



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - 14**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO - GET**

**MONITORAMENTO, EM TEMPO REAL, UTILIZANDO REDE SEM FIO, DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS INDUSTRIAIS**

**Prof. José Carlos Grilo Rodrigues (\*)**  
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá  
[www.unifei.edu.br](http://www.unifei.edu.br)

**M.Sc. Carlos Henrique Rodrigues Cardoso**  
KiQ Desenvolvimento de Software Ltda.  
[www.kiq.com.br](http://www.kiq.com.br)

**RESUMO**

A pesquisa para o desenvolvimento de uma plataforma de gestão energética industrial foi motivada pela necessidade cada vez mais premente de considerar a energia elétrica como um recurso extremamente importante na fabricação, não somente do ponto de vista financeiro mais também do ponto de vista da disponibilidade. A intenção é determinar em tempo real qual o comportamento da utilização da energia elétrica em uma planta fabril. Com recursos da FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais) foi desenvolvido um equipamento de monitoramento de produção e de consumo de energia e serviu de base para as conclusões deste artigo. Este equipamento faz parte do sistema Kite, uma plataforma MES (*Manufacturing Execution System*) desenvolvido juntamente com a empresa KiQ Software. O sistema Kite é composto por um software web desenvolvido em Java e coletores de dados industriais também desenvolvidos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Eficiência Energética, Sistemas Motrizes Industriais, Monitoramento Energético, Rede sem fio de monitoramento industrial

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Um dos grandes problemas atuais não está somente na busca de novas fontes de energia, de preferência renováveis, mas também no uso eficiente dessa energia. Um fator importante em qualquer gestão é a obtenção de informações precisas e em tempo hábil e que possam orientar a tomada de decisões. Uma das ações no sentido de controlar o consumo adequado de energia está sendo estabelecido em vários países do mundo através da aplicação da norma ISO50001. Um consenso entre os países integrantes dos comitês da ISO é que a medição é fundamental para se obter os melhores resultados em eficiência energética. Foi criado, pelo comitê da ISO 50001, o Energy Performance Indicator – EPI (Indicador de Performance Energética) que permite a avaliação do consumo de energia, por exemplo, por tonelada de produto de uma determinada empresa.

De acordo com a Eletrobras S.A. em 2008 do total de 388,2 TWh de energia consumidos no Brasil 42 % foram do setor industrial, 26 % do residencial, 17 % do setor comercial e 15 % de outros setores da economia. Nas indústrias, que representam quase a metade do consumo, 62 % foram consumidos para força motriz, seguido de aquecimento direto com 16 % do consumo.

(\*) Av. BPS, 1300 – CEP 37500903 Itajubá, MG, – Brasil  
Tel: (+55 35) 3629-1179 – Fax: (+55 35) 3629-1279 – Email: [jcgrilo@unifei.edu.br](mailto:jcgrilo@unifei.edu.br)

Consumo de energia elétrica no Brasil em 2008

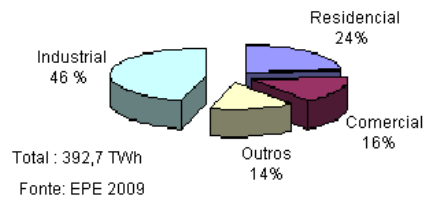


FIGURA 1 – Consumo de Energia no Brasil em 2008 (1)

Também segundo a Eletrobrás os sistemas motrizes possuem uma eficiência energética média de 13% enquanto que o motor isoladamente possui uma eficiência de 91%. A conclusão é que grande parte do consumo de energia no Brasil é feito por indústrias, que em grande parte consomem essa energia em sistemas motrizes que possuem uma eficiência energética muito baixa, grande parte da energia está sendo desperdiçada.

Neste artigo é apresentado um sistema desenvolvido para auxiliar na obtenção de informações em tempo real do consumo de energia que possa ser instalado em qualquer tipo indústria utilizando os recursos mais avançados de tecnologia de rede sem fio para sistemas embarcados. Além de o software desenvolvido utilizar a padronização web, o que permite que em qualquer equipamento da empresa, ou mesmo fora da empresa, possa visualizar as informações e gráficos; foi desenvolvido também um leitor de grandezas elétricas que utiliza uma rede sem fio para transmitir os dados coletados.

