

## AUTOMAÇÃO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

CASSANDRA, AMARAL, N.

*Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação, Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido*

*Av. Francisto Mota, 572, Bairro Costa e Silva. Mossoró-RN*

*E-mails: cassandranaiff@nassau.com.br*

FABIANA, VARELLA K. O. M. DANIELLE, CASILLO S. S.

*Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação, Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido*

*Av. Francisto Mota, 572, Bairro Costa e Silva. Mossoró-RN*

*E-mails: fkv@ufersa.edu.br, danielle@ufersa.edu.br*

**Abstract**— The current economic situation in Brazil seeks ways to eliminate energy waste in order to obtain maximum performance with minimum consumption. With the focus on this objective was developed and installed a new automation project in a Water Supply System of a cement industry, which through the application of technologies and control logic was possible to eliminate the points of waste electricity and thus obtaining energy efficiency for the system.

**Keywords**— Automation, Water Supply System, Energy Efficiency, Cement Industry.

**Resumo**— A atual situação econômica do Brasil visa meios de eliminar o desperdício de energia a fim de obter o máximo desempenho com o mínimo de consumo. Com o foco nesse objetivo foi desenvolvido e instalado um novo projeto de automação em um Sistema de Abastecimento de Água de uma indústria cimenteira, onde através da aplicação de tecnologias e lógicas de controle foi possível eliminar os pontos de desperdício de energia elétrica e consequentemente a obtenção de eficiência energética para o sistema.

**Palavras-chave**— Automação, Sistema de Abastecimento de Água, Eficiência Energética, Indústria Cimenteira.

### 1 Introdução

O Brasil representa uma nação em desenvolvimento, onde seu crescimento econômico é diretamente proporcional ao consumo das diversas fontes de energia. Atualmente a demanda de energia tende a ser maior que a oferta, e essa situação têm gerado grande preocupação com a possível falta de energia.

Diante dessa realidade, as políticas governamentais direcionam esforços para diversificar a matriz energética do país. No entanto, gerar mais energia não é suficiente, pois existe a necessidade de, além da diversificação das fontes de energia, economizar no uso e eliminar o desperdício (ELETROBRÁS, 2006).

Entre os setores econômicos que consomem mais energia no Brasil, o segmento industrial se destaca. Segundo os dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2013) tal setor é responsável por 35,1% do consumo total de energia no país. Nesse segmento, a eletricidade se enquadra como a principal fonte de energia e, entre as indústrias que mais consomem energia elétrica, a de cimento ocupa o 9º lugar (BAJAY, GORLA e DORILEO, 2010).

Assim, visando proporcionar um consumo eficiente de energia elétrica para o setor de cimento, e consequentemente para a matriz energética do país, esco-

lheu-se um sistema em funcionamento em uma indústria cimenteira, para realização de análises de eficiência energética através da implantação da automação.

O presente artigo teve como base o trabalho de dissertação de mestrado apresentado em Amaral (2013), onde a automação foi empregada como ferramenta de operação, controle e supervisão, capaz de fornecer dados de gerenciamento para a eliminação do desperdício e obtenção de Eficiência Energética no Sistema de Abastecimento de Água da indústria, de forma a torná-lo mais econômico e sustentável.

O Sistema de Abastecimento de Água foi escolhido devido à sua operação ser essencial para os processos produtivos de fabricação de cimento, e por apresentar vários pontos de desperdício de energia elétrica.

Apesar do sistema já possuir um controle automático, foi identificado que o mesmo apresentava fragilidades que acarretavam em consumos desnecessários de eletricidade. Com a implantação de uma nova automação, os controles e acionamentos do sistema foram modificados visando à redução do consumo e uso de energia elétrica sem diminuir a demanda, ou seja, sem alterar sua utilidade para os processos produtivos.

Dessa forma, a aplicação prática apresentada nesse artigo propôs demonstrar que a automação é uma ferramenta que, além de proporcionar benefícios para

os processos industriais, principalmente quanto à qualidade, controle e segurança, também disponibiliza meios para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis, ou seja, sistemas cujo uso e o consumo da energia elétrica supram a demanda sem necessitar de maiores investimentos.

## 2 Automação do SAA

### 2.1. Funcionamento do Sistema de Abastecimento de Água

O sistema de Abastecimento de Água (SAA) em estudo é constituído de cinco reservatórios de água e cinco bombas, sendo quatro bombas centrífugas e uma bomba submersa, conforme demonstrado na Figura 1, referente à “Tela Principal” do sistema supervisão desenvolvido e implantado.

