

SISTEMA DE SUPERVISÃO EM BAIXO CUSTO DE UMA PLANTA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA ACIONADA POR GERADOR EÓLICO

Fábio Timbó Brito – fabio@ifce.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Área da Indústria

Sandro César Silveira Jucá – sandrojuca@ifce.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Área da Indústria

Paulo César Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Renato W.R. Souza – renatowilliam21@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Área da Indústria

Resumo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema microcontrolado de aquisição e supervisão de dados aplicados a plantas de bombeamento de água acionada por gerador eólico. O sistema de aquisição é composto basicamente por um microcontrolador conectado a uma memória externa e um relógio em tempo real para transmitir dados para um computador via interface serial. Os dados são transmitidos pelo protocolo de comunicação Modbus do microcontrolador para um sistema de supervisão e, em seguida, armazenadas em um banco de dados. O programa está configurado para realizar coletas em tempo real da velocidade do vento, fluxo de água e tensão do gerador, permitindo a visualização de gráficos do sistema.

Palavras-chave: Energia Eólica, Bombeamento, Aquisição de Dados

1. INTRODUÇÃO

A rápida evolução das fontes de energia alternativas resultou na instalação de vários sistemas pelo mundo (Koutroulis, 2001). No entanto, esse esforço exige um conhecimento detalhado dos dados meteorológicos do local onde o sistema será instalado e os resultados operacionais a partir de outros sistemas semelhantes, se disponíveis. Muitos sistemas de aquisição de dados têm sido desenvolvidos no intuito de recolher e processar esses dados, bem como acompanhar o desempenho dos sistemas de energias alternativas em operação, a fim de avaliar o seu desempenho (Blaesser, 1997).

O monitoramento e aquisição de dados são imprescindíveis nos processos eficientes de geração de energia e aplicáveis em diversas etapas como, por exemplo, na comprovação prática dos 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 apresentam custo relativamente elevado (Jucá, 2009).

Os sistemas de monitoramento e aquisição de dados possibilitam mensurar a eficiência do sistema de geração, bem como aumentar a eficiência, tendo em vista que podem informar, em tempo real, os parâmetros de operação. Nesse contexto, o presente artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de supervisão e aquisição de dados microcontrolado de baixo custo com componentes eletrônicos obtidos no mercado brasileiro e empregado no processo de bombeamento eólico.

O resgate dos dados armazenados no sistema de supervisão e aquisição de dados é feito por um programa de aquisição de dados via USB através da emulação virtual de um canal serial EIA/RS-232. Através deste mesmo programa, é possível configurar e gravar as memórias do microcontrolador, a memória do relógio em tempo real (RTC) e a memória EEPROM externa onde os dados são armazenados. O sistema desenvolvido foi aplicado a uma planta de bombeamento que utiliza conversão de energia eólica em energia elétrica, no intuito de adquirir valores de velocidade do vento, tensão do gerador e vazão de água. É mostrado na Figura 1 o diagrama simplificado do sistema de aquisição de dados USB (*universal serial bus*).

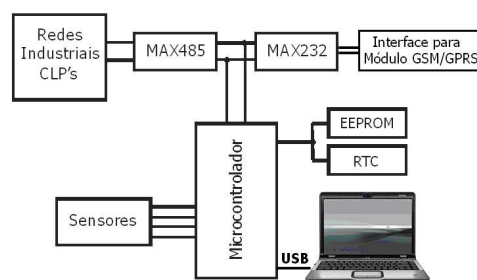


Figura 1- Diagrama simplificado do sistema de monitoramento e aquisição de dados USB.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA

2.1 Ferramenta SanUSB

A ferramenta SanUSB é um sistema composto por programa e circuito baseado no microcontrolador PIC18F2550 destinados ao desenvolvimento de sistemas embarcados. Marwedel (2003) define sistemas embarcados como sistemas que manipulam dados dentro de outro sistema, como é o caso do sistema proposto. Essa ferramenta computacional, com patente concedida pelo INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial) através do número 088503, pode suprimir os seguintes itens no desenvolvimento de sistemas embarcados: Um equipamento específico para gravação de um programa no microcontrolador, pois utiliza gravação da memória de programa *in circuit*; Conversor TTL - EIA/RS-232 para comunicação serial bidirecional emulado através do protocolo CDC (*communications devices class*); Fonte de alimentação própria, já que a alimentação do PIC provém da porta USB; Conversor analógico-digital (AD) externo, tendo em vista que dispõe internamente de 10 ADs de 10 bits; Programa de simulação, considerando que a simulação do programa e do *hardware* pode ser feita de forma rápida e eficaz no próprio circuito de desenvolvimento ou com uma matriz de contatos auxiliar (Grupo SanUSB,2010). Além de todas estas vantagens, alguns computadores atuais não apresentam mais interface de comunicação paralela e nem serial EIA/RS-232, somente USB.