Este artigo apresenta também as informações sobre o desenvolvimento, os resultados obtidos e a aplicação do sistema para a medição de consumo de energia elétrica em casos reais. O funcionamento do sistema implica em um equipamento que faz a coleta das grandezas elétricas em tempo real e envia os dados utilizando rede sem fio (a intenção do uso de rede sem fio na indústria é facilitar a instalação dos equipamentos) para um equipamento coordenador que envia os dados para o sistema de gestão de eficiência energética. Estes dados são transformados em relatórios gráficos que permitem a avaliação do consumo de cada ponto de coleta isoladamente ou totalizado e permite avaliar a eficiência desse consumo atrelado a produção real da empresa por setor, por produto, por turno, por ordem de produção, etc. Um fator importante que o sistema permite é avaliar as ações implementadas em cada sistema motriz no sentido de aumentar a eficiência energética e quanto isso resultou em benefício real, ou seja, produtos produzidos.

## 2.0 - MONITORAMENTO DE DADOS INDUSTRIAIS EM TEMPO REAL

O monitoramento de dados industriais possui características que são muito singulares. Cada linha de produção possui suas características que são diferentes de outras linhas de produção mesmo se considerarmos uma mesma indústria com plantas diferentes. Além disso, as formas de produção mudam com frequência e isso faz com que a instalação dos equipamentos de monitoramento necessite ser reposicionados.

Diferente da automação industrial, onde as informações são colhidas por sensores para permitir a execução de uma lógica de controle que irá atuar em determinados pontos da produção, o monitoramento da produção necessita de informações a respeito da execução de tarefas das pessoas que atuam na produção, sejam operadores, técnicos em manutenção, responsáveis por configuração de máquinas, etc. Esta característica faz com que seja necessária uma interface homem-máquina intuitiva e que possa ser facilmente utilizada por qualquer tipo de pessoa.

Estas características impõem o desenvolvimento de um equipamento robusto para suportar os vários ambientes de produção e flexível, tanto do ponto de vista de mobilidade para permitir a remodelagem das linhas de produção a qualquer momento, como também do ponto de vista da lógica responsável pela coleta dos dados.

### 2.1 Rede sem fio utilizando ZigBee

Para a comunicação entre os pontos de coleta e o sistema e permitir mobilidade é necessário utilizar um sistema sem fio (rede *wireless*) e a tecnologia mais adequada para isso é a utilização de um sistema embarcado de rede utilizando o padrão 802.15.4 e que foi implementado na tecnologia sem fio ZigBee. A empresa Digi International(1) comercializa vários modelos de módulos ZigBee a Figura 2 mostra a imagem do módulo utilizado no projeto do coletor de dados.



FIGURA 2 – Módulo ZigBee

A rede ZigBee foi desenvolvida para permitir a comunicação em rede sem fio de dados de baixo custo, baixa taxa de comunicação, no caso 250 KBits/s que é compatível com a frequência de dados a ser coletado e pequena distância, normalmente 100 metros útil em ambientes industriais. A Figura 3 mostra as camadas da rede e aplicação do ZigBee.

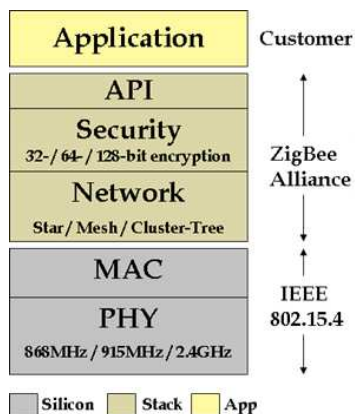


FIGURA 3 – Camadas de Rede e de Aplicação (2)

## 2.2 Topologia da Rede

A rede ZigBee pode ser modelada em tipos diferentes de topologia sendo um deles a rede Mesh que permite a montagem dos coletores para atender todas as necessidades do sistema. A Figura 4 mostra um exemplo de topologia Mesh utilizando um coordenador ligado a roteadores e finalmente ligando coletores que estão dispostos ao longo da linha de produção.