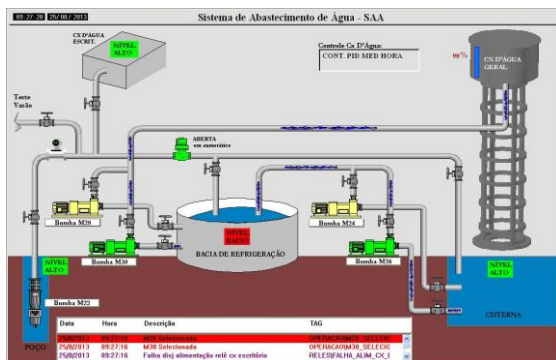


Figura 1. Tela “Principal de Supervisão do SAA”.

Toda a água provém de um poço com 909,55m de profundidade onde se encontra instalado a bomba submersa M22 (22 kW) que abastece a cisterna com capacidade de 196m<sup>3</sup> e a caixa d’água dos escritórios com capacidade de 40m<sup>3</sup>.

Através de uma bomba centrífuga M26 ou M24 (22 kW) a cisterna alimenta a bacia de refrigeração com capacidade de 200m<sup>3</sup>. Da bacia de refrigeração a água é bombeada até a caixa geral, com capacidade de 314m<sup>3</sup>, através de outra bomba centrífuga M28 ou M30 (55 kW)<sup>1</sup>.

O ponto crítico do sistema é a caixa geral que possui 25,15m de altura e através da gravidade (queda d’água) transporta a água responsável pela refrigeração dos equipamentos de grande porte dos processos produtivos da indústria cimenteira. A falta d’água ocasiona a parada desses equipamentos e perda de produção.

A operação e o controle do sistema eram realizados pelo Módulo Lógico Programável LOGO<sup>®</sup> do fabricante Siemens e lâmpadas de sinalização de nível localizadas em pontos estratégicos onde a presença

de um operador era permanente (24 horas), com o objetivo do mesmo supervisionar o sistema e comunicar qualquer anormalidade para o eletricitista presente na fábrica.

### 2.2. Fragilidades do Sistema de Controle do SAA

O controle em funcionamento no SAA apresentava fragilidades que poderiam comprometer a disponibilidade do sistema e contribuir para uma baixa eficiência energética, entre outras perdas materiais e financeiras.

Foram quantificados seis principais pontos de melhorias para o controle do SAA e sugerido soluções entre as quais se destaca a implantação da automação como medida indispensável. Segue as fragilidades identificadas com suas respectivas soluções propostas.

#### 2.2.1. Falta de registro e controle do consumo de energia elétrica

O SAA não possuía históricos de medição do consumo da energia elétrica, nem tampouco das grandezas que indicam a qualidade da energia elétrica, tais como fator de potência, potência aparente, potência reativa e rendimento dos motores. Dessa forma, não era possível avaliar o funcionamento das bombas no ponto ótimo de vazão x rendimento, e nem realizar um controle que garantisse a eficiência energética do processo.

**Solução Proposta:** as medições de energia elétrica das bombas M22, M26 e M30 foram inseridas na rede ModBus do Software responsável pelo Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica e Utilidades da fábrica, o Smart 32<sup>2</sup>, tornando possível os registros de corrente, tensão, demanda, fator de potência, fator de carga e consumo de energia elétrica.

#### 2.2.2. Desperdício de energia elétrica e redução da vida útil dos motores

O controle dos níveis de água dos reservatórios era do tipo liga/desliga, onde os comandos para as bombas eram enviados sem nenhum critério de segurança quanto ao tempo e a quantidade de água disponível no sistema.

O sistema funciona 24 horas, e em funcionamento normal as bombas realizavam 48 ciclos de trabalho, o que significava que as bombas ligavam e desligavam 48 vezes por dia.

O acionamento elétrico das bombas centrífugas era do tipo partida direta, provocando elevação de corrente durante a partida. O pico da corrente de partida provoca aquecimento nos enrolamentos dos motores, e, por conseguinte essa elevação de temperatura causa desgastes na isolamento do cobre, e também elevação

<sup>1</sup> As bombas centrífugas são em duplicidade, sendo a principal e a reserva, porém somente funciona uma de cada vez. As principais são as bombas M26 e M30.

<sup>2</sup> O Smart 32 é um software de Gerenciamento de Energia Elétrica e Utilidades, desenvolvido pela empresa GESTAL (Gestão de Energia e Utilidades) e em operação na fábrica desde 2004. O mesmo é responsável pelo controle e supervisão das grandezas elétricas (Consumo, Demanda, Fator de Potência e Fator de Carga) de cada área produtiva e do total da fábrica.

da corrente elétrica no painel CCM. Essa situação provoca diminuição da vida útil dos motores, sobrecarga na rede elétrica e desperdício de energia.

**Solução Proposta:** Para diminuir a corrente de partida das bombas centrífugas foram modificados os acionamentos para *soft-start* e inversor de frequência.

