

CONTROLE DE DEMANDA COM SISTEMA SUPERVISÓRIO NA PLATAFORMA RADIUINO

EDUARDO H. FERRONI¹, VALCERES V. R. SILVA², MATEUS H. COSTA²

1. *Unidade de Gestão de Engenharia, Arquitetura e Tecnologia, Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG*

Estrada Vicinal, SN – Parque Mariela - Varginha – MG - Brasil
E-mails: ferroni@unis.edu.br

2. *Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de São João del Rei - Pça Frei Orlando, 170 – São João del Rei – MG - Brasil*

E-mails: vvr SILVA@ufsj.edu.br

Abstract— The electrical energy spent in manufacturing is responsible for a large amount of the operational costs. Thus, the consumed energy control and monitoring is important to improve the energy quality use and minimize losses. This task is more convenient for wireless sensors' networks that need to operate in an industrial environment, exposed to low frequency radiations and industrial substations medium voltage lines electrical fields. This work aims to conduct loads shedding defined by a genetic algorithm and through a network of wireless sensors and supervisory system optimize production even for an energy consumption limitation.

Keywords— Sensor's network, industrial substations monitoring, Intelligent load shed schedule, Supervisory system.

Resumo— A energia elétrica é responsável por uma grande parcela dos custos operacionais de uma indústria. Assim, o controle e monitoramento da energia consumida é importante para melhorar a qualidade do uso de energia e minimizar as perdas. Esta tarefa é mais conveniente para sistemas supervisórios que utilizam redes de sensores sem fio, que precisam operar em um ambiente industrial, exposta a radiações de baixa frequência provenientes de subestações industriais e campos elétricos de média tensão. Este trabalho tem por objetivos realizar o corte inteligente de cargas definido por um algoritmo genético, auxiliado por uma rede de sensores sem fio e um sistema supervisório, e otimizar a produção, mesmo com uma limitação de consumo de energia.

Palavras-chave— Rede de Sensores, Monitoramento de Subestação Industrial, Corte inteligente de Cargas, Sistema Supervisório.

1 – Introdução

O setor industrial é responsável por consumir mais de 42% da energia total e por mais da metade da energia elétrica, incluindo a cogeração. O gerenciamento de cargas combinado com sistema produtivo é fundamental para se obter uma melhor eficiência na utilização da energia, isto é, maior produtividade com menor consumo de energia. A determinação das cargas de maior importância para o momento produtivo de uma planta industrial é fundamental no processo decisório (Allen e Lee, 2005).

As unidades industriais que possuem geração própria geralmente adotam planos de cortes de cargas nos horários de pico e/ou em momentos emergenciais de falta fornecimento de energia. Esta política geralmente acontece devido às limitações dos sistemas de geração. Estas limitações afetam o processo produtivo. A eliminação das cargas menos prioritárias e o comportamento elétrico das mesmas mantêm a estabilidade do processo (IEEE, 2007).

O corte inicial inteligente de cargas (KW) em resposta a um evento específico garante a não rejeição de cargas pelo sistema de geração de energia e também assegura uma melhor qualidade

da energia. Como o processo produtivo é dinâmico, o consumo também passa a ser flutuante e a escolha inicial de uma combinação de cargas pode, em algum momento, não ser a mais adequada. O transitório oscilatório é caracterizado por uma alteração repentina nas condições de regime permanente da tensão e/ou corrente e normalmente decorrentes de chaveamentos de cargas. Um sistema supervisório pode fazer a adequação das cargas quando necessário.

Radiuino é uma plataforma livre para criação de rede de sensores sem fio (Zheng e Jamalipour, 2009). A comunidade científica envolvida no desenvolvimento de *hardware*, *firmware* e *software* tem por objetivo criar aplicações de fácil utilização para construção de rede de sensores sem fio de forma amigável. A meta é permitir que pessoas, mesmo sem grande experiência em programação, consigam montar sua solução em formulação de rede de sensores. O uso desta plataforma está em aplicações das mais diversas possíveis, desde controle de irrigação em jardins (Hugh e Jonathan, 2009), controle de dispositivos em residências (Hugh e Jonathan, 2009), até treinamento de rede de sensores sem fio (RSSF) no controle de máquinas elétricas (Stallings, 2004), e

desenvolvimento de novos protocolos de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e roteamento.

