

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA AQUECEDORES SOLARES

Flavio Lori Grando – flavio.grando.eng@gmail.com

Gustavo Weber Denardin – gustavo.denardin@gmail.com

Mariana Machado – marimachad@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Nerí Santos de Vargas – neridevargas@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Física

Resumo. Este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de monitoramento e aquisição de dados em tempo real das variáveis físicas que influenciam na eficiência térmica de aquecedores solares planos. O sistema de aquisição consiste em fazer o condicionamento dos sinais provenientes de nove sensores que monitoram fenômenos de radiação solar, vazão d'água, velocidade do vento e diferentes temperaturas. Por meio de uma placa de aquisição, os sinais são aferidos e as informações são transferidas para um computador, sendo gerenciadas através de um programa desenvolvido em ambiente LabVIEW. Para isso desenvolveu-se um aplicativo capaz de ler os dados, processá-los, exibi-los ao usuário em tempo real e armazená-los no computador durante um longo período de tempo, possibilitando que o sistema de aquisição seja utilizado para estudos de eficiência de aquecedores solares planos. São mostradas as soluções adotadas processo de sensoreamento qual compreendem nos transdutores, sensores e equipamentos de medição. Também são apresentados hardware e software utilizado para aquisição dos sinais e gerenciamento dos dados. Finalmente são mostrados os resultados de medição entre dois sistemas de aquecimento de baixo custo durante um dia de monitoramento.

Palavras-chave: Aquisição de dados, aquecedor solar, monitoramento de aquecedores solares.

1. INTRODUÇÃO

O Sol fornece anualmente para a atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia (Cresesb, 2008). Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período (Cresesb, 2004). Além disso, o Brasil possui a maior parte do seu território localizada em uma região intertropical, conferindo-lhe um grande potencial de aproveitamento de energia solar durante todo ano (Tiba, 2000). Um grande estímulo para explorar de diversas formas esta abundante fonte natural de energia.

Dessa forma, por volta da década de 70, surgiu o conceito do aproveitamento da energia solar para o aquecimento de água. Com a utilização de aquecedores solares para esse fim os usuários são beneficiados com a redução do valor da fatura de energia elétrica ou gás, que são as principais fontes de aquecimento.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), publicado pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, o investimento inicial é a principal barreira para a adoção em larga escala do sistema de aquecimento solar. Assim surgem sistemas alternativos de aquecimento de água, como o Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC) proposto pela ONG Sociedade do Sol (2015), projeto que conta com a cooperação de diversas organizações pelo país.

O ASBC constitui-se de placas de ferro de PVC modular onde sua superfície é pintada de cor preta fosca para melhor absorção do calor e em suas extremidades é conectado o tubo de PVC comum. As placas são alveoladas, permitindo o fluxo de água pelo seu interior, dessa forma, sendo expostas ao sol aquecem a água ali armazenada.

Uma das organizações que apoia este projeto é o Grupo de Pesquisa em Energias Renováveis da UTFPR – Campus Pato Branco, qual tem por objetivo estudar e disseminar o uso de tecnologias sustentáveis na geração e utilização de energia. O projeto de pesquisa de Aquecedores Solares de Baixo Custo, conta com o apoio do MEC por meio do PROEXT em duas edições. Uma das atividades a ser desenvolvida tem por objetivo a obtenção de certificação dos produtos para utilização em programas habitacionais populares. Dessa forma, este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para monitorar o funcionamento do ASBC, bem como de outros aquecedores solares planos e consequente determinação da eficiência térmica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método de análise de eficiência utilizado para como base para o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados, baseia-se nas energias envolvidas no processo de aquecimento do fluido de trabalho como demonstra a Fig. 1, onde \dot{m}_e , h_e e T_e representam a vazão mássica, a entalpia e a temperatura de entrada do fluido no coletor. De maneira análoga, \dot{m}_s , h_s , e T_s representam as mesmas variáveis, porém na saída do coletor. Por fim, Q_u representa a energia proveniente do sol que é absorvida pelo coletor.

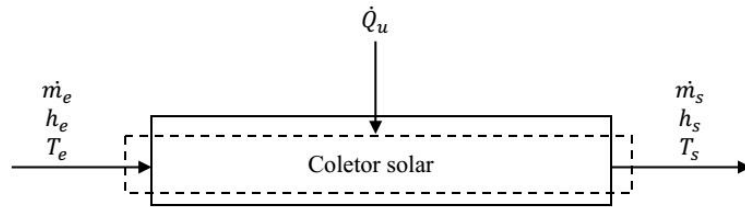


Figura 1- Representação de um coletor solar plano e grandezas envolvidas.