A aplicação do inversor de frequência objetivou não somente a redução da corrente de partida mais também o controle da vazão da bomba. Através do controle de velocidade foi possível manter o nível dos reservatórios de água cheios, não sendo necessárias 48 partidas por dia.

Essa solução também diminuiu o desgaste do motor devido ao número elevado de partidas/dia, visto que manteve a bomba em operação contínua.

#### 2.2.3. Controle seguro do nível de água dos reservatórios e controle do funcionamento do sistema durante o horário sazonal de ponta

O controle dos reservatórios de água era feito através dos sensores de eletrodos que não quantificavam a quantidade de água real disponível para o abastecimento do sistema. Por esse motivo não era possível parar as bombas no Horário Sazonal de Ponta (HZP), pois não se tinha meios para realizar o controle do nível mínimo de segurança da caixa geral.

**Solução Proposta:** Instalação de um sensor de nível de pressão submersível do tipo analógico na caixa geral. Com esse sensor o nível de água disponível nos reservatórios seria medido em tempo real e em unidade percentual de caixa cheia, proporcionando maior confiabilidade para o sistema.

Além disso, com o sensor analógico e o acionamento da bomba com inversor de frequência, seria possível realizar o controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID). Esse controle manteria o nível da caixa geral sempre cheio.

O controle PID elimina a situação das bombas sofrerem várias partidas por dia e os picos de corrente na partida, uma vez que a bomba fica em operação constante variando somente a vazão devido à alteração na frequência de rotação do motor da bomba. Vale destacar que a variação de frequência proporciona variação na potência e está influencia diretamente no consumo de energia elétrica, na proporção de quanto menor a frequência, menor o consumo de energia elétrica.

#### 2.2.4. Controle seguro do nível de água dos reservatórios e desperdício de água

Foi identificada como alto potencial de falha no controle do consumo de água do poço, a execução da “manobra d’água” feita através da válvula manual, para o abastecimento da caixa dos escritórios.

A caixa dos escritórios possuía sensor de nível digital que indicava nível alto ou baixo. Esse controle era integralmente manual e dependente da ação humana. Por esse motivo, duas situações indesejáveis estavam propícias a acontecer: a primeira estava relacionada com a perda do controle do bombeamento da água

para a cisterna, podendo acarretar em falta d’água para o processo, e a segunda consistia no transbordo de água na caixa dos escritórios, provocando desperdício de um considerável volume de água.

**Solução Proposta:** Instalação de uma válvula eletropneumática para a realização automática da manobra d’água sem depender da ação do homem, tanto no que se refere à supervisão do nível do reservatório quanto à realização da manobra manual da válvula de desvio feita pelo eletricitista. O controle seria realizado pelo programa *ladder* da automação.

#### 2.2.5. Rendimento e fator de potência dos motores

Utilizando o analisador de potência e harmônicos *Power Harmonics Analyzer Fluke 41B*, foram feitas medições pontuais de potência ativa, reativa e aparente, fator de potência, corrente e tensão das bombas submersas e centrífugas. Os valores encontrados apontaram que os motores de acionamento das bombas M26 e M30 não estavam bem dimensionados e apresentavam rendimentos abaixo de 75%. Isso significava desperdício de energia com reativos e que os motores estavam trabalhando com baixo fator de potência.

**Solução Proposta:** O fator de potência baixo pode ser corrigido através da definição do ponto ótimo de funcionamento da bomba que poderá ser alcançado com a variação de vazão. Dessa forma, por meio do acionamento das bombas com inversor de frequência, buscou-se ajustar a vazão da bomba para o ponto ótimo a fim de melhorar o fator de potência da bomba M30.

#### 2.2.6. Sistema automático com baixa eficiência

À eficiência do controle e da supervisão do sistema automático em funcionamento não era satisfatória, visto que apresentava falhas de comando e operação, tais como: falta de seleção da bomba em funcionamento, se a principal ou a reserva; falta de supervisão da operação das bombas e dos níveis dos reservatórios; falta de clareza nas falhas do sistema, principalmente das bombas; entre outras.

Como principal deficiência do sistema visando à eficiência energética, destacava-se a impossibilidade do desenvolvimento de lógicas de controle automáticas que auxiliassem nas análises do consumo de energia elétrica das bombas.

O sistema automático instalado não oferecia ferramentas que permitissem a criação de históricos, gráficos, supervisão em tempo real, e ferramentas para desenvolver algoritmos com o objetivo de auxiliar nas análises necessárias para a melhoria do sistema.

**Solução Proposta:** A solução foi o desenvolvimento de um Novo Projeto de Automação que alcançasse os níveis 1, 2 e 3 da Pirâmide de Automação, apresentada em Moraes e Castrucci (2013).