## Rede Mesh

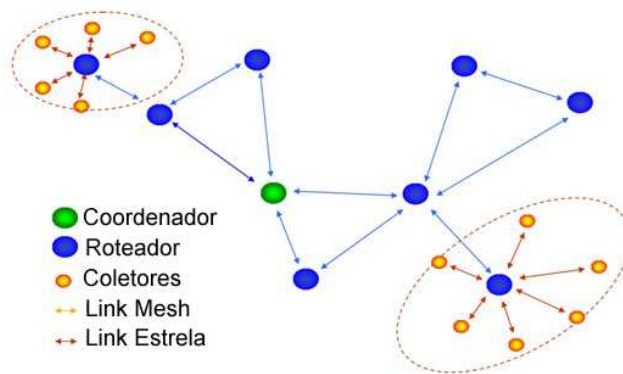


FIGURA 4 – Módulo ZigBee (3)

As principais características da rede ZigBee são:

Suporte para múltiplas topologias de rede, tais como ponto-a-ponto, ponto a multiponto e redes mesh

Baixo consumo de energia elétrica

Baixa latência

Até 65.000 unidades por rede

Uso de criptografia 128-bit AES para conexões seguras de dados

Prevenção de colisão, tentativas e reconhecimentos.

### 2.3 Rede ZigBee em relação a outras redes sem fio

A Figura 5 mostra a comparação entre ZigBee e outros tipos de rede sem fio

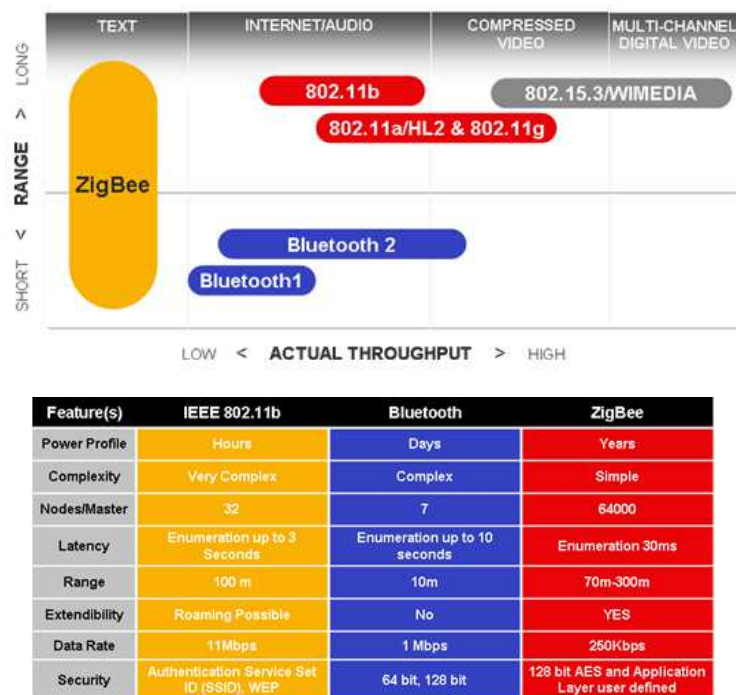


FIGURA 5 a e b – Comparação entre ZigBee e outras redes sem fio (3)

### 3.0 - EQUIPAMENTO DE MONITORAMENTO DE PRODUÇÃO E DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para permitir a flexibilidade foi desenvolvido um coletor utilizando um processador ARM de 32 bits utilizando o sistema operacional embarcado de tempo real FreeRTOS (4). Esta eletrônica foi projetada com várias formas de comunicação como:

- Ethernet. Permite a comunicação com equipamentos que possam conexão ethernet como, por exemplo, câmeras industriais que fornecem informação de monitoramento visual da produção.
- RS232/RS485. Permite a comunicação com inúmeros equipamentos industriais como, por exemplo, PLCs que estejam controlando máquinas ou linhas de produção.
- USB Host 2.0. Permite a conexão com dispositivos automáticos de leitura com leitores de código de barras mono e bidimensional.
- Entradas e Saídas Digitais. Permite a leitura direta de informações de produção através de sensores como contagem de produção, parada de máquina e sinalização através de andom.
- Leitura de Tensão e Corrente Trifásico. Permite a leitura das grandezas elétricas e disponibilizam os dados em tempo real, os dados lidos são disponibilizados para o sistema que pode solicitar qualquer informação em qualquer momento como Potência Ativa, Reativa e Aparente, Corrente e Tensão de pico e RMS, entre outras.

A Figura 6 mostra a eletrônica desenvolvida para o coletor de dados e de grandezas elétricas.

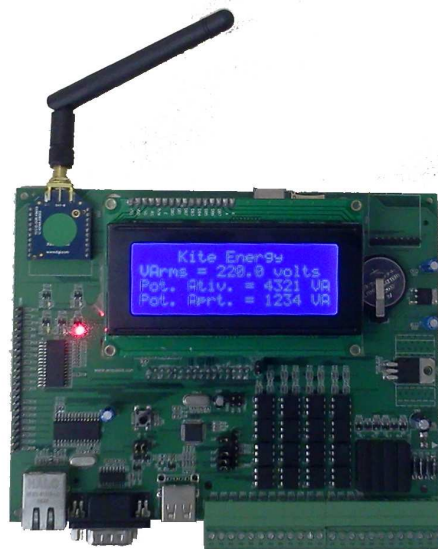


FIGURA 6 – Eletrônica do equipamento Coletor

Para obter as informações de operadores foi desenvolvido um teclado de membrana com 16 teclas e display alfanumérico com 4 linhas e 20 colunas.



FIGURA 7 – Interface Homem Máquina do Coletor

#### 4.0 - SOFTWARE DE GESTÃO DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA

As informações de produção e consumo de energia coletados são armazenado no sistema e passaram a integrar o sistema Kite permitindo avaliações de histórico e em tempo real do como se comporta o uso de energia e por exemplo o quanto de energia está sendo utilizada na produção e quanto esta sendo desperdiçada.

A Figura 8 mostra a tela de abertura do sistema Kite Energy, a interface com sistema é feita utilizando qualquer web browser.

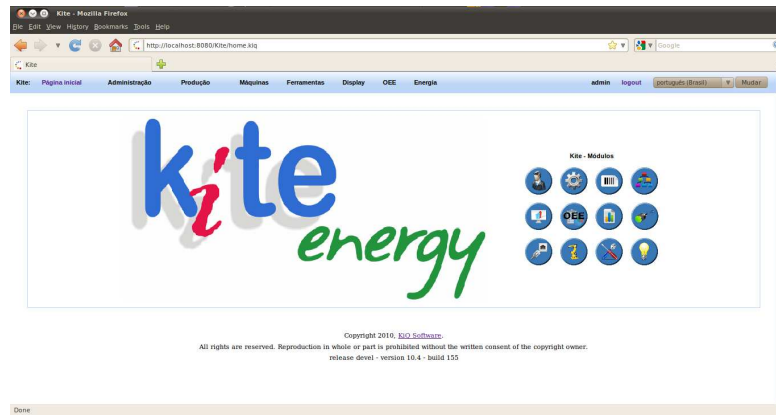


FIGURA 8 – Interface do sistema Kite Energy

Alarmes podem ser definidos no sistema e são enviadas mensagens através de email, sms, ou sinalização através dos coletores. Vários relatórios permitem avaliar o comportamento do consumo de energia e da produção e avaliar a eficiência energética do sistema produtivo. A Figura 9 mostra um exemplo de relatório que apresenta o consumo de energia de uma prensa.