Aplicando a primeira lei da termodinâmica no volume de controle indicado pela linha tracejada na Fig. 1 e considerando calores específicos constantes, obtêm-se a Eq. (1):

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (T_s - T_e), \quad (1)$$

onde c_p representa o calor específico à pressão constante. Portanto, a eficiência do coletor solar plano é definida como a relação entre a energia útil ganha pelo coletor e a radiação incidente no seu plano, isto é:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot G} = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_s - T_e)}{A_c \cdot G}, \quad (2)$$

onde A_c é a área do coletor e G é radiação solar incidente. Dessa forma, para determinação da eficiência térmica de coletores planos é necessário à medição da temperatura de entrada e saída do coletor, vazão mássica da água que circula no sistema e radiação solar incidente no plano coletor. Adicionalmente, devido trocas de calor entre o sistema e o ambiente externo, também é importante obter informações sobre a temperatura ambiente e velocidade do vento, visto que estes tem influência no rendimento de aquecedores solares, principalmente sem cobertura.

As informações supracitadas devem ser obtidas periodicamente em intervalos curtos de tempo (minutos ou segundos) durante longos períodos de monitoramento, como horas ou dias. Isso impede o uso de equipamentos tradicionais de medição e inviabiliza o registro manual das medidas. Com isso faz-se necessário a utilização de um sistema automático que colete e armazene os dados desejados. A aquisição de dados (DAQ) é o processo pelo qual um fenômeno físico é transformado em um sinal elétrico proporcional e convertido em formato digital, sendo processado, analisado e armazenado através do uso de um computador. Todo processo de aquisição de dados é formado por blocos funcionais básicos, sendo eles: sensores ou transdutores, condicionamento de sinais, hardware de medição e um computador com software programável como ilustra a Fig. 2 (Serrano, 2004). O sistema de aquisição desenvolvido é baseado nessa estrutura genérica. Cada etapa deste processo é apresentada na próxima seção.

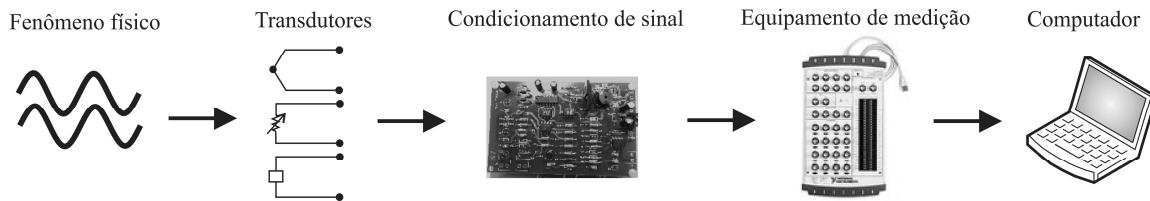


Figura2 - Diagrama funcional de um sistema de aquisição de dados genérico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para as aferições necessárias são utilizados transdutores, sensores e equipamentos de medição. A Tab. 1 apresenta os dispositivos selecionados para cada tipo de medição, de acordo com sua função.

Tabela 1 – Dispositivos de instrumentação para as grandezas envolvidas.

DISPOSITIVO	FUNÇÃO DE MEDIÇÃO	QUANTIDADE
Piranômetro	Radiação solar	1
Anemômetro	Velocidade do vento	1
Termoresistência	Temperatura da água	4
LM35	Temperatura ambiente	1
Fluxímetro	Vazão d'água	2

Os instrumentos de medição foram instalados em um arranjo experimental composto por 2 sistemas termosifão idênticos, o que permite testes comparativos entre 2 coletores por vez. A Fig. 3 apresenta a localização dos dispositivos no arranjo experimental. O piranômetro, utilizado para medição de radiação solar é fixado no mesmo plano dos coletores. Já o anemômetro, é instalado no plano horizontal através de um suporte. Os medidores de vazão são instalados em série com o encanamento, na saída dos coletores. Um sensor de temperatura LM35 realiza a medição da temperatura ambiente abaixo do arranjo experimental. Finalmente, as 4 termorresistências extraem a temperatura da água nas entradas e saídas dos coletores.