Os algoritmos genéticos têm sido amplamente aplicados em processos de otimização em problemas de engenharia. Têm o potencial de procurar soluções em superfícies complexas da função objetivo, incorporando o conhecimento do projetista tanto na formulação como na solução de problemas.

Uma rede de sensores sem fio é proposta para captar e modelar o sistema produtivo em tempo real, fornecendo a melhor combinação de cargas que devem permanecer ligadas quando a cogeração for acionada, programada ou não, de maneira automática. Estas informações são avaliadas por um AG que toma uma decisão da melhor combinação de cargas. Os resultados formarão um banco de dados, que um sistema supervisor acessará num momento programado ou quando o sistema de energia solicitar.

2 – A Planta Industrial

O sistema industrial que se pretende controlar é a planta de uma empresa alimentícia que trabalha no ramo da avicultura. A principal atividade da empresa é o abate de aves que atinge hoje mais de 120 mil unidades por dia.

A Figura 1 mostra o *layout* da empresa com a localização dos setores necessários para o processo de produção. Os setores de abate de aves possuem um grande número de motores de carga menores. Esses dois setores possuem uma demanda média e constante de 800 kW. Os compressores são os equipamentos de maior consumo de energia elétrica. Possuem motores de grande porte sendo: 1 de 800cv, 1 de 600cv, 3 de 400cv, 1 de 125cv, 3 de 75cv e 1 de 40cv. As câmaras e os túneis possuem forçadores que são utilizados para a refrigeração dos produtos. A usina térmica com capacidade de geração de 2160 kVA, possui seis unidades geradoras com capacidade de 360 kVA cada.

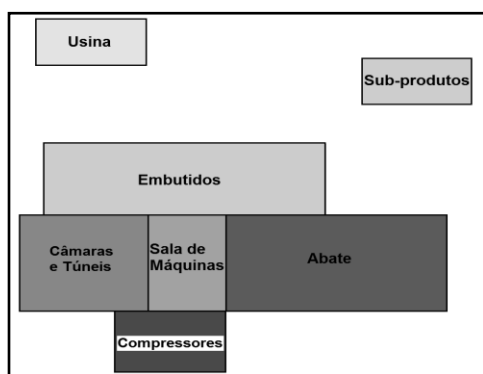


Figura 1. Layout da empresa

A indústria tem atualmente uma demanda de energia elétrica de 3500 kW, sendo grande parte deste montante consumida por motores de elevada potência. O fornecimento de energia elétrica da empresa é feito pela Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), em 13,8kV, sendo uma rede trifásica única de aproximadamente 30 km vinda de uma subestação localizada na cidade de Divinópolis-MG.

A empresa possui uma usina de cogeração, que é utilizada no horário de ponta e/ou quando o fornecimento de energia pela concessionária é interrompido. Porém, a capacidade de geração da usina é menor que a demanda da empresa. Sendo, assim, na interrupção do fornecimento de energia pela CEMIG, é necessária a retirada de algumas cargas para que o sistema continue em funcionamento. Um sistema de desligamento de cargas não automatizado apenas escolhe as cargas a serem retiradas no horário de ponta, não sendo possível adotar tais medidas em situações adversas que provoquem a queda do fornecimento da concessionária. Neste caso o sistema pode ser levado a colapso, por não ser possível uma ação imediata.

Costa *et al.*, (2012) apresenta uma solução para controle de demanda da empresa no período de ponta. Nesta solução, o AG estabelece a melhor combinação de cargas que devem permanecer em funcionamento, quando o sistema tiver uma limitação de energia. Porém, pesos foram associados aos compressores, considerando a potência máxima de cada compressor, o que pode não ser real, se, por exemplo, estiver atuando com um inversor de frequência. Então, a previsão, da combinação das cargas, pode, em alguns casos, ficar inferior ao valor previsto pelo AG. Outros fatores que influenciam na tomada de decisão são: o clima, que provoca uma atuação mais suave dos compressores e a pressão nos túneis que está diretamente ligada ao processo produtivo. Então, o indivíduo proposto pelo AG pode ser ideal para o instante inicial do corte, e depois de passado um determinado tempo, não ser mais a melhor solução.