A ferramenta SanUSB possibilita que a compilação, a gravação e a simulação real de um programa, ilustrada na Figura 2, como também a comunicação serial através da emulação de uma porta COM virtual, possam ser feitos de forma rápida e eficaz a partir do momento em que o microcontrolador esteja conectado diretamente a um computador via USB.

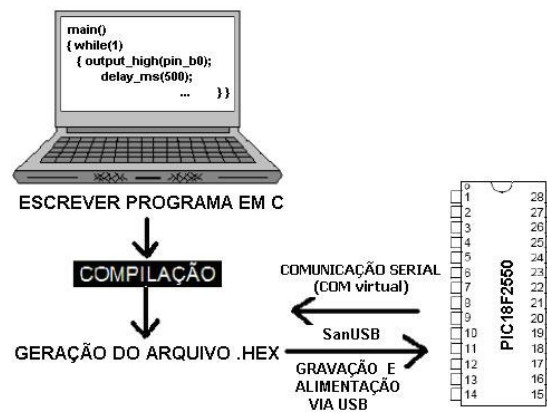


Figura 2- Diagrama simplificado do sistema de monitoramento e aquisição de dados USB

O PIC18F2550 contém 23 pinos de entrada e saída, 32 Kbytes de memória de programa e um contador de programa com 21 bits, além de ser um microcontrolador bastante difundido no mercado brasileiro. Assim, quando se trabalha com programas em linguagem C, com várias aplicações na função principal *main* ou na função de interrupção do temporizador, como é o caso deste sistema de aquisição de dados, é necessário utilizar um microcontrolador com esta capacidade.

É importante salientar que a fonte de alimentação da USB é utilizada pelo microcontrolador somente durante o desenvolvimento da lógica de programação. O sistema de aquisição de dados é autônomo, isto é, utiliza fonte de alimentação externa.

2.2 Interface I²C

I²C é a abreviação de *inter-integrated circuit*, ou seja, comunicação entre circuitos integrados. Este barramento serial foi desenvolvido com o objetivo de conectar circuitos integrados e dispositivos periféricos de diferentes fabricantes em um mesmo circuito utilizando o menor número de pinos possível. Entre os dispositivos, pode-se citar: microcontroladores, memórias externas e relógio em tempo real. Ele utiliza comunicação síncrona através duas linhas de transmissão: uma linha serial de dados (SDA) e uma de clock (SCL).

O protocolo de comunicação I²C é bastante difundido e geralmente é implementado no hardware dos dispositivos. Para obter maior controle sobre o gerenciamento das conexões entre os dispositivos do sistema, neste projeto foi utilizada uma implementação do protocolo via software. Dessa forma, o programador pode escolher os pinos do microcontrolador dedicados para dados (SDA) e para o clock (SCL).

2.3 Memória EEPROM externa

A maioria dos modelos da família PIC apresenta memória EEPROM (*electrically erasable programmable read-only memory*) interna, com capacidade de armazenamento de 256 bytes. Em algumas aplicações, a EEPROM interna é ideal para guardar parâmetros de inicialização ou reter valores medidos durante uma determinada operação de sensoriamento. Entretanto, para um sistema de aquisição de dados é necessária uma EEPROM externa cuja capacidade é determinada em função do número de sensores e do período de armazenamento dos dados. Neste protótipo, optou-se pelo modelo de memória 24C256 a qual disponibiliza 256 Kbits, ou seja, 32 Kbytes de armazenamento e interface de comunicação I²C (Jucá, 2008). O Esquema de ligação entre os dispositivos que utilizam a interface I²C no sistema de aquisição de dados é mostrado na Figura 3.

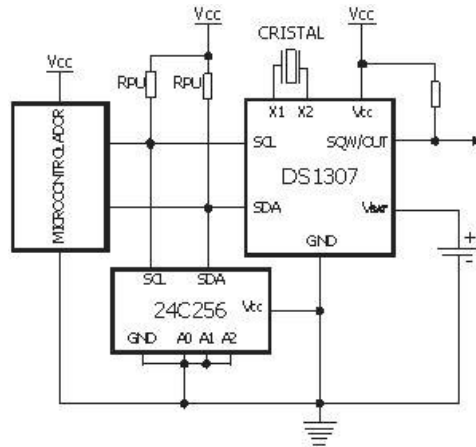


Figura 3- Esquema de ligação de dispositivos que utilizam a interface I²C

O protocolo I²C foi implementado para comunicação entre o microcontrolador, a memória EEPROM externa e o RTC. Dessa forma, o programador pode escolher os pinos do microcontrolador dedicados para dados (SDA) e para clock (SCL).