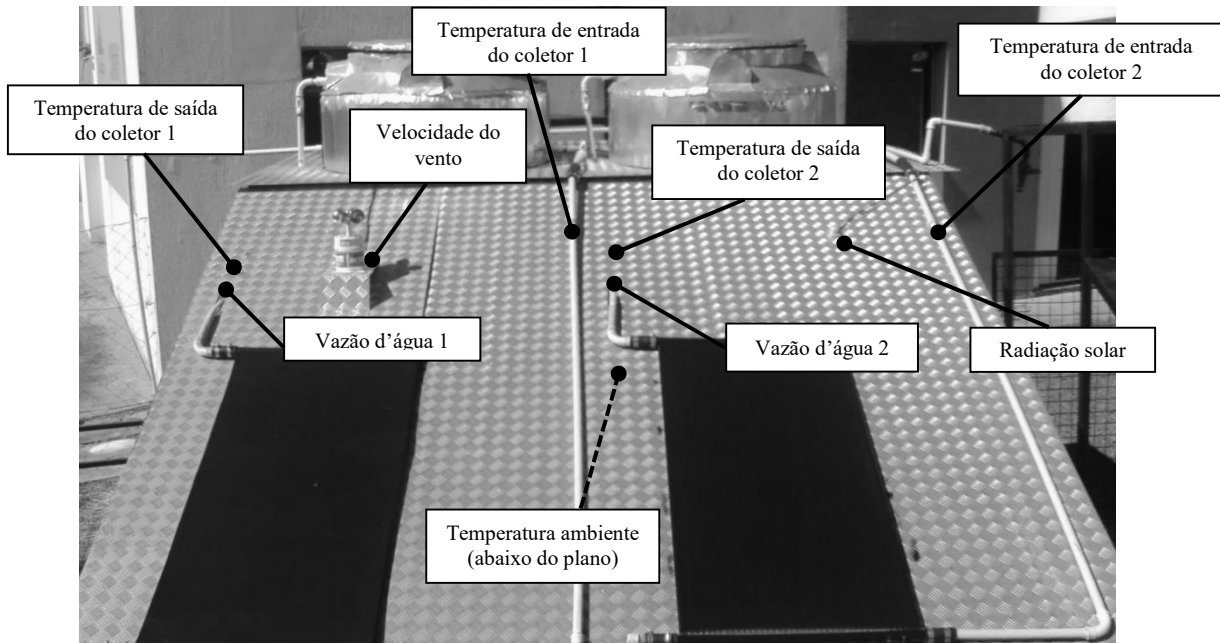


Figura 3 – Arranjo experimental do Laboratório de Energias Renováveis da UTFPR.

Os sinais dos sensores seguem através de cabos blindados dentro de eletrodutos subterrâneos a uma distância de 14 m até o laboratório. No laboratório, a placa de aquisição de sinais é utilizada para medição dos sinais elétricos provenientes dos sensores. A placa é conectada a um computador utilizado para o gerenciamento e armazenamento das informações coletadas.

3.1 Arquitetura de hardware

O piranômetro utilizado no sistema é o modelo SPLite do fabricante *Kipp & Zonen*. Este piranômetro utiliza um detector de fotodiodo para criar uma saída de tensão proporcional à radiação de entrada. Sua sensibilidade é proporcional ao cosseno do ângulo de incidência da radiação, permitindo assim medições precisas e consistentes (Kipp & Zonen, 2012). Este equipamento não necessita alimentação e é calibrado de fábrica, fornecendo como saída um sinal de tensão de baixa intensidade proporcional a radiação solar.

O Anemômetro utilizado no projeto é o modelo M3 da Meteor Instruments, qual possui um conjunto de 4 conchas que gira em velocidade angular proporcional à velocidade do vento. A saída corresponde a um sinal analógico de frequência variável proporcional a velocidade do vento. Com isso, a informação pode ser obtida através de uma contagem de pulsos por segundo ou, se é desejável aumentar a resolução da medição, pode ser realizado a medição da largura dos pulsos (Meteor, 2009).

As termorresistências utilizadas são do tipo PT100. O PT100 recebe este nome pela característica de possuir a resistência de 100 Ω a 0 °C. É fabricado com fio ou filme fino de platina com 99,99 % de pureza, selado hermeticamente dentro de uma cápsula cerâmica ou de vidro, tornando-o ideal para medição de temperatura imerso em água. De modo a obter um sinal elétrico em função da variação de temperatura, é aplicada uma corrente de valor fixo na termorresistência, assim considerando a Lei de Ohm, a variação de tensão na termorresistência é proporcional à variação de resistência e consequentemente da temperatura. A fim de evitar o aquecimento do sensor por efeito joule, a corrente utilizada é de 1 mA (Salcas, 2012).

O LM35 é um sensor de precisão que apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura com uma variação de 10 mV/°C permitindo leituras em uma faixa de temperatura de -55 °C à 150 °C, com 0,25 °C de incerteza à temperatura ambiente. Este sensor tem saída com baixa impedância, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com o que o interfaceamento de leitura seja especificamente simples, barateando todo o sistema em função disto (National Semiconductor, 2000). Porém, como trata-se de um circuito integrado, não pode ser utilizado imerso em água, sendo útil para medição da temperatura ambiente.