Surge então, a necessidade de atuar no processo em tempo real para manter a máxima produção, otimizando o consumo de energia, para que a demanda não ultrapasse 1800 KVA.

Uma rede sensores e atuadores, atuando via rádio permite atuar rapidamente sobre os equipamentos controlados, no caso do sistema de cogeração precisar entrar em funcionamento em caráter emergencial.

Devido à necessidade de se manter a produção da empresa em temperaturas próximas de zero, o funcionamento do sistema de resfriamento, é fundamental para o processo. Este sistema utiliza compressores de amônia para fazer o resfriamento dos radiadores, os quais estão localizados nos túneis de congelamento e nas câmaras de

resfriamento. Para uma melhor eficiência no consumo de energia é importante manter a pressão nas tubulações dentro de uma faixa definida e as temperaturas das câmaras o mais próximo de zero. Como o processo produtivo pode modificar as condições ambientais, o conjunto de cargas escolhido inicialmente pode sofrer algumas pequenas modificações. Desta forma um sistema supervisorio que seja capaz de realizar modificações no conjunto de cargas é fundamental.

3 – Internet das “coisas” e Plataforma Rádiuino

A internet das coisas (*Internet of Things*, IoT) parece ser o caminho futuro no acesso à informação, uma vez que informações não são importantes apenas para as pessoas, mas também na forma de acionar as coisas. Segundo estudo da CISCO® desde 2004 já existem mais dispositivos conectados à rede do que pessoas. A previsão é que em 2020, 50 bilhões de dispositivos e 7,6 bilhões de pessoas estarão conectados à internet. Isto mostra que uma melhoria da qualidade de vida, maior eficiência produtiva (mais produtos de qualidade com menor custo) está cada vez mais dependendo de sensoriar, coletar, transmitir, armazenar e distribuir informações em massa.

A IoT é constituída de computador, rede local, internet, protocolos, base de dados, comunicação e sensores (Figura 2). Geralmente uma rede de sensores sem fio é usada para atender aplicações específicas e para isto, vários conceitos diferentes devem ser tratados. Trata-se então de uma rede altamente customizada e várias questões ficam em aberto: Propagação, Cross Layer e Consumo. Na essência, a IoT é uma rede de dados e a utilização de uma pilha de protocolos é necessária (Karl e Willing, 2007).

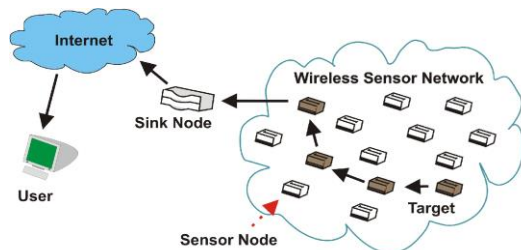


Figura 2. Esquema de uma IoT

A pouca flexibilidade e complexidade dos protocolos de comunicação deixam as redes de sensores engessadas. Não permitem alterar características de nenhuma camada da pilha de protocolos, obrigando o uso de programadores específicos para cada plataforma.

Em setembro de 1999, as Redes de Sensores sem Fio (RSSF's) foram identificadas pela

Business Week como uma das tecnologias mais impactantes para o século XXI. Além disso, em janeiro de 2003 o MIT's *Technology Review* afirmou que as RSSF's são uma das dez principais tecnologias emergentes. As RSSF's tiveram um crescimento de US\$ 0.45 bilhões em 2011, com uma perspectiva de crescimento acima de US\$ 2 bilhões em 2021.

