



**XXII SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTL/28  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO – XV**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

**MONITORAMENTO ONLINE PARA MICROGERAÇÃO UTILIZANDO FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

<b>Renata I. S. Pereira(*)</b>	<b>Paulo C. M. Carvalho</b>	<b>Sandro C. S. Jucá</b>	<b>Fausto Sampaio</b>	<b>Alisson S. C. Alencar</b>
<b>UFC</b>	<b>UFC</b>	<b>IFCE</b>	<b>IFCE</b>	<b>IFCE</b>

**RESUMO**

O presente estudo descreve o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados e de monitoramento *online* utilizando *software* livre. Com o advento da resolução normativa n. 482 da ANEEL, torna-se ainda mais relevante o desenvolvimento de sistemas de monitoramento *online* para os processos de microgeração de energia elétrica baseados em fontes renováveis de energia, tendo em vista aplicações como a avaliação de potencial energético e a otimização da eficiência de geração. Como estudo de caso foi utilizada uma planta de bombeamento de água acionada por módulos fotovoltaicos (FV).

**PALAVRAS-CHAVE**

Microgeração, Monitoramento Online, Fontes Renováveis de Energia, Sistemas de Aquisição de Dados

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O monitoramento e a aquisição de dados são imprescindíveis nos processos eficientes de geração de energia elétrica e aplicáveis em diversas etapas como na comprovação prática de dados simulados, na avaliação de potencial das fontes renováveis de energia e no prognóstico de falhas na geração. Por outro lado, os equipamentos com essa finalidade específica ainda são pouco encontrados no mercado brasileiro, além de apresentarem custo relativamente elevado. Os sistemas de monitoramento e aquisição de dados possibilitam mensurar a eficiência do sistema de geração, bem como otimizar a eficiência de geração, tendo em vista que podem informar, em tempo real, os parâmetros de operação.

Com o advento da resolução normativa n. 482 da ANEEL (1), que estabelece condições gerais para a microgeração de energia elétrica conectada à rede de distribuição por meio de unidades com potência instalada menor ou igual a 100 kW, torna-se ainda mais relevante o desenvolvimento de sistemas de monitoramento *online* para os processos de microgeração baseados em fontes renováveis de energia como: solar, eólica e biomassa.

Os sistemas de aquisição de dados e de monitoramento *online* são aplicáveis em diversas etapas do processo de microgeração elétrica com base em fontes renováveis de energia como, por exemplo, na avaliação de potencial energético, no prognóstico de falhas na geração, na verificação prática de dados do projeto, bem como na otimização da eficiência de geração, tendo em vista que é possível informar, em tempo real, os parâmetros de geração e operação. Por outro lado, os equipamentos com esta finalidade específica ainda são pouco encontrados ou encontrados apenas em grandes centrais de geração com monitoramento complexo e com custos relativamente elevados, inviabilizando a implantação em clientes domésticos e em outros clientes que se encontram dentro da faixa de potência de microgeração de energia elétrica estabelecida pela ANEEL.

(\*) DEE – UFC, Caixa Postal 6001, Campus do Pici, CEP 60455-760, Fortaleza CE – Brasil.  
Tel: (+55 85) 3366-9585 – Fax: (+55 85) 3366-9574 – Email: r.imaculada27@gmail.com

Nesse contexto, o presente estudo descreve a construção, a programação e a aplicação de um sistema de monitoramento WEB e aquisição de dados com *software* livre e com uso de componentes eletrônicos obtidos no mercado brasileiro. Como estudo de caso, o sistema proposto foi implementado em uma planta de microgeração FV aplicada em bombeamento de água. O sistema eletrônico microcontrolado de sensoriamento foi construído e programado com a capacidade de atualização do *firmware*, ou seja, gravação do programa também de forma *wireless* através dos protocolos *Bluetooth* ou *Zigbee*. A placa do sistema microcontrolado teve como base o *software* livre SanUSB (2).