2.4 Protocolo de comunicação serial em tempo real

A coleta de dados em tempo real do microcontrolador tem o objetivo de transmissão de dados para um banco de dados local ou transmissão pela internet. Para este tipo de comunicação foi utilizado o protocolo livre Modbus. O protocolo Modbus foi desenvolvido pela *Modicon Industrial Automation Systems* para comunicar um dispositivo mestre com outros dispositivos escravos. Embora seja utilizado normalmente sobre conexões seriais padrão EIA/RS- 232 e EIA/RS-485, podendo ser usado como um protocolo da camada de aplicação de redes industriais tais como TCP/IP sobre Ethernet. Além disso, o protocolo Modbus permite a utilização de ferramentas de desenvolvimento gratuitas e possibilidade de programação da memória de programa sem necessidade de hardware adicional, bastando uma porta USB. O protocolo Modbus está utilizando o canal serial virtual emulado sobre o barramento USB. Este protocolo é baseado no modelo de comunicação mestre escravo, onde um único dispositivo, o mestre, executa transações denominadas *queries*. Os demais dispositivos respondem, suprimindo os dados requisitados pelo mestre. O ciclo de pergunta-resposta do protocolo Modbus é mostrado na figura 4

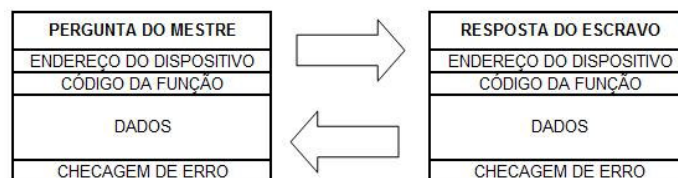


Figura 4- Ciclo de pergunta e resposta do protocolo Modbus

O microcomputador interligado pela USB é o mestre do protocolo Modbus enquanto que o microcontrolador é o escravo que fornece informações dos sensores. Com o objetivo de aumentar o número de dados possíveis de serem coletados pelo sistema utilizando um único microcontrolador, foram criados diversos escravos virtuais que respondem a requisição do mestre em endereços diferentes, mas correspondem a um único microcontrolador.

2.5 Protocolo de comunicação serial para coleta de dados armazenados em EEPROM

Com o intuito de manipular e verificar o estado dos dispositivos externos e internos ao sistema de aquisição de dados, foi desenvolvido um protocolo serial para a comunicação entre o programa de monitoramento e aquisição do sistema e o microcontrolador por meio de um canal serial virtual emulado pela USB. Após o endereço do sistema embarcado de aquisição (A), da função desejada e da posição de memória, o usuário ou o programa de monitoramento deve inserir os dígitos X (0 a 9) necessários para as funções mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Funções para manipulação e verificação serial dos dispositivos do sistema de aquisição de dados.

ENDEREÇO	FUNÇÃO	POSIÇÃO DE MEMÓRIA	VALOR	RESULTADOS EEPROM EXTERNA E RTC
A	4	S (Segundo) M (Minuto) H (Hora) D (Dia) N (Mês) Y (Ano)	X	Escrita na variável do relógio RTC com valor XX
A	5	-	-	Leitura das variáveis do relógio RTC
A	6	DD	S	Leitura do Buffer do sensor S no dia DD

2.6 Construção do sistema de supervisão e aquisição de dados

O sistema é idealizado com o intuito de desenvolver um sistema de aquisição de dados de baixo custo com redundância contra falhas e interface de comunicação com computadores e controladores lógico-programáveis (CLP). Caso o sensor seja do tipo digital, os eventos são registrados, quando o pino do microcontrolador, conectados ao sensor é aterrado. Assim, um registro é incrementado na memória de dados do microcontrolador. Caso o sensor seja do tipo analógico como o sistema proposto, é feita uma conversão analógico-digital com resolução de até 5mV. Em intervalos de tempo pré-determinados, o microcontrolador armazena a leitura dos sensores na memória EEPROM externa pelo barramento I²C. A cada segundo o microcontrolador realiza uma leitura do relógio RTC pelo barramento I²C, por intermédio da interrupção do timer interno, verificando a data (dia, mês e ano) e o horário (segundo, minuto e hora). Caso o tempo lido seja igual ao configurado pelo programador para armazenamento dos dados, o microcontrolador grava o valor indicado pelos sensores na memória EEPROM externa, a qual é dividida para o armazenamento das variáveis de cada sensor.

A placa de circuito impresso (PCB) do sistema de aquisição foi construída com dimensões de 13 x 9 cm utilizando componentes de baixo custo e disponíveis no mercado brasileiro. O desenho da placa de circuito impresso é ilustrado na Figura 5.