O Padrão 802.15.4 usado pelas RSSF's obriga o desenvolvimento de *firmware* para atender às necessidades das aplicações. Várias soluções no mercado utilizam programadores próprios. A plataforma Rádiuino tem como proposta resolver o problema da flexibilidade. Rádiuino é uma plataforma livre para criação de rede de sensores sem fio (Zheng e Jamalipour, 2009). A comunidade científica envolvida no desenvolvimento de *hardware*, *firmware* e *software* tem por objetivo criar aplicações de fácil utilização para construção de rede de sensores sem fio de forma amigável.

A plataforma Arduino quebra os paradigmas para uso de microcontroladores, devido a simplicidade, segundo a revista *IEEE Spectrum* de outubro de 2011. É uma plataforma *open source* com *hardware* barato e *software* baseado na linguagem *Wiring* e *IDE Processing*.

O sucesso do Arduino se deve ao fato de que o mesmo apresenta em seu *hardware* uma pinagem própria que abstrai a utilização da pinagem do microcontrolador. Os pinos são definidos pela sua função e não pelo seu número, criando uma compatibilidade entre os diversos microcontroladores. O *firmware* é limitado à placa do microcontrolador, e a comunicação entre os microcontroladores torna-se padrão.

Esta simplicidade resolve o problema de “engessamento” gerado pelo protocolo 802.15.4 e permite a criação de RSSF's dedicadas, e sem a necessidade de um programador exclusivo (Karl e Willing, 2007).

4 – Implementação do Sistema Supervisorio na Plataforma Rádiuino

O algoritmo genético criado em Costa *et al.*, (2012) avalia uma função de custo (FC), os seguintes requisitos do sistema:

- o limite máximo de geração da usina de cogeração de 1800 KW;
- o corte mínimo de carga possível;
- o equilíbrio entre compressores e forçadores que devem permanecer ligados;
- o tempo que o produto está dentro de cada túnel de congelamento e,
- as temperaturas das câmaras de resfriamento.

A Equação 1 mostra a função de custo utilizada pelo AG para encontrar a resposta ótima para o problema.

$$FC = P_{en} + (P_{emax} - P_{edem}) + (\sum PFt_n - \sum PCo_n) + \sum TPC_n + \sum TCr_n \quad (1)$$

Sendo:

Pen: penalidade aplicada somente no caso da potência demandada pelas cargas ultrapassar o limite máximo de geração,

Pe_{max}: limite máximo de geração,

Pe_{dem}: potência elétrica demandada pela combinação de cargas em análise,

PFT_n: peso dos forçadores do n-ésimo túnel,

PCo_n: peso do n-ésimo compressor,

TPC_n: tempo em que o produto está dentro do n-ésimo túnel,

TCr_n: temperatura da n-ésima câmara de resfriamento.

As ponderações associadas aos compressores, utilizadas na função custo do algoritmo de busca, foram calculadas de acordo com a capacidade de compressão e foram normalizadas em função do maior compressor. Fez-se Co₁=100 e a Equação 2 foi aplicada para o cálculo dos pesos restantes.

$$PCo_n = \dot{W}_n \cdot K \quad (2)$$

Sendo:

PCon: peso do n-ésimo equipamento,

W: capacidade de compressão (W).

K: constante de determinação dos pesos dos compressores.

O AG fornece um indivíduo de 25 bits, sendo que cada bit representa um equipamento do sistema produtivo. A Tabela 1 mostra a relação de cada bit do indivíduo com o equipamento a ser controlado e o peso numérico de cada indivíduo.

Tabela 1. Correspondência entre o bit do indivíduo, com o equipamento e o seu peso em decimal

Bit	Equipamento	Peso numérico
24	Compressor Co ₁	2 ²⁴ = 16777216
23	Compressor Co ₂	2 ²³ = 8388608
22	Compressor Co ₃	2 ²² = 4194304
21	Compressor Co ₄	2 ²¹ = 2097252
20	Compressor Co ₅	2 ²⁰ = 1048576
19	Compressor Co ₆	2 ¹⁹ = 524288
18	Compressor Co ₇	2 ¹⁸ = 262144
17	Compressor Co ₈	2 ¹⁷ = 131072
16	Compressor Co ₉	2 ¹⁶ = 65536
15	Compressor Co ₁₀	2 ¹⁵ = 32768
14	Compressor Co ₁₁	2 ¹⁴ = 16384
13	Compressor Co ₁₂	2 ¹³ = 8192
12	Forçador Túnel Ft ₁	2 ¹² = 4096
11	Forçador Túnel Ft ₂	2 ¹¹ = 2048
10	Forçador Túnel Ft ₃	2 ¹⁰ = 1024
09	Forçador Túnel Ft ₄	2 ⁹ = 512
08	Forçador Túnel Ft ₅	2 ⁸ = 256