## 2.0 - PLANTA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A planta de microgeração utilizada foi instalada no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A planta consiste em um sistema de bombeamento de água acionado por painéis FV. Os dados adquiridos e monitorados são: tensão e corrente dos painéis FV (Figura 1) e pressão e vazão do conjunto motor-bomba (Figura 2). O painel fotovoltaico fornece uma potência máxima ( $P_{max}$ ) de 87 Wp; 21,7 V de tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e 5,34 A de corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ). Em relação ao motor-bomba, para 12 V de tensão de alimentação e pressão máxima de 20 psi, a vazão da bomba é de 5,9 litros por minuto (L/min); apresenta um máximo de 2205 rpm e corrente de 4,2 A.



FIGURA 1 – Painéis FV instalados no LEA.



FIGURA 2 – Conjunto motor-bomba.

### 3.0 - SENSORIAMENTO, CONDICIONAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS

A configuração dos sensores de vazão (SM6000) e pressão (PN2020) usados, mostrada na Tabela 1, foi ajustada de modo a fornecer um sinal de tensão de 10 V.

Tabela 1 - Equivalência do sinal de tensão fornecido e da medição dos sensores.

Sensor	Sinal (V)	Valor
Pressão	0 -10	0 - 50 psi
Vazão	0 -10	0 – 25 L/min

Para adequar os sinais dos sensores ao conversor analógico-digital (AD) do sistema de aquisição de dados é utilizado o princípio de divisão de tensão, quando o valor medido é maior que a tensão máxima do conversor AD. Há também o princípio de amplificação do sinal com circuitos utilizando amplificadores de instrumentação, para adequar a tensão ou corrente do sinal do sensor à tensão de fundo de escala do conversor AD do microcontrolador.

Além disso, os amplificadores de instrumentação são utilizados também para ler sensores, com mínima ou praticamente nenhuma interferência no sinal, devido à alta impedância de entrada dos amplificadores, servindo como isolador de sinais, pois a tensão de saída do amplificador é fornecida pela fonte de alimentação do amplificador e não pela tensão de entrada. Para amplificação do sinal do sensor de corrente dos painéis FV é utilizado o circuito amplificador de diferença. Esta configuração responde à diferença entre os sinais de tensão aplicados à entrada e idealmente rejeita sinais que são comuns às duas entradas. Amplificadores de diferença, ilustrados na Figura 3, são frequentemente utilizados em projetos empregados em instrumentação (3).

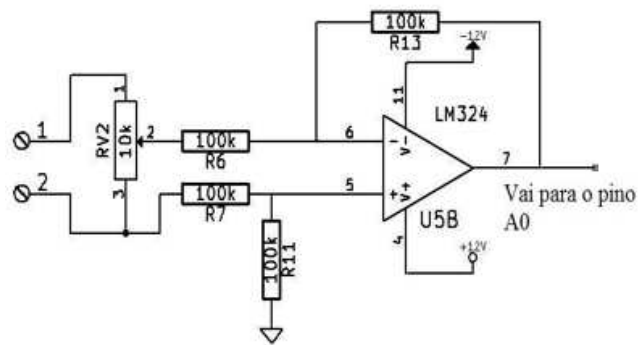


FIGURA 3 - Circuito amplificador de diferença.

Em relação aos dados de tensão do painel FV, foi necessário implementar uma placa com circuito divisor de tensão, ilustrada na Figura 4, para adquirir os dados, pois os sinais ultrapassam o limite de tensão do conversor AD. No caso da leitura de tensão, o painel FV utilizado, para as condições meteorológicas de Fortaleza, em torno do meio dia, fornece um valor de tensão máximo de 20 V.