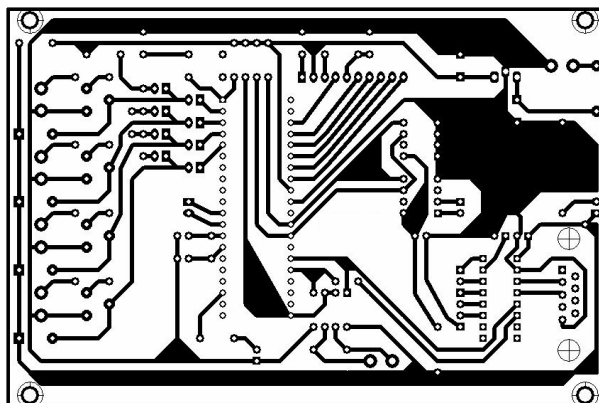


Figura 5 - Placa de circuito impresso do sistema de monitoração e aquisição de dados

Os dados do relógio RTC podem ser modificados e visualizados a qualquer momento. Pode-se também ser visualizados os valores de qualquer posição da memória externa de armazenamento dos valores de tensão e pressão.

Para segurança contra a perda de referência e de dados digitais armazenados na RAM do microcontrolador, por exemplo, por uma eventual falta de tensão no circuito, o programa do microcontrolador dispõe de uma estratégia a qual resgata o valor armazenado na última posição da memória EEPROM interna e armazena na variável do sensor na RAM. Isto é feito gravando, em outra posição da EEPROM interna, o valor de um ponteiro que aponta para o último valor armazenado do sensor na EEPROM interna, a qual funciona como um buffer de segurança que guarda os últimos quatro valores de cada sensor em um período estipulado pelo programador. Assim, caso ocorra algum problema no processamento, o microcontrolador, após o reinício, verifica o valor da posição guardada no ponteiro, resgata o último valor armazenado na EEPROM interna e grava na RAM, evitando a perda completa dos dados analógicos acumulados. Figura 6 apresenta sistema de monitoramento e aquisição de dados desenvolvido na presente pesquisa.

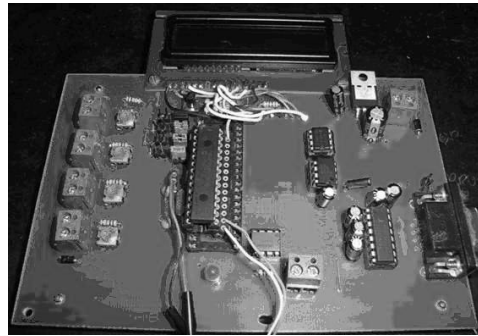


Figura 6- Sistema de monitoramento e aquisição de dados

2.7 Sistema de aquisição e supervisão de dados em tempo real

Sistemas SCADA (*supervisory control and data acquisition*) englobam um conjunto de tecnologias especialmente desenvolvidas para monitorar e controlar processos industriais. Os programas SCADA típicos costumam oferecer uma comunicação eficiente com diversos equipamentos através de diversos protocolos de comunicação além de permitir o registro de eventos, alarmes e integração com programas externos. Os programas livres, também conhecidos como programa open source, permitem uma série de vantagens em relações aos programas proprietários. Entre as vantagens do programa livre está a facilidade de estudo ou modificação do código fonte, no qual é distribuído gratuitamente (Rocha, 2009). Com base nos conceitos de SCADA e programa livre foi adotado para comunicação com o microcontrolador para acesso dos dados em tempo real o programa Mango (Serotonin, 2010), de código aberto, o qual oferece as seguintes características principais:

- Baseado em Browser;
- Interface em que fontes de dados podem ser configuradas, oferecendo gerenciamento de acesso de usuários, alertas e registros de dados de automação;
- Definição ilimitada de critérios para eventos (limites máximos e mínimos, variações, contagem de alteração de estado, tempo de execução);
- Operações com os principais protocolos de comunicação (Modbus, SNMP, SQL, HTTP, POP3).

Utilizando o protocolo ETHERNET de comunicação, os dados dos sensores da planta de bombeamento eólico podem ser transmitidos pelo microcomputador remoto para um banco de dados utilizando instruções PHP em um banco de dados MYSQL. A partir da gravação no banco de dados permite-se o acesso aos dados através de uma página da WEB e a supervisão em tempo real dos dados dos sensores. Os protocolos de comunicação em tempo real são mostrados na figura 7.