07	Forçador Túnel Ft ₆	2 ⁷ = 128
06	Forçador Túnel Ft ₇	2 ⁶ = 64
05	Forçador Túnel Ft ₈	2 ⁵ = 32
04	Forçador Túnel Ft ₉	2 ⁴ = 16
03	Forçador Túnel Ft ₁₀	2 ³ = 8
02	Forçador Câmara Fc ₁	2 ² = 4
01	Forçador Câmara Fc ₂	2 ¹ = 2
00	Forçador Câmara Fc ₃	2 ⁰ = 1

Os dados de entrada do AG são as potências ativas das cargas, os pesos calculados para o equilíbrio entre os compressores e os forçadores, o tempo de permanência do produto dentro de cada túnel e a temperatura das câmaras de resfriamento. Os valores das temperaturas e da pressão nos túneis variaram aleatoriamente dentro das faixas definidas por (Costa *et al.*, 2012):

Tabela 2. Faixas definidas para temperatura nas câmaras e pressão de amônia nos tubos

Faixa de Temperatura (°C)	Faixa de Pressão (Kgf/cm ²)
-10 a 10	7,0 a 8,3

Porém, este recurso isolado não resolve o problema na ocorrência de falhas, apenas define o indivíduo inicial para o sistema supervisor.

Uma RSSF fornece então as informações instantâneas das temperaturas das câmaras e do tempo de permanência do produto dentro dos túneis. Estes dados que antes eram fornecidos manualmente são, agora, coletados a cada 5 minutos.

O AG capta estas informações e a cada geração, gera um indivíduo ideal para esta situação. O *software* ScadaBR®, sistema supervisor utilizado neste estudo, recebe o indivíduo definido pelo AG e armazena no seu banco de dados. Na ocorrência de falha no fornecimento de energia ou no período de ponta, o sistema supervisor assume o indivíduo fornecido pelo AG e envia um sinal binário aos controladores instalados em cada equipamento do sistema produtivo. Este sinal binário define qual equipamento será desligado (1 mantém ligado e 0 desligado).

A verificação de falhas no fornecimento de energia é realizada por um sensor de corrente instalado na entrada de energia da empresa, conectado, também via rádio à base instalada no computador principal. O *software* supervisor é ativado pelo sensor de corrente ou pelo temporizador.

Durante todo o processo é possível acompanhar o funcionamento de todos os equipamentos na tela do sistema supervisor, verificando quais foram desligados e quais foram mantidos ligados. É possível ainda acompanhar os valores medidos de temperatura e pressão de todos os pontos da fábrica.

O indivíduo em binário selecionado pelo AG é convertido para decimal e armazenado em arquivo

no formato TXT a cada geração. O sistema supervisorio faz a leitura deste indivíduo e um script padrão para cada equipamento, Data point que valida o equipamento em função do seu peso numérico.

Script 1: rotina simulada para cada equipamento.

```
Se (MatLab.value "and" peso numérico)
    retorne verdadeiro;
caso contrário
    retorne falso;
```

sendo *MatLab.value* o valor do indivíduo decimal lido pelo *software*, e "peso numérico" o valor mostrado na Tabela 1 associado a cada equipamento a ser controlado.

Entretanto o sistema supervisorio não processa a rotina anterior, enquanto o *script 2* não autorizar o processamento do *script 1*. Os equipamentos são agrupados pelo tipo, formando os *Data Source*. Os compressores formam um *Data Source*, assim como os forçadores formam outro grupo. Cada *Data Source* possui um *label* fornecido pelo sistema supervisorio.