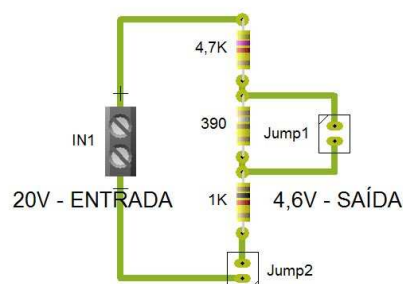


FIGURA 4 - Circuito divisor de tensão.

O sistema de aquisição de dados proposto é um sistema embarcado, ou seja, sistema que manipula dados dentro de outro sistema maior, como é o caso de vários sistemas de monitoramento (4).

O sistema de aquisição de dados microcontrolado, ilustrado na Figura 5, possibilita uma programação amigável e a depuração dos valores dos sensores através da emulação serial virtual via USB. Isto pode ser criado de forma

rápida e eficaz no momento em que o microcontrolador está ligado diretamente a um PC, através da interface USB. Equipamentos projetados e construídos para aplicações específicas tendem a ser menos onerosos, ter melhor relação custo-benefício e proporcionar um ambiente de fácil construção e operação (5).

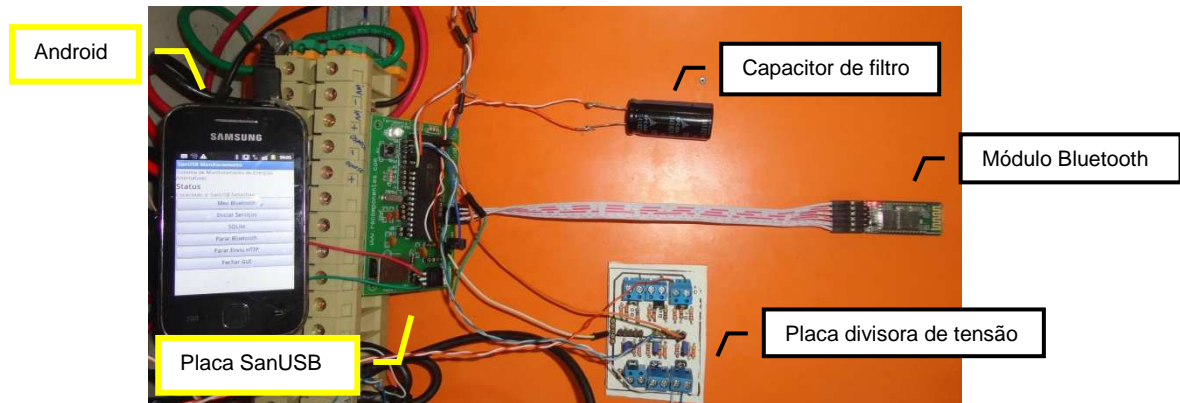


FIGURA 5 – Sistema de aquisição de dados microcontrolado.

#### 4.0 - APLICATIVO ANDROID

Entre o sistema de aquisição de dados e a telecomunicação com o servidor *online*, via 3G/GPRS ou WiFi, foi desenvolvido um aplicativo no sistema operacional Android que atua como *gateway* entre os dados recebidos dos sensores via *bluetooth* e o banco de dados *online* com telas de monitoramento e gráficos dos sensores instalados.

O banco de dados *online* pode ser consultado por qualquer dispositivo computacional, conectado à internet, por meio de senha de acesso. As consultas podem ser realizadas a qualquer momento com a atualização do banco de dados a cada minuto. O aplicativo foi programado para enviar os dados após estabelecer conexão com a *internet* e também foi programado com um armazenamento persistente e redundante, através de um banco de dados nativo do próprio sistema operacional. Dessa forma, as informações continuam no banco de dados local como *backup* de informações, mesmo após o envio para o servidor. A Figura 6 ilustra o monitoramento *online* desenvolvido em três etapas:

1. Sensoriamento, condicionamento e aquisição de dados.
2. Armazenamento temporário e envio ao banco de dados *online*;
3. Servidor WEB e apresentação ao usuário.