Finalmente, como fluxímetro é utilizado um medidor de vazão linear eletromagnético INCONTROL modelo VMS-PRO 10-412K. Este é um medidor de vazão microprocessado, qual possui uma unidade eletrônica responsável pela interface com o usuário. As opções de parametrização são selecionadas através do seu teclado frontal, permitindo visualização no display. Este medidor necessita alimentação externa entre 18 e 36 Vcc, fornecendo duas formas de saída para conexão com uma placa de aquisição. Uma delas é a saída digital (pulsos ou frequência) e a outra é uma saída analógica com resposta de corrente variando de 4 à 20 mA. Calibrado de fábrica, é apenas necessário fazer a parametrização através do display (Incontrol, 2009).

Em resumo, os dispositivos utilizados na medição das grandezas de interesse possuem as características elétricas apresentadas na Tab. 2:

Tabela 2 – Características da instrumentação.

DISPOSITIVOS	NATUREZA	TIPO DE SAÍDA	SENSIBILIDADE
Piranômetro	Sensor	Tensão	71 $\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^2$
Anemômetro	Medidor	Frequência	2 Hz/km/h
Termoresistência	Transdutor	Resistência elétrica	0,39 $\Omega/^\circ\text{C}$
LM35	Sensor	Tensão	10 mV/ $^\circ\text{C}$
Fluxímetro	Medidor	Corrente elétrica	0,5 mA/ml

Dessa forma é necessário a medição de sinais analógicos de tensão, corrente e frequência provenientes de 9 dispositivos simultaneamente. Para realizar essa tarefa, a placa de aquisição de sinais utilizada neste projeto é o modelo NI USB-6259 BNC, da National Instruments. Esta placa possui tanto entradas como saídas para sinais analógicos e digitais, possibilitando então, a geração e medição de vários sinais simultaneamente. Para tanto, conta com 16 entradas e 4 saídas analógicas, com resolução de 16 bits e uma taxa de amostragem máxima de 1,25 MS/s. Para os sinais digitais, conta com 48 portas bidirecionais (I/O) e ainda 2 *timers* (contadores) de 32 bits de resolução (National Instruments, 2011). Todos esses recursos fazem deste dispositivo, ideal para tarefas de múltiplas aquisições de dados e vários tipos de sinais. Assim, além de atender aos requisitos de instrumentação atuais, permite a expansão para novos sensores e instrumentos de medida.

3.2 Arquitetura de software

Os dispositivos de hardware da National Instruments são desenvolvidos em conjunto com o software LabVIEW, facilitando a configuração e comunicação entre eles. Os aplicativos desenvolvidos em LabVIEW são chamados de VI – *Virtual Instrument*, onde o programador constrói uma interface de usuário, utilizando um conjunto de ferramentas e objetos. Quando o código fica muito extenso, é comum criar VI's para executar tarefas específicas, assim um VI pode ser utilizado dentro de outro em forma de um único bloco, reduzindo o tamanho e a complexidade do diagrama.

Após digitalizar os sinais provenientes dos sensores como descrito na seção anterior, estes sinais são submetidos ao condicionamento virtual e as informações de tensão, corrente e frequência são então, convertidas nos dados desejados (radiação solar, temperatura, vazão, etc.) conforme ilustra a Fig. 4. Um VI específico para estas funções foi criado no LabVIEW, chamado de “VI de Aquisição”.

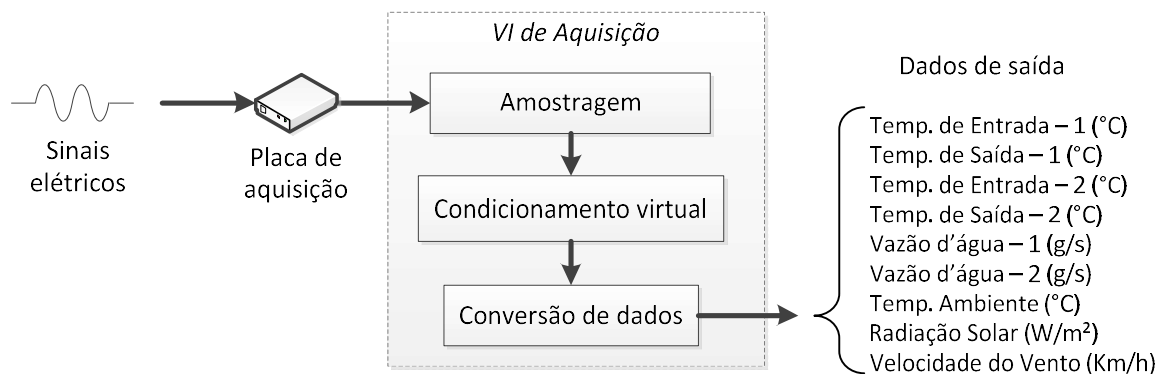


Figura 4 – Diagrama funcional para obtenção das informações de interesse.