Script 2: Status do sensor de corrente:

```
Se (status == verdadeiro)
    DS.disableDataSource('DS_936483');
caso contrário
    DS.enableDataSource('DS_936483');
```

O sensor de corrente ou a programação do temporizador ativa este *bit* de *status*, ativando então os *Data sources*. Toda vez que o *status* for igual a 1, as cargas desnecessárias serão desligadas (*bit 0*) e as cargas fundamentais continuarão em funcionamento (*bit 1*).

O AG escolhe o melhor indivíduo em função das temperaturas das câmaras, do tempo do produto dentro dos túneis e realiza os cálculos baseado nas potências máximas de cada carga. Um sistema de refrigeração é diretamente influenciado pela temperatura ambiente e muitas vezes os compressores não atuam com sua potência máxima. O designer gráfico do *software* ScadaBR® somado ao valores instantâneos das temperaturas, pressão e energia consumida facilita ao operador o acompanhamento detalhado da produção e permite que o mesmo insira cargas menores no sistema, quando verificar que o consumo de energia está abaixo do máximo gerado pela usina própria da empresa. As mudanças na produção passarão por pequenos ajustes definidos pelo sistema supervisorio evitando as cargas maiores.

5 – Resultados

A RSSF foi criada com 25 placas controladoras, de fabricação própria, rádio transmissor BE900 homologado pela ANATEL. Foi também utilizado um sensor de corrente e 3 sensores de pressão.

As grandezas a serem medidas: temperaturas, tempo de fechamento dos túneis, demanda atual e corrente de fornecimento de energia, foram geradas aleatoriamente e suas informações inseridas via bornes de conexão externos nas placas dos controladores e transmitidas ao receptor conectado ao computador. Um computador com processador Intel i3 com 4 *GBytes* de memória RAM foi utilizado. Os *softwares* utilizados foram: ScadaBR 1.0 Radiuino (plataforma *open source* Scada BR adaptado para funcionamento direto com Radiuino) e MatLab® 7, 64 *bits*.

Após vários testes, Todos os indivíduos gerados pelo AG apresentaram consumo inferior ao máximo limitado pela geração própria, existindo, sempre uma sobra de energia, mesmo quando os compressores (cargas mais significativas) apresentavam consumo máximo. As variações nas temperaturas e pressão durante o uso da geração própria faz com que o AG apresente indivíduos diferentes dos escolhidos. Para evitar que cargas de grande porte (compressores de 800 cv) sejam ligados ou desligados com frequência elevada, devido a uma mudança de indivíduo selecionado, o sistema supervisorio bloqueia a leitura do arquivo TXT, evitando, assim que estes motores de grande porte sejam danificados e piorem a qualidade do fornecimento de energia. Contudo os valores de consumo instantâneos, fornecidos pelo sensor de corrente, permitem ao operador modificar o *status* das cargas pequenas ajustando o sistema produtivo à nova situação de pressão e temperatura, aumentando assim a eficiência do sistema.

A tela de controle do ScadaBR é mostrada na Figura 3, indicando o controle da temperatura, *status* dos ventiladores e o comparativo de demanda máxima, calculada e a medida.

Watch list	
POTENCIA - DEMANDA	1800.00 kVa
POTENCIA - POTENCIA INST.	481.97 kVa
POTENCIA - STATUS	CEMIG
SUPERVISOR - CONSUMO PREVISTO	1686.00 Kva
SUPERVISOR - CONSUMO INST.	3230.00 kVa
POTENCIA - MATLAB	5.0

Figura 3. Tela de controle quando a energia é fornecida pela concessionária

Nesta aplicação verifica-se que o consumo instantâneo é superior a 1800 KVA, uma vez que o

status do fornecimento está indicado como concessionária.

Quando ocorre uma falha, ou no horário de ponta, o sensor de corrente indica a falha e o sistema assume o indivíduo proposto pelo AG (MatLab®). Neste caso, imediatamente a demanda máxima passa a ser de 1800 KVA (Figura 4).