A etapa 1 utilizou a ferramenta de *hardware* e *software* livre SanUSB. A etapa 2 baseou-se no desenvolvimento da plataforma Android e a etapa 3, ou seja, a camada de apresentação ao usuário, foi desenvolvida em PHP com banco de dados MySQL. Desta forma, este estudo apresenta uma alternativa totalmente livre de monitoramento *online* para plantas de microgeração de fontes renováveis de energia.

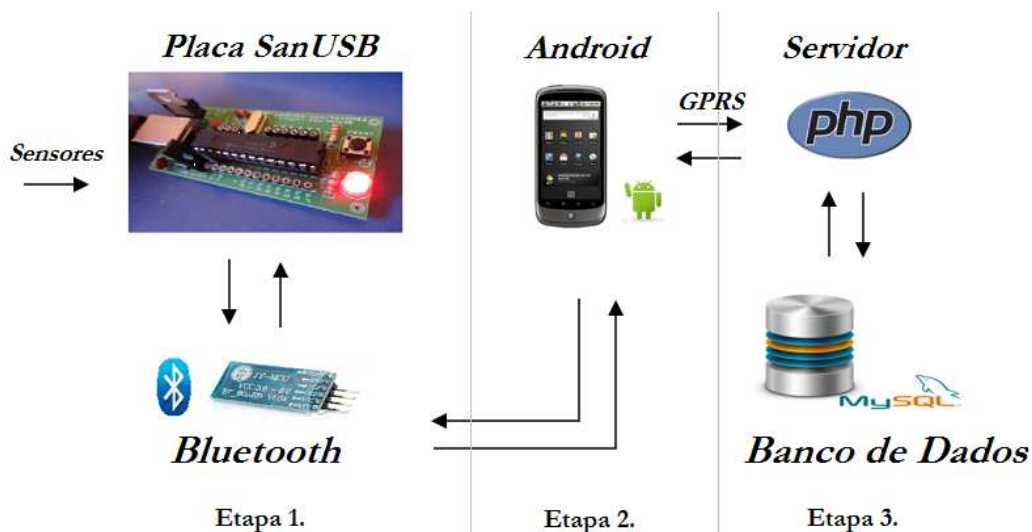


FIGURA 6 – Etapas do sistema de monitoramento em software livre.

A etapa de sensoriamento, condicionamento e aquisição de dados lê os dados dos sensores a cada minuto e os armazena em uma memória EEPROM interna. A cada dez minutos, é calculada a média de cada sensor e enviada, via *bluetooth*, para a etapa Android. O dispositivo Android (que pode ser um *smartphone* ou *tablet*), que também é alimentado por módulos FV através de uma bateria e um regulador de tensão, recebe os dados e os armazena em um banco de dados interno, SQLite, visando evitar a perda de dados. A cada minuto, o sistema verifica se há dados a serem enviados e, caso existam, faz uma tentativa de conexão GPRS ou WiFi com a *internet* para transmissão dos dados.

Quando o sistema recebe uma resposta positiva do servidor, indicando que os dados foram recebidos e armazenados no banco de dados remoto, o dispositivo Android apaga o registro na sua tabela local evitando assim que os dados sejam enviados novamente. Porém, o registro só é apagado do banco local quando receber uma confirmação do servidor de que os dados estão íntegros no banco remoto no servidor, que é o local onde os dados ficam armazenados de forma definitiva.

Foi desenvolvida uma interface de comunicação com o dispositivo Android e outra de comunicação com o usuário. A primeira interface é responsável por receber os dados via HTTP, armazená-los no banco de dados persistente MySQL e enviar uma confirmação ao Android. Já a interface com o usuário fornece um *front end* amigável que possibilita a visualização dos dados na forma de lista ou gráfico.

#### 4.1 Descrição Geral da Camada Intermediária - Android

O sistema desenvolvido nesta camada deve receber os dados via *bluetooth* da etapa anterior, armazená-los em um banco de dados local e, assim que possível, enviá-los à etapa seguinte. Para isso, foram desenvolvidos dois módulos, ilustrados na Figura 7, que funcionam de forma concomitante e em tempo real.