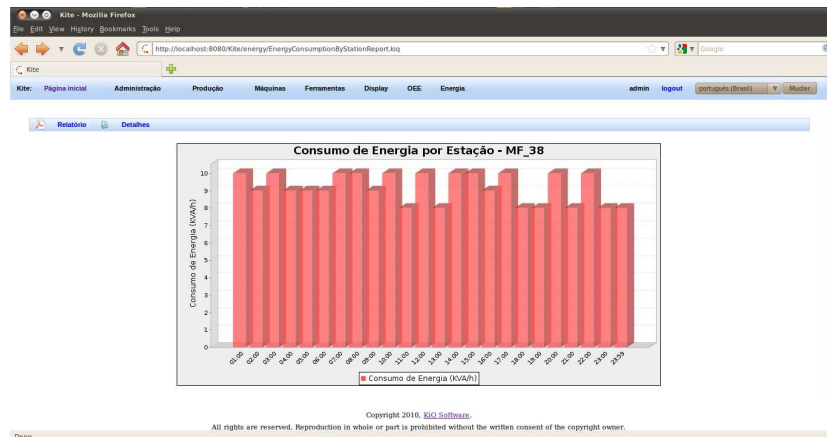


FIGURA 9 – Exemplo de relatório de consumo de energia de uma prensa

#### 5.0 - CONCLUSÃO

A comunidade internacional através da ISO (*International Standard Organization*) está trabalhando no sentido de definir normas que orientem o consumo de energia e permitam uma maior eficiência energética. Um dos trabalhos mais concretos está sendo definido através da futura norma ISO 50001 (5)(6)(7), porém muito trabalho precisa ser feito no sentido das indústrias poderem efetivamente produzir seguindo normas de eficiência energética.

A intenção deste projeto era desenvolver uma ferramenta de análise e avaliação que permitisse a tomada de decisão em relação ao consumo de energia e a produção industrial e que isso pudesse ser feita com base em dados reais e em tempo real. O objetivo foi atingido. Utilizando como base um sistema MES (*Manufacturing Execution System*) foi integrado o sistema de gestão energética.

Muito trabalho ainda precisa ser feito no sentido de avaliar em situações reais de produção e consumo de energia quanto é possível aprimorar em termos de eficiência energética. O sistema se apresentou bastante robusto e ao mesmo tempo flexível para permitir adaptações que serão necessárias para que seja possível as empresas produzir com o máximo de qualidade e o mínimo de consumo de energia.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Atuação da Eletrobrás, através do Procel, na Eficiência Energética de Indústrias Brasileiras, C. A. Ferreira, F. P. D. Perrone, M. A. R. G. Moreira, H. L. Oliveira, A. B. A. Pinto, A.S. Sobral, B. R. Motta, C. H. Moya, M. R. Spera, L. C. T. Vilela, R. R. de A. Góes, M. V. P. Teixeira e R. L. Sobral. THE 8<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE 2009
- (2) Digi Intenational – <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee.jsp>
- (3) ZigBee Allience - <http://www.zigbee.org/>
- (4) FreeRTOS - <http://www.freertos.org/>
- (5) Future ISO 50001 on energy management progresses to Draft International Standard obtido em 12/2010 em <http://www.iso.org/iso/pressrelease.htm?refid=Ref1337>
- (6) ISO management system standard for energy obtido em 01/2011 em [http://www.iso.org/iso/hot\\_topics/hot\\_topics\\_energy/energy\\_management\\_system\\_standard.htm](http://www.iso.org/iso/hot_topics/hot_topics_energy/energy_management_system_standard.htm)
- (7) ISO 50001 energy management standard targeted for publication in 3Q2011 obtido em 02/2011 em <http://www.iso.org/iso/pressrelease.htm?refid=Ref1399>

## 7.0 - AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FAPEMIG pelo financiamento do projeto “EIME - EQUIPAMENTO INDUSTRIAL DE MONITORAMENTO DE ENERGIA - APQ-03491-09” que permitiu o desenvolvimento do equipamento de coleta de grandezas elétricas que pode ser integrado ao sistema de gestão da produção Kite MES.