### 2.3. Projeto de Automação

A implementação do novo projeto de automação para o SAA foi baseada tanto nas recomendações de procedimentos para automação industrial verificadas em Moraes e Castrucci (2013), como também, no padrão de automação em operação em alguns processos produtivos, buscando manter a padronização da automação aplicada na fábrica.

De acordo com a sequência de procedimentos recomendados, a primeira ação realizada para a implantação da automação foi à descrição da planta industrial realizada através do fluxograma das águas existente na indústria.

A segunda ação foi voltada à criação dos documentos necessários para o projeto. Nesta foram criados os seguintes documentos: lista de instrumentos e de entrada/saída; especificação da operação automática; diagramas de controle lógico; diagramas de causa e efeito; lista de entradas e saída (E/S's) no CLP; e diagramas de controle dinâmico.

A terceira ação foi direcionada para o Projeto do Programa *Ladder*. Este projeto foi desenvolvido para o CLP *SLC500*® 5/05 (1747-L551) utilizando o *software* de programação *RSLogix500*®, ambos do fabricante *Rockwell Automation*.

O *ladder* foi estruturado em vinte e seis subprogramas associados às etapas do processo e aos grupos de equipamentos com as mesmas funções no sistema. Aplicou-se o critério de agrupar equipamentos, sensores, seleção de controles, seleção de motores, seleção de métodos de medição para a análise de Eficiência Energética, tipos de variáveis, entre outros, em subprogramas específicos.

A última ação consistiu no Projeto do Programa do Supervisório, desenvolvido na plataforma do *RSView32*® do fabricante *Rockwell Automation*. Este Projeto seguiu as nove etapas sugeridas por Moraes e Castrucci (2013).

Quanto às telas de interface, foram criadas vinte e sete telas classificadas nas seguintes categorias:

- Controle: telas responsáveis pela operação e controle do processo;
- PID: tela especial de controle responsável pela parametrização e acompanhamento do *set-point* e das variáveis de controle e controlada do PID;
- Gráficos: telas responsáveis pelo monitoramento das grandezas de processo e energia elétrica;
- Energia: telas responsáveis pelo monitoramento das grandezas elétricas;
- Medições: telas responsáveis pela parametrização das medições para as análises de eficiência energética;
- Resultados: telas responsáveis pelos resultados das medições das análises de Eficiência Energética.

Na Figura 1 da subseção 2.1 foi apresentada a tela principal de supervisão do SAA.

Vale destacar que para o Projeto de Automação ser implementado foi necessário à instalação de uma infraestrutura de *Hardware* que consistiu na montagem e instalação de vários componentes indispensá-

veis para alcançar os objetivos propostos nesse trabalho. Os materiais e sistemas instalados foram:

- Derivação da rede do *Smart 32* para as medições de consumo de energia elétrica e outras grandezas elétricas: as medições das grandezas elétricas das bombas foram inseridas no *Smart 32*.
- Partidas eletrônicas e painel de acionamento das bombas: foi montado um painel específico para o acionamento das bombas através de partidas eletrônicas, e instalado os respectivos inversores de frequência e *soft-starts* próximos ao Centro de Controle de Motores (CCM) existente.
- CLP *SLC500*® e Paineis Controle do SAA: foi montado e instalado um painel de controle do sistema onde o CLP e seus componentes foram abrigados.
- Sensor de Nível Analógico: foi comprado e instalado o sensor de pressão submersível PS3417 do fabricante IFM.
- Válvula Eletropneumática: foi instalada uma válvula eletropneumática em substituição da válvula de manobra manual da água do poço da cisterna para a caixa dos escritórios.
- Rede de Automação: foi montada a rede de comunicação entre o Paineis de Controle do SAA e sua estação de supervisão, localizados, respectivamente, na casa de bombas d'água e portaria da fábrica. O protocolo utilizado foi Ethernet/IP e devido à distância entre as estações de controle e supervisão (aproximadamente 500m) houve a necessidade de aplicação de fibra ótica para comunicação. A Figura 2 mostra a rede de automação instalada para o controle do SAA.

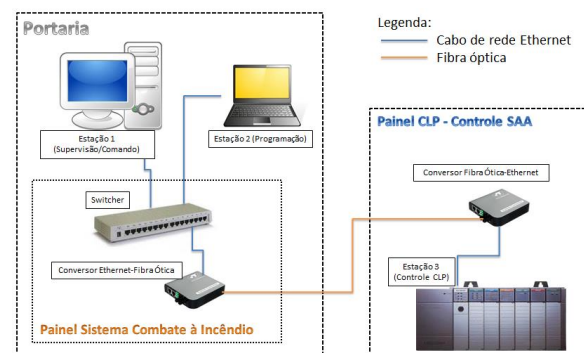


Figura 2. Arquitetura da rede de automação do SAA.