Um segundo VI foi criado para receber as informações provenientes do VI de Aquisição, com a responsabilidade de gerenciar estas informações, enviando-as para cálculos em outros subVI's, exibindo os resultados e gravando os dados no computador. O aplicativo completo foi intitulado como “DAQSOL” e o diagrama do seu funcionamento é apresentado na Fig. 5.

O processamento dos dados consiste em alguns cálculos realizados automaticamente pelo aplicativo, a partir das informações coletadas através da medição. Exemplos de cálculos são a diferença de temperatura entre entrada e saída e

eficiência instantânea dos coletores sob teste, radiação solar acumulada, vazão total que circulou pelos coletores, entre outros.

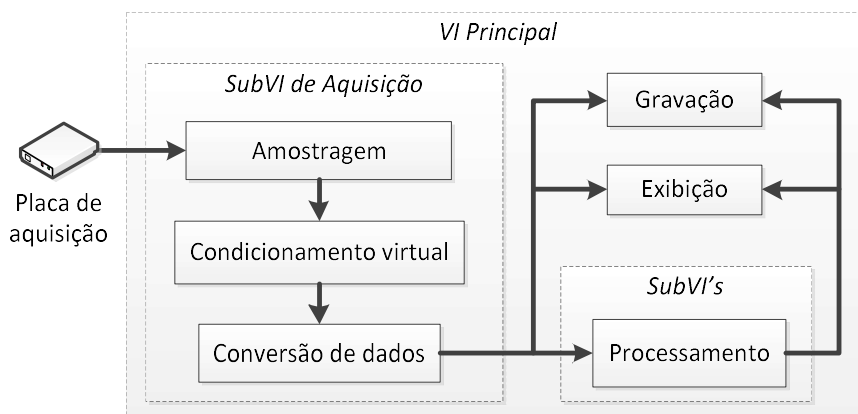


Figura 5 – Diagrama de blocos do programa de monitoramento DAQSOL.

No aplicativo é possível estabelecer o intervalo de tempo entre cada amostra de dados onde o tempo mínimo é 1 segundo. Os dados são salvos no computador no formato texto em bloco de notas, organizado por colunas. Assim possibilita que as informações sejam importadas em algum programa de manipulação de dados (por exemplo, uma planilha) para os estudos necessários. Todas essas informações são exibidas em tempo real no painel frontal do aplicativo através de gráficos e indicadores numéricos, como mostra a Fig. 6.

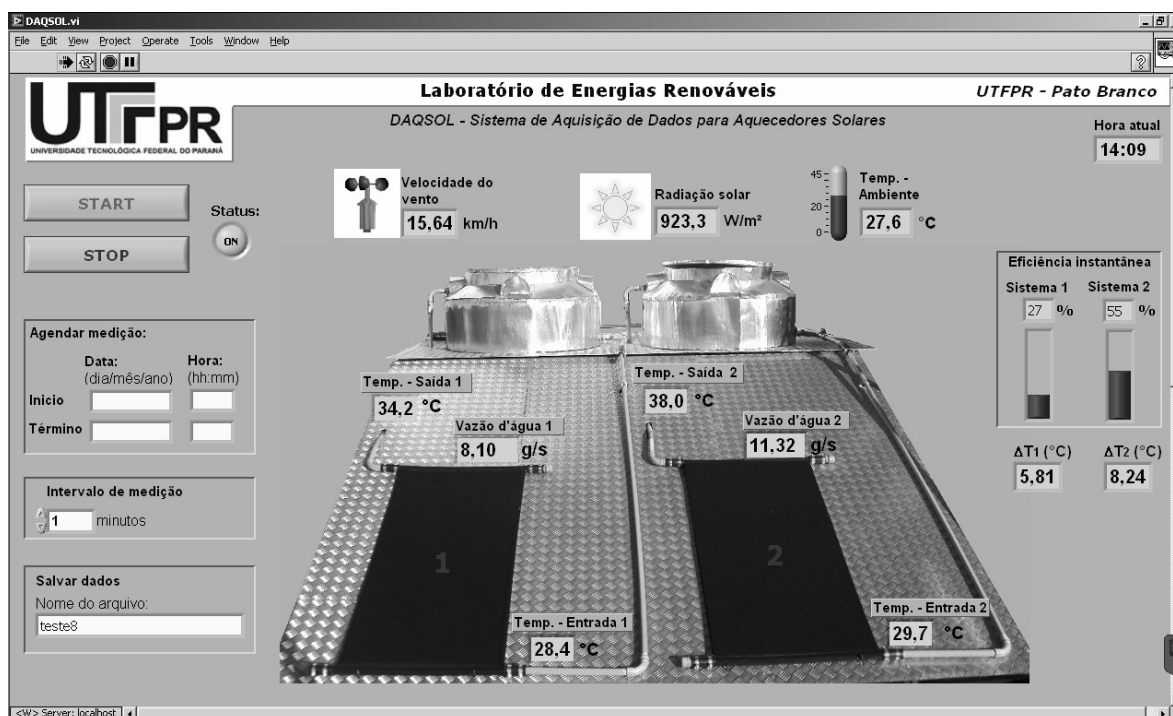


Figura 6 – Tela principal do aplicativo DAQSOL desenvolvido.