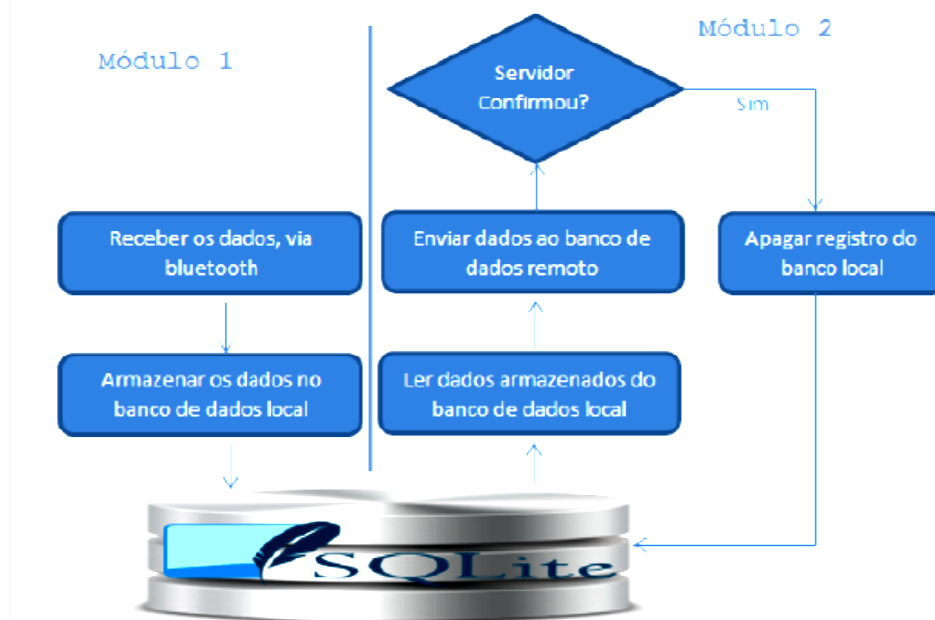


FIGURA 7 – Descrição do funcionamento do aplicativo Android.

O módulo 1 é responsável pela tarefa de aquisição e armazenamento dos dados, enquanto o módulo 2 faz a transmissão e atualização do banco de dados local SQLite, que pode ser visto como uma terceira camada do sistema, funcionando como interface de comunicação entre os dois módulos.

Caso o servidor não confirme o recebimento dos dados, não é realizada a atualização do banco local. Deste modo, os dados permanecem pendentes e, na próxima execução do módulo 2, que ocorre a cada minuto, estes ainda estarão na lista dos registros a serem enviados. Este processo confere ao sistema um alto nível de tolerância à falha de conexão com a internet.

#### 4.2 Protocolo de comunicação via *bluetooth*

O recebimento de dados via *Bluetooth* funciona de maneira assíncrona, pois não há uma revisão de quando a camada anterior irá enviar os dados. Sempre que ocorrer o evento de receber dados, estes são tratados imediatamente. Deste modo, quem define a frequência com que os dados são adquiridos é a primeira etapa do



projeto implementada no *firmware* do sistema de aquisição de dados microcontrolado. A interface entre o microcontrolador e o dispositivo Android é baseada em um protocolo de comunicação dado por:

1. A letra 's' seguida do número do sensor que está sendo enviado;
2. A letra 'v' seguida do valor lido pelo sensor.

Por exemplo, caso esteja se trabalhando com um sensor de tensão e um sensor de corrente: em um dado momento, é necessário enviar a informação: sensor de corrente: 1 A, sensor de tensão: 17 V. Para isso, pode-se convencionar que o sensor de tensão é o sensor 1 e o de corrente é o sensor 2. Sendo assim, a mensagem enviada ao dispositivo Android é: s1v17s2v1.