### 2.4. Metodologia para as Análises de Eficiência Energética

As análises de Eficiência Energética utilizando a automação foram realizadas em duas etapas. A primeira abrangeu as três bombas principais e visou responder às duas perguntas referentes à eficiência energética do sistema: (1) Qual o melhor controle para o nível de água nos reservatórios? e (2) Qual o tipo de acionamento das bombas que proporcionará menor consumo de energia elétrica?

A segunda etapa foi restritiva à bomba M30, por se tratar da bomba que faz o controle do reservatório que possui o sensor analógico instalado. O foco foi

responder quatro questionamentos visando à eficiência energética: (3) Qual o melhor controle para a bomba consumir menos energia elétrica, mantendo-se a demanda e o uso? (4) Qual o ponto ótimo de vazão da bomba e como essa vazão interfere no consumo de energia elétrica? (5) Qual o melhor controle da bomba no horário sazonal de ponta a fim de diminuir o custo com consumo de energia? e (6) Como o fator de potência da bomba responde as tecnologias aplicadas?

Para a obtenção dos resultados foram desenvolvidas as lógicas de controle divididas em cinco subprogramas específicos para as análises de eficiência energética. Para realizar a interface entre esses subprogramas, foram criadas as telas de medições e resultados, já comentadas na subseção 2.3. Os resultados das medições realizadas nos subprogramas em conjunto com os valores de consumo de energia, fator de potência, fator de carga e demanda registrados nos históricos do *Smart 32*, formaram o conjunto de informações necessárias para as análises de eficiência energética propostas.

De forma geral, as medições foram feitas considerando o período de uma a duas semanas para cada tipo de acionamento, e foram realizadas medições com variação de nível, variação de controle (analogico, digital e PID) e variação de frequência.

### 3 Resultados

A nova automação implantada no SAA favoreceu a realização de medições de consumo de energia elétrica através da implementação de diferentes tipos de controles considerando as variações de nível, tipos de acionamento das bombas e frequência de rotação. A Figura 3 apresenta a tela contendo os resultados das medições realizadas nos intervalos de 6 horas.

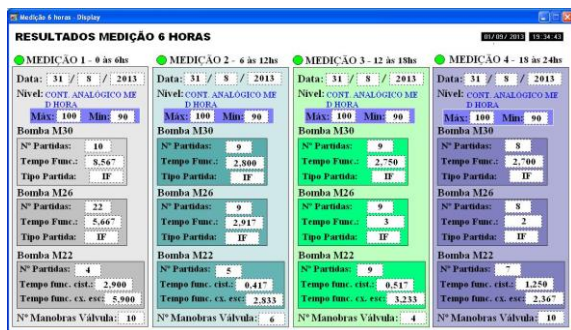


Figura 3. Tela "Medições 6 horas".

Os resultados das medições são os dados necessários para o gerenciamento das medidas de controle e operação indispensáveis para a obtenção de eficiência energética no SAA.

Foram realizadas medições com variação de nível e tipo de acionamento das bombas, alteração de controle e vazão da bomba M30, e alternância no tempo de enchimento e esvaziamento da caixa geral.

#### 3.1. Medições com Variação de Nível e Tipo de Acionamento

As medições com variação de nível mostraram que não são significativas em relação ao consumo de energia elétrica. Foi possível verificar que quanto maior o intervalo de um nível a outro, maior o tempo de bomba parada e em compensação maior será o tempo de bomba funcionando, isso significa um consumo de energia elétrica equivalente no decorrer das 24 horas do dia.

A principal diferença entre os intervalos de nível máximo e mínimo está no número de partidas da bomba, quanto maior o intervalo entre níveis, menor o número de partidas, porém um nível mínimo inferior a 75% compromete a estabilidade do sistema.

Dessa forma, concluiu-se que o melhor nível de controle da bomba M30 visando eficiência energética, número de partidas por dia e nível mínimo de segurança, é o nível entre 100 a 90%, conforme mostra a Figura 4.

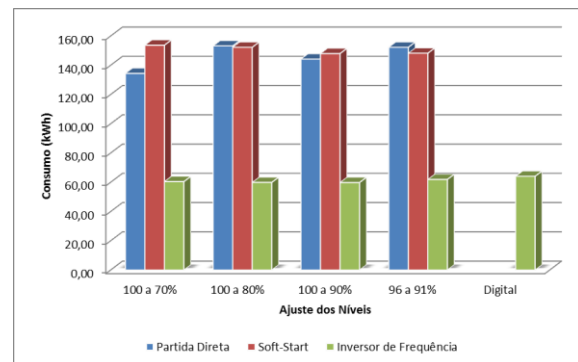


Figura 4. Consumo de energia elétrica da bomba M30 com variação de nível e tipo de acionamento.

Na Figura 4, também é evidenciado que o acionamento que proporciona menor consumo de energia elétrica, indiferente do intervalo da variação de nível, é o inversor de frequência.