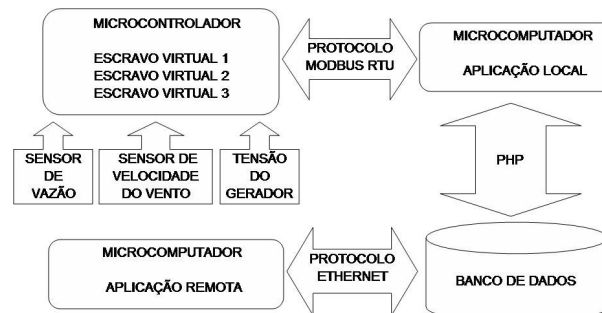


Figura 7- Protocolos de comunicação em tempo real utilizados no sistema de supervisão

3.0 Implementação do sistema de supervisão e aquisição de dados de baixo custo

Em áreas remotas ou ilhas onde a rede elétrica não é acessível, predominam os geradores diesel que possuem desvantagens como a poluição do ar e custos de transporte de combustíveis. O sistema eólico de bombeamento surge como uma alternativa para aplicações de bombeamento para abastecimento de água principalmente em regiões áridas como a região Nordeste do Brasil. Dessa forma, foi desenvolvido um sistema de supervisão e aquisição de dados de baixo custo para bombeamento eólico, considerando as variáveis de velocidade do vento, vazão de água e tensão do gerador eólico em uma planta de bombeamento sem baterias, instalada no Laboratório de Energias Alternativas (LEA), dentro do Campus do Pici na Universidade Federal do Ceará – UFC.

3.1 Planta de bombeamento eólico

O sistema de bombeamento eólico é composto de um poço para fornecimento de água através de uma bomba centrífuga acoplada a um motor de indução trifásico de 0,5 CV, ilustrada na figura 8.



Figura 8 – Conjunto motor – bomba centrífuga e sensores alimentados pelo sistema de energia eólica

O gerador eólico possui uma potência nominal de 1000 W para uma velocidade do vento de 13 m/s. A energia elétrica do gerador eólico é transmitida a um sistema de controlador de tensão para impedir que o motor da bomba opere em um limite muito baixo de frequência. A partir de 37 Hz o controlador permite que a bomba seja ligada e a caixa de água seja abastecida. O quadro de medição e controle possui um inversor de frequência para acionamento manual do motor e um analisador de energia para coleta de dados da qualidade da energia gerada. O diagrama completo do projeto elétrico da bomba é mostrado na figura 9:

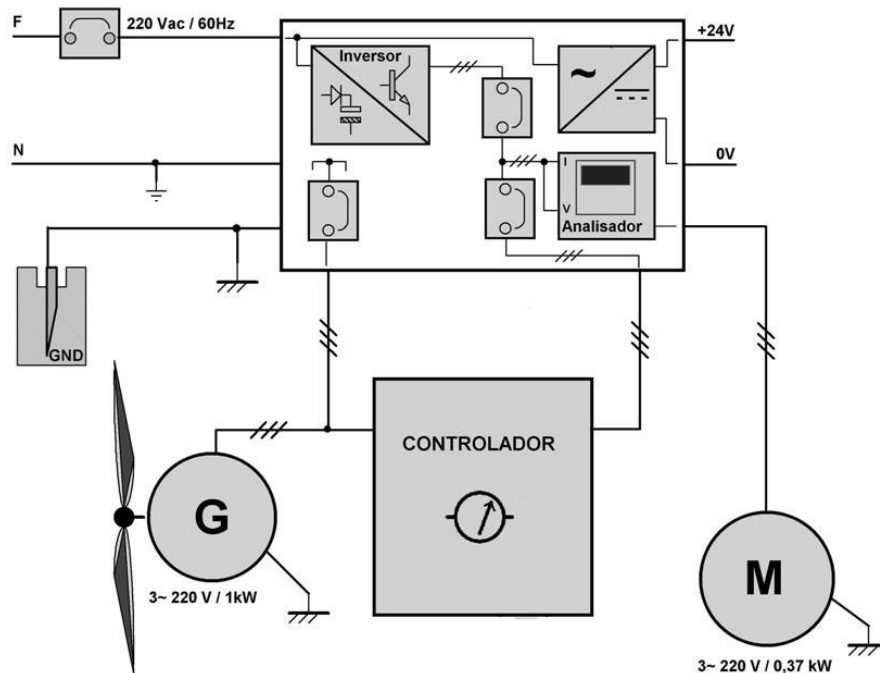


Figura 9 – Diagrama elétrico do sistema de bombeamento eólico

A Figura 10 apresenta gerador eólico e anemômetro utilizados na presente pesquisa.



Figura 10 – Gerador eólico e anemômetro

3.2 Análise dos dados coletados

Os dados coletados dos sensores de vazão, velocidade do vento e tensão do motor foram armazenados em um banco de dados local para posterior análise. O banco de dados é composto de duas tabelas com 45 colunas e 144 linhas. A amostragem de coleta de dados de supervisão é a cada 10 minutos, armazenando 144 valores por dia. O número máximo foi definido como 45 dias sendo reiniciado com comandos SQL, que podem ser digitados diretamente no sistema de supervisão. Novas variáveis podem ser adicionadas a partir da criação de novas tabelas no banco de dados, permitindo total flexibilidade para instalação de novos sensores para supervisão da planta de bombeamento eólico. Os principais dispositivos da planta foram representados na tela principal do sistema de supervisão mostrado na figura 11.