Nesta tela constam todos os valores da medição, onde no centro concentram-se os indicadores que exibem os valores instantâneos para cada variável medida. Ao lado direito do painel, encontra-se o informativo da hora atual, os indicadores de eficiência instantânea e diferença de temperatura (entrada e saída) para os dois coletores. Ao lado esquerdo da tela, encontra-se o campo “Agendar medição” onde é possível estabelecer data e horário para início término das medições, sem necessidade de ligar ou desligar o sistema manualmente nestes horários específicos. Logo abaixo é possível determinar o intervalo de medição, estabelecendo o período entre cada aquisição, com tempo mínimo de 1 segundo. Mais abaixo ainda, encontra-se o campo onde se insere o nome do arquivo para a gravação dos dados em formato texto. Através da barra de rolagem à direita, é possível acessar os gráficos que se encontram logo abaixo da tela principal, como exibe a Fig. 7.

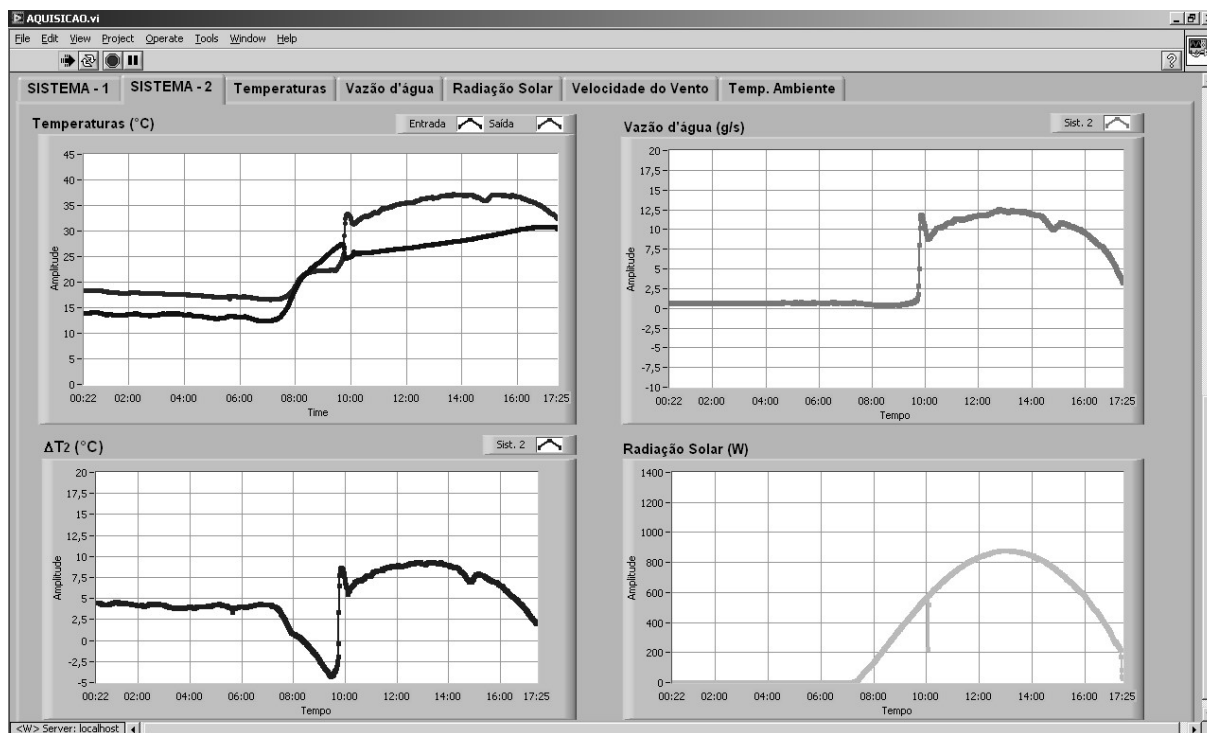


Figura 7 – Tela secundária do aplicativo desenvolvido. Gráficos com as informações atualizadas em tempo real.