Esse resultado confirmou as análises realizadas em outras pesquisas científicas de eficiência energética em sistemas de bombeamento de água, tais como as de Moreira (2008) e Garcia (2003), onde o inversor de frequência foi apontado como o tipo de acionamento de maior eficiência energética para bombas centrífugas em comparação com os acionamentos via *soft-star* e/ou partida direta.

Por outro lado, quanto aos estudos de Moura (2010), os resultados obtidos com a aplicação do inversor de frequência foram de discordância. Pois, em Moura (2010) foi demonstrado que o uso de inversores de frequência para controle de vazão d'água em bombas centrífugas somente era eficiente quando o consumo de água dos reservatórios apresentava ciclo de trabalho variável, porém nessa pesquisa ficou comprovada a eficiência do sistema em reservatórios de água com características de consumo contínuo.



### 3.2. Medições com Variação de Controle e Vazão da Bomba M30

As medições com variação de controle da bomba M30 comprovaram que o acionamento da bomba centrífuga em regime contínuo consome energia elétrica de forma equivalente ao controle liga-desliga. Essa situação apresenta o Controle PID como uma boa alternativa de eficiência energética, pois mantém o nível do reservatório constante, evitando níveis mínimos indesejáveis e consumindo menos energia elétrica que o controle digital (que utiliza eletrodos de nível). Em comparação ao controle analógico (que utiliza o sensor de pressão submersível) o consumo de energia elétrica é equivalente. A Figura 5 apresenta a tela de interface criada para a aplicação do controle PID.

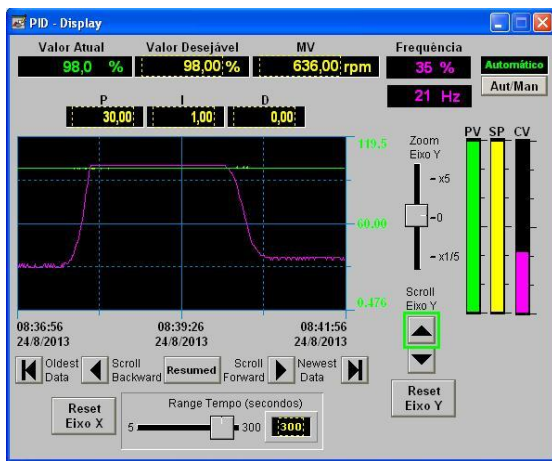


Figura 5. Tela "Controle PID".

Além da eficiência energética do sistema, o Controle PID também favorece ao regime contínuo da bomba, eliminando várias partidas por dia. A Figura 6 apresenta os resultados das medições de consumo de energia elétrica realizadas na bomba M30 com variação de controle tipo digital, analógico e PID.

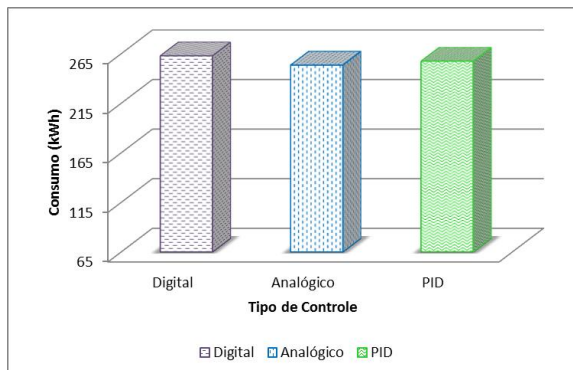


Figura 6. Consumo de energia elétrica da bomba M30 para os tipos de controle digital, analógico e PID.

Com a aplicação do inversor de frequência, também foi possível realizar medições de consumo de energia elétrica variando a frequência de rotação do motor da bomba centrífuga M30. O objetivo principal dessas

medições foi identificar o ponto de vazão ótima da bomba, alcançando eficiência acima de 85%.

A Figura 7 demonstra que quanto menor a frequência de rotação do motor da bomba, menor o consumo de energia elétrica. Porém, para o caso em estudo o mínimo de frequência possível foi de 45Hz, pois a partir desse valor a vazão da bomba não era suficiente para manter o nível do reservatório.

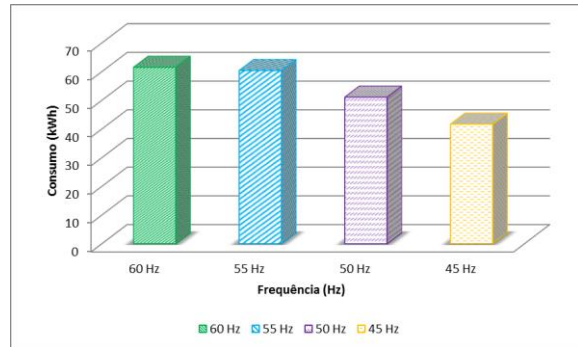


Figura 7. Consumo de energia elétrica da bomba M30 com variação de frequência.

