tarifária extraordinária das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica, fixa as Tarifas de Energia –TEs e as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição – TUSDs. Resolução Homologatória Nº 1858 de 27 de Fevereiro de 2015. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/007/resultado/ren2015188.pdf> Acesso em 13/10/15 às 05:30.
- [6] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL revê valores das bandeiras tarifárias amarela e vermelha. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticia.cfm?Identidade=9045&id_area=90 Acesso em 31/01/16 às 20:00
- [7] OENNING, R. Análise da viabilidade econômica de um projeto de implantação de variadores de velocidade em bombas centrífugas industriais. 2011. 69p. Monografia (Especialização em Engenharia Econômica – Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial) Universidade Federal da Bahia. Salvador.
- [8] WAIDE, P; BRUNNER, C. U. Energy-Efficiency policy opportunities for electric motor driven systems. International Energy Agency (IEA). Paris. 2011.
- [9] IMF – International Monetary Found. World Economic Outlook: Update January 2016. 2016. Disponível em <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2016/update/01/index.htm> Acesso em 31/01/2016 às 20:26
- [10] MAHESWARAN, D.; KAILAS, J.; RANGARAJ, G.; KUMAR, A. Energy Efficiency in Electrical Systems. 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, December, 16-19. p. 1-6. 2012, Bengaluru, India.
- [11] JORDÃO, D. M. Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo: Atmosferas Explosivas. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.
- [12] STOFFEL, B. Assessing the energy efficiency of pumps and pump units. Elsevier/Europump. 2015.
- [13] UNFCCC - United Nations Framework Convention On Climate Change . Adoption of the Paris agreement. Conference of the parties, 21st session. Paris, 2015. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> Acesso em: 23/01/2016 às 17:31.