As duas primeiras abas apresentam um comparativo entre as principais variáveis dos dois sistemas, onde no primeiro gráfico encontra-se a informação de temperatura de entrada e saída do coletor e ao lado o gráfico da vazão d'água. Abaixo se encontra o gráfico da diferença de temperatura entre saída e entrada do coletor e ao lado, o gráfico da radiação solar. Nas demais abas constam os gráficos das respectivas variáveis para os dois sistemas. Todos os gráficos são atualizados em tempo real, a cada nova medida coletada, com a escala de tempo variando conforme intervalo de tempo entre cada medida.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os gráficos gerados a partir dos dados coletados pelo sistema de aquisição, exibindo um exemplo para cada variável medida. Também são discutidos os efeitos do ambiente externo que influenciam nas respectivas medidas.

A Fig. 8 apresenta a curva de temperatura ambiente e radiação solar obtida em um dia ensolarado típico de inverno da região sul, com intervalos de medição de 1 em 1 minuto. Observa-se uma variação brusca nos valores de radiação por volta das 17 h 00 min. Essa variação ocorre devido à posição geográfica do arranjo experimental, permitindo com que receba os primeiros raios solares pela manhã. Mas no final do dia, antes do sol desaparecer no horizonte, os coletores ficam a sombra do terreno montanhoso e das construções da instituição. Quanto à temperatura ambiente, nota-se pequenas variações de temperatura em intervalos de tempo curtos que ocorrem devido a sensibilidade do sensor em detrimento dos efeitos do vento.

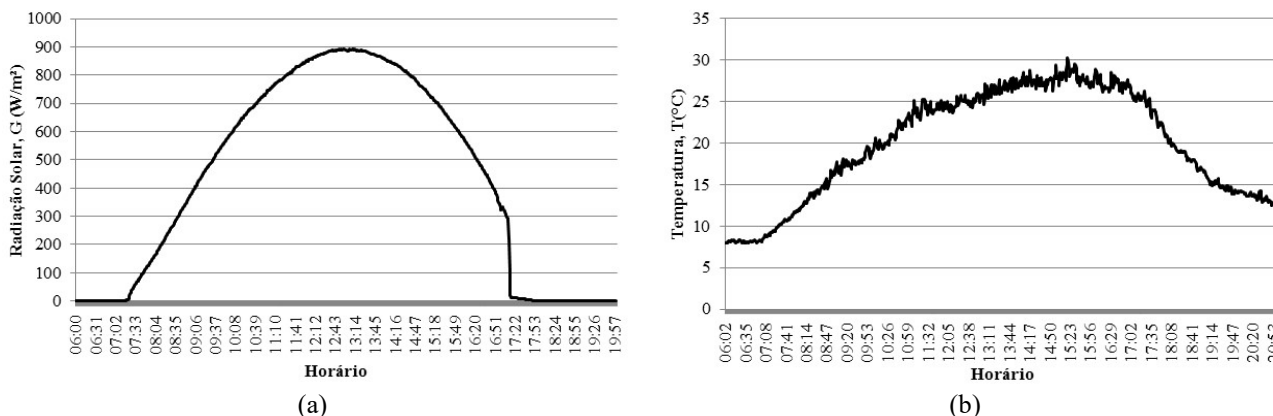


Figura 8 - (a) Curva de radiação solar (b) curva de temperatura ambiente

A Fig. 9 apresenta a curva de temperatura da água e vazão mássica da água para o coletor 2, com dados de 1 em 1 minuto no período entre 6 h 00 min e 00 h 30 min. Nota-se que tanto as temperaturas de saída quanto de entrada do coletor começam a aumentar quando recebem a incidência dos primeiros raios solares. Nestes instantes, a temperatura no interior do coletor não atinge valores suficientes para gerar a convecção. Portanto, a água permanece sem circular no sistema como pode ser comprovado pela Fig. 9 (b), vindo a entrar em circulação (efeito termosifão) somente às 10 h 00 min.