Vale ressaltar que além do menor consumo de energia elétrica, quanto menor a frequência de operação da bomba M30, menor o número de partidas, e consequentemente, maior o tempo de funcionamento da bomba por partida. Essa situação constitui um paradoxo, pois a bomba de maior tempo em operação possui o menor consumo de energia elétrica. Tal fato pode ser explicado pelas equações que constituem as Leis de Similaridade de bombas centrífuga e a equação de rendimento, apresentadas em Moreira (2008). Logo, conclui-se que o ponto ótimo de vazão da bomba M30 ocorre com a frequência de rotação em 45 Hz, e essa redução da rotação interfere diretamente no consumo de energia elétrica do motor de acionamento da bomba.

### 3.3. Medições com Variação no Tempo de Enchimento e Esvaziamento da Caixa Geral

As medições com variação no tempo de enchimento e esvaziamento da caixa geral tiveram como objetivo principal encontrar uma solução para diminuir o consumo de energia elétrica durante o Horário Sazonal de Ponta. Para isso foram desenvolvidas lógicas de controle e interfaces para contabilizar os tempos de enchimento e esvaziamento da caixa geral. A princípio o objetivo era manter o sistema parado durante as 3 horas do HZP, porém constatou-se que o sistema parado nesse intervalo de tempo acarretava no rebaixamento do nível da caixa geral até 36%, o que significava alto risco de desequilíbrio para o processo.

Então, através da variação de frequência da bomba foi identificado que com 40 Hz o nível mínimo durante o HZP chegava a 75%. Finalizado o HZP, a bomba voltava para sua frequência normal de rotação

de 60 Hz, e em 50 minutos o nível da caixa estava recuperado.

Esse modo de funcionamento obteve um consumo de energia elétrica equiparado ao consumo com controle PID, porém especificamente no período do HZP, onde a tarifa possui um valor monetário maior, o consumo foi reduzido, resultando em menor custo com energia elétrica para a empresa. A Figura 8 mostra a bomba M30 com a rotação reduzida no HZP.

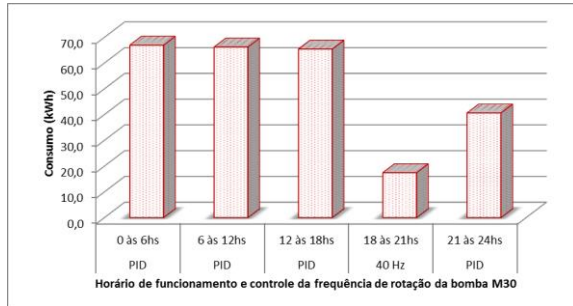


Figura 8. Consumo de energia elétrica com controle PID e Nível durante os Horários Sazonais de Ponta e Fora Ponta.

A Figura 8 mostra que no horário sazonal fora de ponta, compreendido entre 0 às 18hs e 21 às 24hs, o controle do nível é feito através do PID, e durante o horário de ponta, de 18 às 21hs, o sistema sai do controle PID, reduz a rotação da bomba para 40 Hz e mantém o sistema com consumo de energia reduzido. Essa simulação comprova que uma vez inviável desligar as cargas do processo durante o HZP, é possível reduzir o consumo de energia elétrica através da redução da frequência de rotação dos motores.

### 3.4. Análise do Fator de Potência e sua Interferência na Eficiência Energética do Sistema

Após todas as medições realizadas com o objetivo principal de tornar o SAA eficiente, houve a preocupação de analisar a qualidade da energia elétrica após a aplicação das tecnologias e mudanças no controle do sistema.

Quanto ao tipo de controle, não foi identificada nenhuma relação com a qualidade da energia. Porém, em relação aos tipos de acionamento, foi verificado que o inversor de frequência reduz o fator de potência, conforme demonstrado no gráfico da Figura 9.

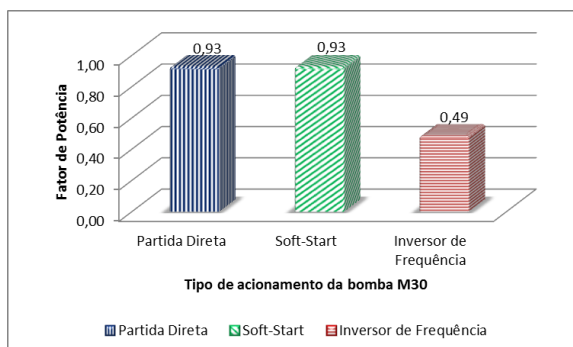


Figura 9. Valores médios do fator de potência para cada tipo de acionamento da Bomba M30.