Watch list	
POTENCIA - STATUS	USINA
SUPERVISOR - CONSUMO PREVISTO	1686.00 Kva
SUPERVISOR - CONSUMO INST.	1735.40 kVa
POTENCIA - MATLAB	2.6482302E7

Figura 4. Tela de controle quando a energia é fornecida pela cogeração

Neste caso, percebe-se que a demanda de potência prevista, utilizando o indivíduo gerado pelo AG (MatLab®), é de 1686 KVA e o operador ajusta, através do ScadaBR, para um consumo de 1735,4 KVA. O comportamento da demanda medida na empresa é mostrado na Figura 5.

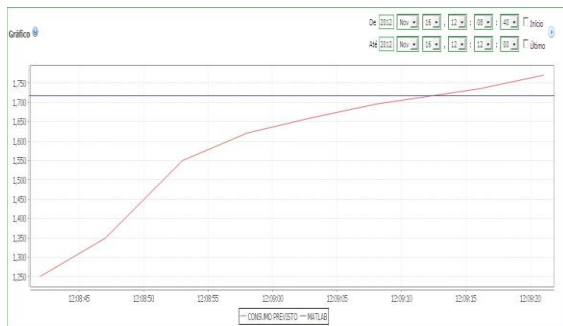


Figura 5. Valores de consumo medidos e propostos pelo AG.

Pode-se verificar que o AG define uma combinação de cargas com um consumo previsto de 1686 KVA, mas a combinação proposta consome, naquele momento, aproximadamente 1300 KVA. Esta diferença se justifica porque muitos compressores estavam com um consumo menor do que o valor máximo.

Então, com a rede de sensores foi possível perceber estas variações nas potências das cargas, atuar sobre algumas destas cargas, previamente desligadas e maximizar a produção sem que o consumo supere o valor de 1800 KVA.

6 - Conclusão

O sistema de cogeração demora 15 segundos para entrar em funcionamento em caso de falhas. Uma rede de sensores sem fio que capta e modela o sistema produtivo em tempo real sendo capaz de fornecer o perfil instantâneo de consumo, associada ao sistema supervisão consegue atuar nas cargas

em um tempo médio inferior a 1 segundo, impedindo que o sistema de proteção da usina atue, levando o sistema ao colapso e consequente paralisação total.

Associado a esta combinação, o AG define a melhor combinação inicial de cargas. Porém, mudanças na produção industrial poderão passar por pequenos ajustes definidos pelo sistema supervisão, evitando a mudança desnecessária da condição de trabalho de cargas maiores.

Esta plataforma mostrou ser uma ferramenta eficiente no corte inteligente de cargas industriais em momentos de contingência.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) pelo suporte financeiro dado a esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Allen, W. e Lee, T. (2005). "Esquema de rejeição de cargas flexível e de alta velocidade utilizando crosspoint switches" Artigo técnico da Schweitzer Engineering Laboratories, Comercial Ltda.
- Costa, M.H., Silva, V.V.R e Resende, L.C., (2012). Controle de demanda por corte ideal de cargas em tempo real de um processo produtivo via algoritmo genético. 10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications – XX INDUSCON. Fortaleza, Ceará.
- http://www.cisco.com/web/BR/tomorrow-starts-here/index.html?CAMPAIGN=tomorrowstarts-here&COUNTRY_SITE=br&POSITION=sl&REFERRING_SITE=cisco%2Ecom+homepag e&CREATIVE=homepage+spotlight.
- Hugh, B. e Jonathan, O., (2009). Practical Arduino: Cool Projects for Open Sources Hardware. Editora Apress.
- Stallings, W., (2004). Wireless Communications & Networks. Editora Prentice Hall; 2ª Edição.
- IEEE Power Engineering Society (2007). IEEE guide for application of protective relays used for abnormal frequency load shedding and restoration, IEEE Std. C37.117, pp. c1-43.
- Karl, H. e Willig, A., (2007). Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. Editora Wiley-Interscience; 1ª Edição. Chichester, West Sussex, UK.
- Zheng, J. e Jamalipour, A., (2009). Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective. Wiley-IEEE, 1ª Edição. Hoboken, NJ, USA.