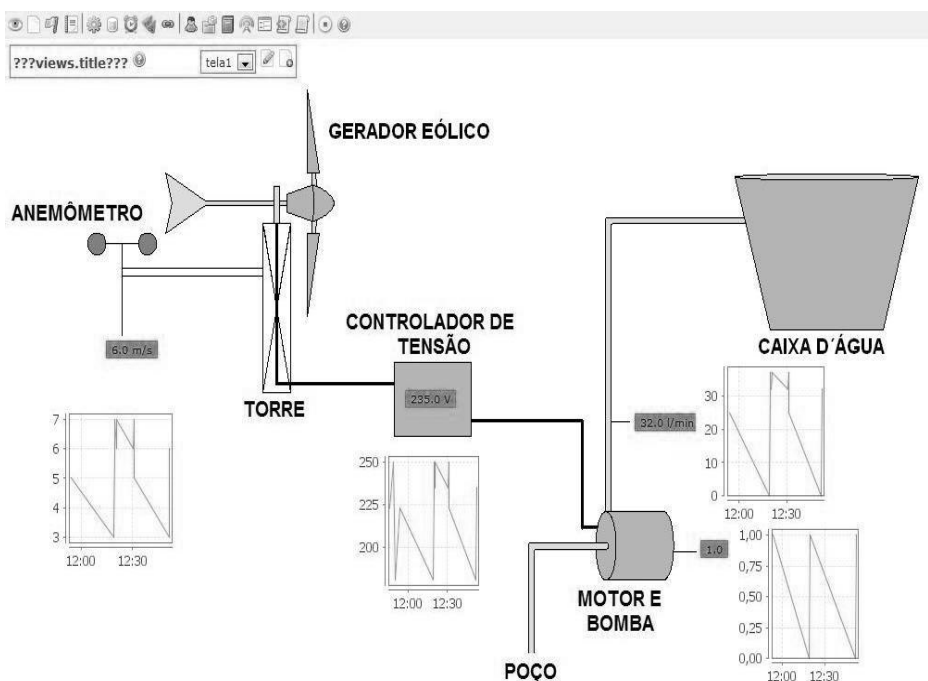


Figura 11 – Tela do sistema de supervisão e coleta de dados através de programa de código aberto

Após a gravação dos dados dos sensores no servidor de banco de dados os valores são transferidos para arquivos individuais. Os dados coletados constituem o material de análise da eficiência energética do sistema e de parâmetros de manutenção da planta como horas paradas devido à ocorrência de manutenção preventiva ou eventuais manutenções corretivas no sistema.

Os dados de velocidade do vento coletados de 10 em 10 minutos durante o período de um dia são mostrados na figura 12.

Velocidade do Vento (25/02/2010)

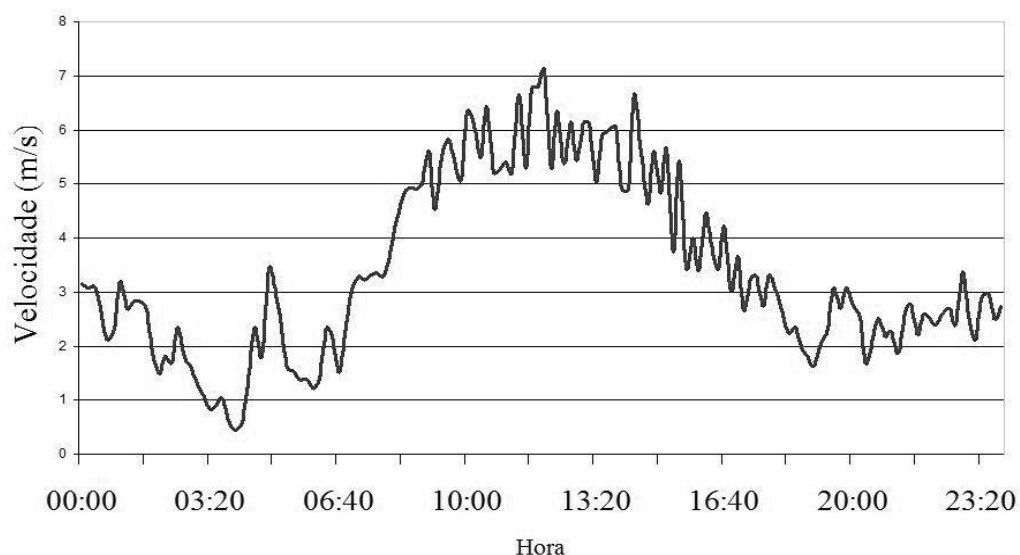


Figura 12 – Dados de velocidade do vento coletados pelo sistema de supervisão

O sistema de supervisão é capaz de fazer amostragens em tempos menores de dez minutos e também realizar uma comparação entre variáveis para justificar a utilização do projeto em um determinado local para bombeamento de água para uma caixa de água. Através da programação de leituras de minuto em minuto foi possível construir o gráfico da figura 13 que mostra a relação entre a velocidade do vento e a rotação do motor através de um tacômetro.