Como o consumo de energia elétrica é baseado na demanda ativa do equipamento, significa que quanto menor a demanda ativa, menor o consumo de energia elétrica e maior a eficiência energética. Porém, o fator de potência registra aumento considerável da potência reativa, logo a energia elétrica não utilizada e que estará presente no sistema de distribuição elétrica no qual a bomba está inserida, estará influenciando diretamente na qualidade da energia elétrica em uso pelos demais equipamentos da fábrica e da rede da concessionária.

Assim, a escolha do inversor de frequência visando eficiência energética é a melhor solução segundo os testes realizados, porém essa ação precisa de uma criteriosa avaliação para que o uso do inversor não comprometa a qualidade da energia do sistema de distribuição elétrica da indústria, podendo inclusive, ocasionar multas com a concessionária, devido baixo fator de potência.

Uma boa alternativa é o estudo e cálculo da aplicação de banco de capacitores tanto no acionamento dos motores com inversor de frequência como também no painel de distribuição elétrica ou painel CCM, com o objetivo de corrigir o baixo fator de potência.

## 4 Conclusão

De acordo com os resultados apresentados ficou evidenciado que a implantação de um novo projeto de automação no SAA na indústria em estudo, tanto possibilitou a aplicação de novos controles para o sistema, como também proporcionou as medições de consumo e qualidade de energia elétrica advindas das tecnologias empregadas para a operação do processo. Através da aplicação do projeto da automação e os testes e medições realizados durante o desenvolvimento da pesquisa, comprovou-se que a automação consiste em uma modernização que além de proporcionar maior confiabilidade no controle e na operação dos processos produtivos, também se enquadra como uma ferramenta indispensável para o desenvolvimento de controles automáticos capazes de promover eficiência energética para os equipamentos industriais.

Vale destacar que após a automação do SAA, todos os pontos apontados como fragilidades do sistema foram eliminados, porém para a obtenção dessas melhorias foram necessários investimentos e implantações de equipamentos de maior eficiência energética, tais como o inversor de frequência e o sensor de pressão submersível.

Essas duas aplicações em conjunto com as ferramentas disponíveis através do conjunto CLP e supervisor, foram suficientes para a realização das análises de eficiência energética e mudanças na forma de controle, operação e funcionamento do SAA, tornando-o um sistema eficiente e eliminando os desperdícios de energia elétrica.

Assim, diante da atual necessidade do país e do mundo, ficou comprovado que em sistemas de abastecimento de água, é possível eliminar o desperdício de energia através de simples modernizações de equipamentos e a automação do sistema, sendo esta última, uma ferramenta de trabalho que tanto permite modificações no controle dos processos como também um meio de análise do consumo e qualidade da energia elétrica.

### **Agradecimentos**

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pelo curso de mestrado oferecido e todos os professores que fazem parte do programa.

A orientadora, co-orientadora e professores da banca de defesa da dissertação do mestrado que direcionaram e contribuíram com o trabalho de pesquisa realizado.

A indústria cimenteira que permitiu a utilização de suas instalações como laboratório, fornecendo todo o material necessário para a pesquisa no seu Sistema de Abastecimento de Água.

A toda equipe técnica da manutenção e produção da fábrica de cimento, pela troca de conhecimento e informações necessárias para o entendimento e desenvolvimento da pesquisa.

### **Referências Bibliográficas**

- Amaral, C. N. (2013). Análise do desempenho de um sistema de abastecimento de água de uma indústria cimenteira visando eficiência energética. 154 f. Dissertação em Sistemas de Comunicação e Automação (Área de concentração em Energia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
- Bajay, Sergio Valdir, Golla, Filipe Debonji; Dorileo, Ivo Leandro (Coord.). Oportunidade de eficiência energética para a indústria: relatório setorial, setor cimento. Brasília: CNI, 2010.
- Eletrobrás Centrais Elétricas Brasileiras (MME). Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Conservação de Energia: eficiência energética de equipamentos e instalações. 3 ed. Itajubá, 2006.
- Empresa de Pesquisa Energética (MME). Balanço Energético Nacional 2013: ano base 2012. Rio de Janeiro, 2013.
- Garcia, A. G. P. Impacto da Lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria. 2003. 127 f. Dissertação em Planejamento Energético – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Moraes, Cícero Couto de; CASTRUCI, Plínio de Lauro. (2013). Engenharia de Automação Industrial. Rio de Janeiro: LTC.
- Moreira, S. G. (2008). Estratégias de simulação para análise em sistemas de bombeamento monitorado via supervisor. 92 f. Dissertação em Engenharia Elétrica. (Área de concentração em Energia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande.
- Moura, G. N. P. A relação entre água e energia: gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das companhias de saneamento básico no Brasil. 2010. 203 f. Dissertação em Ciências em Planejamento Energético – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.