Neste protocolo foi utilizada uma rotina de correção de erro de comunicação. Caso a mensagem recebida tenha apenas um caractere, é descartada, pois trata-se de um fragmento de uma informação que está por vir. Caso a mensagem tenha mais de um caractere, mas não inicie por 's', considera-se que o 's' inicial da mensagem foi recebido e descartado anteriormente, e corrige-se a mensagem atual acrescentando o 's' que lhe falta.

Após receber e tratar a mensagem, a informação é salva no banco de dados local. Além do número do sensor e do valor da leitura, é armazenada também a data e hora do dispositivo Android para registrar o momento da leitura. Esta informação é extraída do próprio aparelho Android e não da placa microcontrolada; traz dois benefícios ao projeto: elimina a necessidade de comprar um relógio de tempo real (RTC) e reduz o tráfego de informações via *bluetooth*.

#### 4.3 Envio de dados ao servidor remoto

Paralelamente ao módulo *bluetooth*, há o funcionamento do módulo de envio de dados. Ao contrário do módulo anterior, que era acionado de maneira assíncrona condicionada ao recebimento de dados, este módulo é executado a cada minuto. Após verificar se há dados no banco local, indicando que ainda não foram enviados, o módulo tenta transmitir os dados e, caso receba uma confirmação do servidor, exclui os dados do banco local. A comunicação com o servidor é possível graças a uma interface desenvolvida em PHP que possibilita o envio de dados via HTTP. Esta interface recebe os dados, armazena-os no banco de dados remoto e envia ao dispositivo Android uma mensagem de confirmação do recebimento. Após receber essa confirmação, o sistema exclui do banco de dados local a informação recém-enviada.

O projeto propõe que a leitura seja feita a cada minuto. Por isso, foi definido que este serviço fosse executado a cada minuto. Assim, em uma situação de queda de conexão com a *internet*, haveria pelo menos uma tentativa de envio antes do recebimento dos dados seguintes. Isso evitaria que muitos registros ficassem acumulados no banco local.

#### 5.0 - SISTEMA DE MONITORAMENTO ONLINE

O Monitor WEB é uma aplicação web desenvolvida em um servidor *online* com a linguagem de programação PHP em conjunto com uma base de dados estruturada no SGBD (Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados) MySQL no intuito de servir como visualização do monitoramento dos dados (sinais de sensores) oriundos de fontes renováveis de energia, enviados através de uma comunicação sem fio (GPRS). A Figura 8 mostra a tela inicial do *site*.



FIGURA 8 - Página de autenticação do Monitor WEB.

Para acessar o sistema, é necessário digitar o endereço: <http://sanusb.site50.net/monitorWEB/index.php> e logo é exibida a página de autenticação do sistema. A página contém um formulário de autenticação (usuário e senha) para que apenas os usuários previamente cadastrados tenham acesso ao sistema.

Após a etapa de autenticação, o usuário é redirecionado para a página inicial do sistema, conforme Figura 9.



FIGURA 9 - Página inicial do Monitor WEB.

Ao clicar no Menu “Monitoramento” é exibido um gráfico (Figura 10), que apresenta os valores do sensor que está armazenado no banco de dados. Para criar gráficos foi utilizado o *highcharts*, ou seja, biblioteca de gráficos escritos em Java Script. A Figura 10 mostra o gráfico de tensão, em média por hora, gerada pelo painel FV no dia 19 de abril de 2013. Pode-se observar que o painel fornece uma média de 19,2 V em dia ensolarado em Fortaleza, de 6h às 16h. Como esperado, a tensão apresenta pouca variação neste período, oferecendo estabilidade às cargas: bomba e sistema de aquisição de dados, além de manter as baterias carregadas para o período noturno.