Observa-se na figura 13 que o controlador permite o acionamento do motor apenas quando um valor limite mínimo de velocidade de vento é atingido.

Velocidade do Vento e Rotação do Motor (05/01/2010)

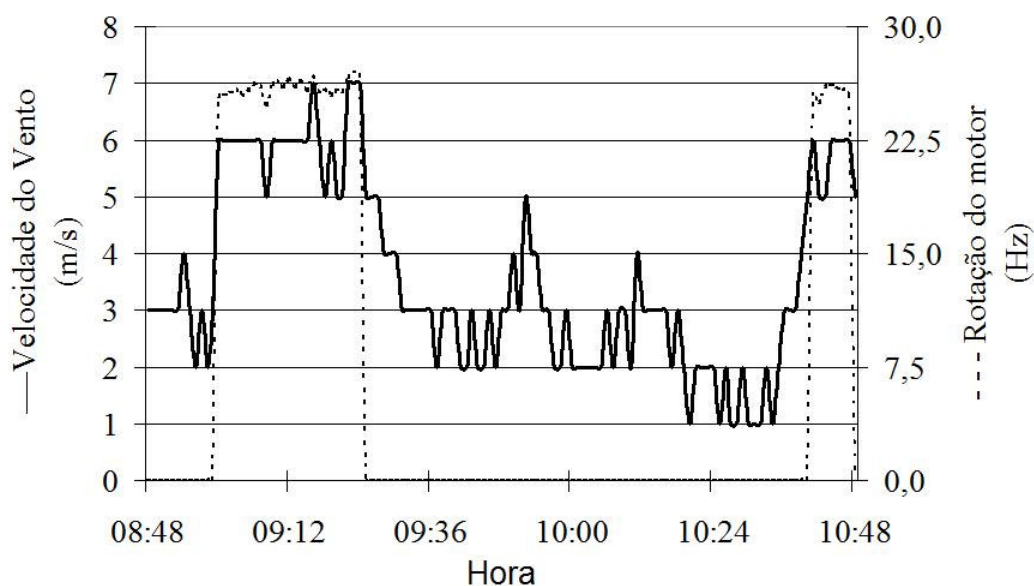


Figura 13 – Dados de velocidade do vento e rotação do motor

Devido às variações na velocidade do vento, para construir um gráfico de vazão de água por unidade de pressão no recalque da bomba foi utilizado um inversor para variar a frequência do motor e como consequência variar a vazão da bomba e compará-la com a pressão de saída. Através do sistema de aquisição de dados proposto foi possível a construção do gráfico da figura 14.

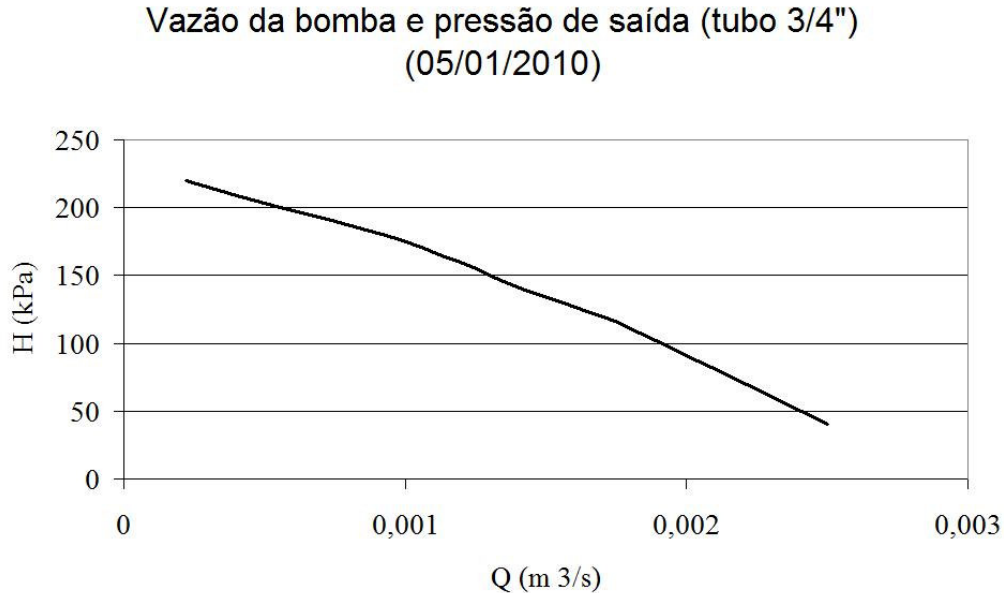


Figura 14 – Curva vazão e pressão de recalque do sistema de bombeamento eólico

O gráfico da figura 14 pode ser aproximado pela Eq. (1), onde H é a pressão de recalque do sistema de bombeamento em kPa e Q representa a vazão da bomba em m^3/s :