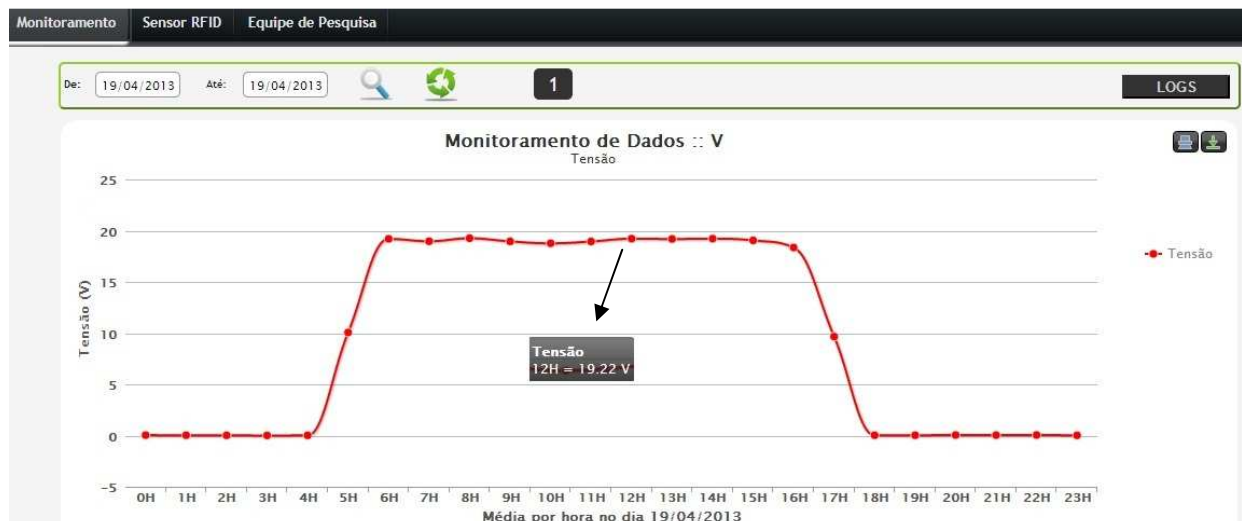


FIGURA 10 - Gráfico da tensão do painel FV utilizando a biblioteca *highcharts*.

Através do monitor WEB é possível consultar os dados armazenados no banco de dados *online* através de *smartphones* ou PCs. Considerando que o padrão *ethernet* é a solução mais utilizada atualmente em sistemas prioritários para interconectividade de redes (6), o custo de sistemas de monitoramento para microgeração em rede *wireless* com *software* livre tende a ser cada vez menor.

## 6.0 - CONCLUSÃO

O sistema de comunicação e de aquisição de dados proposto foi desenvolvido em *software* livre e em multiplataforma (Linux, Windows® e Mac OSX), no intuito de facilitar a difusão da ferramenta computacional desenvolvida entre diversos perfis de usuários. O *software* livre de monitoramento *online* proposto possibilita monitorar a planta de microgeração via *smartphones*, *tablets* ou outros dispositivos móveis com acesso à *internet*. Como estudo de caso para o sistema de monitoramento, foi utilizada uma planta de bombeamento de água acionada por painéis FV.

O sistema desenvolvido de monitoramento WEB e aquisição de dados de uma planta de microgeração mostrou-se eficaz devido à possibilidade de consulta *online* e em tempo real da operação da planta de bombeamento FV, apresentando um comportamento de acordo com o projeto. Entre as principais características, destacam-se a possibilidade de envio de dados via GSM/GPRS ou WiFi, o armazenamento em um banco de dados local do sistema operacional Android, como também o envio para o banco de dados de um servidor *online*. A utilização de ferramentas utilizando *softwares* livres para sistemas de supervisão e de banco de dados *online* aplicadas em microgeração permite uma maior acessibilidade aos usuários em geral. O modelo de monitoramento *online* e aquisição de dados proposto pode ser expandido para registrar dados de outros tipos de sensores analógicos ou digitais, bem como de outros tipos de plantas de microgeração utilizando fontes renováveis de energia.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) ANEEL - "Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012" <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>, Acesso em: 20 abril 2013.

(2) JUCÁ, S.C.S., CARVALHO, P.C.M., BRITO, F.T. A Low Cost Concept for Data Acquisition Systems Applied to Decentralized Renewable Energy Plants - Sensors, 11, 743-756, 2011.

(3) SEDRA, S. ADEL, SMITH, KENNETH C. Microeletrônica. São Paulo: Pearson Prattice Hall, 2007.

(4) GRUPO SANUSB. Ferramenta SanUSB. Disponível em: <http://www.tinyurl.com/SanUSB>. Disponível em: <<http://www.tinyurl.com/SanUSB>>. Acesso em: 21 abril 2013.

(5) JUCÁ, S.C.S., CARVALHO, P.C.M., PEREIRA, R.I. S., PETROV, D. HILLERINGMANN, U. Design and Implementation of a High Temperature Control Monitoring Applied to Micro Thermoelectric Generators - Renewable Energy & Power Quality Journal, 11, 425, 2013.

(6) LANGRAFE, E., FERRAZ, H.F., LOPES, E.V. Ethernet como Solução Confiável para o Segmento de Utilities – XXI SNPTEE, Florianópolis – SC, 2011.



## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Renata Imaculada Soares Pereira.** Nascida em Fortaleza - CE, em 27 de outubro de 1990. Técnica em Automação Industrial, graduada (2009) em Tecnologia em Manutenção Industrial pelo IFCE – Campus Maracanaú e Mestranda em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará, com ênfase em Sistemas de Aquisição de dados para Plantas Descentralizadas de Energias Renováveis e Microgeração. Os temas que pesquisa são: Fontes Renováveis de Energia, Sistemas Embarcados e Robótica Educacional.



**Paulo Cesar Marques de Carvalho.** Nascido em Fortaleza - CE, em 1963. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela UFC (1989), Mestrado em Engenharia Elétrica pela UFPB (1992) e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de *Paderborn*, Alemanha (1997). Desde 1998 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC. Tem atividades de ensino, pesquisa e extensão nos seguintes temas: geração fotovoltaica, geração eólica e biodigestores. Possui mais de 100 artigos científicos publicados a nível nacional e internacional. É co-autor dos livros “Geração Eólica”, “Geração de Energia Elétrica – Fundamentos” e “Métodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos: Aplicações em dessalinização”.



**Sandro César Silveira Jucá.** Brasileiro, nascido em Fortaleza (CE), em 1975. Graduiu-se em Tecnologia Mecatrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (CEFET-CE). Coursou também Licenciatura em Física e especialização em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). É mestre e doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (UFC), com bolsa de pesquisa do programa de doutorado-sanduíche do DAAD na Universidade de *Paderborn* (*Uni Paderborn*), entre abril de 2011 e março de 2012. Atualmente é professor e pesquisador da área de Telemática do IFCE - Campus Maracanaú. Entre os temas de pesquisa estão as áreas de Fontes Renováveis de Energia, Sistemas Embarcados e Robótica Educacional.



**Fausto Sampaio.** Brasileiro, nascido em Fortaleza – CE, em 14 de novembro de 1987. Pesquisador de Aplicações WEB e Sistemas Embarcados. Técnico (2007) em Desenvolvimento de Software, Técnico (2009) em Automação Industrial, Técnico (2010) em Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Maracanaú e Bacharelado em Ciência da Computação - IFCE. Bolsista de Iniciação Científica - Chamada CNPq /VALE S.A. – Forma – Engenharia, com o projeto intitulado SISTEMA DE MONITORAMENTO SEM FIO, SUPERVISÃO VIA WEB E TRANSMISSÃO GPRS APLICADOS A FONTES RENOVÁVEIS DESCENTRALIZADAS DE ENERGIA.