$$H = -1.10^{-7} \cdot Q^2 - 43023 \cdot Q + 229,47 \quad (1)$$

4.0 Conclusão

O sistema de monitoramento e aquisição de dados, desenvolvido no presente artigo para plantas de bombeamento de água acionada por gerador eólico, mostrou-se eficaz devido aos resultados durante a operação da planta, apresentando um comportamento de acordo com o projeto. Entre as principais características, destacam-se o armazenamento de dados relacionados com a data e o horário da leitura em uma memória não volátil, a possibilidade da utilização da comunicação via serial no padrão EIA/RS-485 para aplicações em redes industriais e com controladores lógico-programáveis, além da comunicação no padrão EIA/RS-232, que pode ser utilizada como interface para módulos GSM/GPRS para transmissão dos dados em rede sem fio.

A configuração e gravação das memórias do sistema de aquisição de dados, entre elas, a RAM do microcontrolador, a RAM do relógio em tempo real (RTC), a EEPROM interna e a EEPROM externa foram testadas através de comandos simples pela USB através da emulação de uma COM virtual serial e não apresentaram erros. Além disso, a memória de programa do microcontrolador apresentou a facilidade de gravação de forma simples e direta pela USB utilizando a ferramenta SanUSB. Uma das grandes vantagens deste sistema, além da eficácia e confiabilidade, está na utilização de componentes de custo relativamente baixo e de fácil disponibilidade no mercado brasileiro.

O programa de supervisão está sendo incrementado para possibilitar a modelagem visual da planta de bombeamento eólico, armazenamento em um banco de dados e visualização em tempo real dos dados do sistema. A utilização de sistemas de supervisão e de banco de dados com a utilização de programas livres, também permitiu uma série de vantagens em relação aos programas proprietários, garantindo a total flexibilidade com o uso de protocolos abertos utilizados em sistemas de automação, como por exemplo, o protocolo Modbus.

O modelo de monitoramento e aquisição de dados proposto no presente artigo pode ser expandido para registrar dados de outros tipos de sensores analógicos ou digitais, bem como de outras plantas de bombeamento de água acionadas por gerador eólico que necessitem de supervisão em tempo real para garantir a total eficiência e a supervisão do sistema.

Agradecimentos

Os autores do artigo agradecem ao CNPq pelo financiamento da presente pesquisa, ao LAESE (Laboratório de Estudos em Sistemas Embarcados) do IFCE e ao LEA (Laboratório de Energias Alternativas) do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC.

REFERÊNCIAS

- Blaesser, Gand (1997). PV system measurements and monitoring: the European experience. *Solar Energy Mater. Solar Cells* 47 pp. 167–176.
- Grupo SanUSB (2008). Arquivos do Grupo SanUSB (2010) [homepage na Internet]. Disponível em: <http://br.groups.yahoo.com/group/GrupoSanUSB/>
- Jucá, S. and Cavalcante, T. and Carvalho, P (2008). Simlogger: Sistema de aquisição de dados microcontrolado de baixo custo. *Congresso Brasileiro de Automática (CBA 2008)*, 40837.
- Jucá, S. and Carvalho, P. and Brito, F. (2009). Sistema de supervisão e aquisição de dados aplicado a bombeamento fotovoltaico. *Revista perspectivas da ciência e tecnologia*, vol. 1, pp. 23-26.
- Koutroulious, E and Kalaitzakis, K (2003). Development of an integrated data-acquisition system for renewable energy sources systems monitoring – *Renewable Energy – Issue 1*
- Marwedel, P. (2003) *Embedded System Design*, Dortmund, Ed. Kluwer Academic Publishers, p. 23.
- Rocha, V. (2009) Projeto MCT -FINEP/SEBRAE ScadaBR - Software Livre para Supervisão e Controle.
- Serotonin Software Technologies Inc. (2010) [homepage na Internet]. Disponível em: <http://mango.serotoninsoftware.com>

LOW COST SUPERVISION SYSTEM OF A WATER PUMPING PLANT POWERED BY WIND POWER GENERATOR

Abstract. *This paper presents the development of a microcontrolled data acquisition and supervision system applied to a water pumping plant powered by wind power generator. The acquisition system is composed basically of a microcontroller connected to an external memory and a real-time clock to transmit data to a computer via serial interface. Data is transmitted by the Modbus communication protocol from microcontroller to a supervisory system and then stored in a database. The software is configured to acquire in real-time samplings of wind speed, water flow and wind power generator voltage and to allow the system graphs visualization.*

Keywords: *Wind Power, Pumping, Data Acquisition*