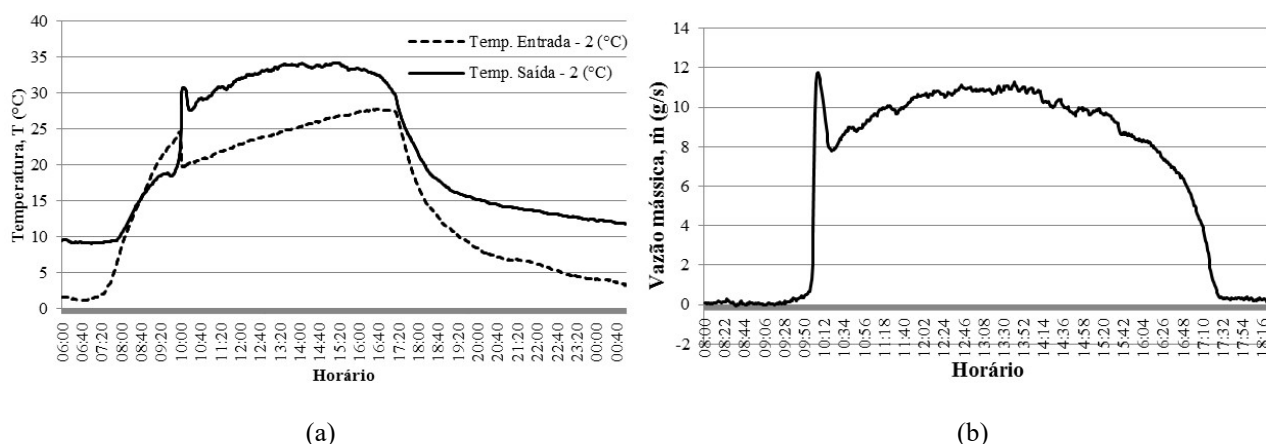


Figura 9 - (a) Curva de temperatura de entrada e saída do coletor (b) curva de vazão mássica da água.

Outro aspecto observado, é que sem a movimentação de água no sistema, por volta das 8 h 30 min a temperatura de entrada do coletor ultrapassa a temperatura de saída, devido ao encanamento de entrada do coletor ficar exposto ao sol e o encanamento de saída do coletor passar por baixo da plataforma de alumínio (Fig. 3), ficando protegido dos raios solares. Assim, apenas o encanamento de entrada recebe diretamente os primeiros raios solares vindo do horizonte, aquecendo a água no seu interior.

O gráfico da Fig. 9 (b) também mostra a resposta inercial do sistema termosifão, levando a um pico (*overshoot*) de vazão logo no início da movimentação do fluido, caindo logo em seguida. Na sequência, a vazão acompanha a curva de radiação solar. Esse efeito é repetido diariamente por conta da dinâmica do sistema, quando a água sai de inércia e entra em movimento.

A velocidade do vento obtida em um período de 24 h, também em intervalos de 1 minuto, é apresentada no gráfico da Fig. 10 (a). Como se pode observar, a velocidade do vento apresenta-se com variações bruscas em pequenos intervalos de tempo, portanto, a fim de demonstrar tal comportamento, selecionou-se um intervalo de medição de 1 em 1 segundo, apresentando os resultados por um período de 10 minutos na Fig. 10 (b). Os dados foram coletados no dia 08 de agosto, mês que possui grandes incidências de ventos na região.

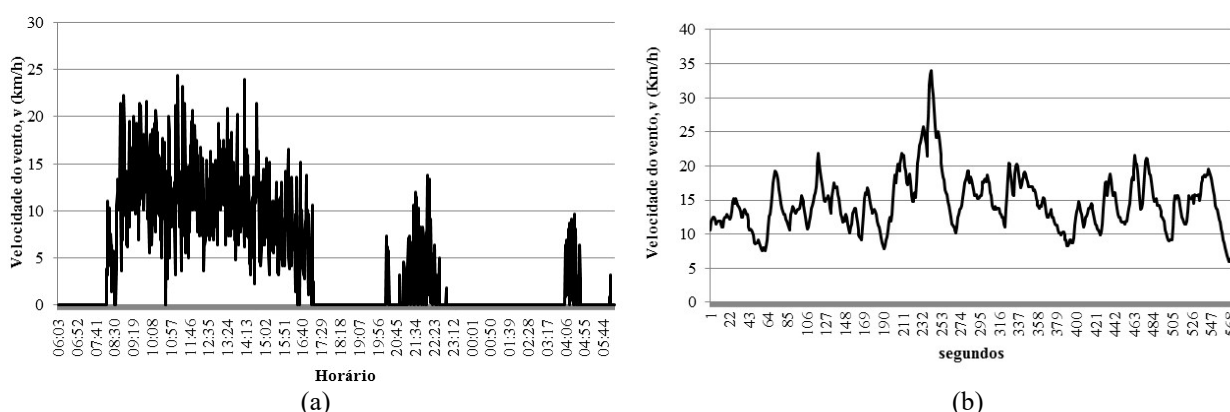


Figura 10 – Velocidade do vento: (a) período de 24h (b) período de 10 minutos.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um sistema de aquisição de dados automatizado para coleta de informações sobre o desempenho de aquecedores solares. O sistema realiza a coleta, processamento, armazenamento e exibição dos dados em tempo real pela interface do programa intitulado “DAQSOL”. O aplicativo DAQSOL armazena os dados no computador em bloco de notas, ocupando pouco espaço em disco e permitindo a importação das informações para

vários softwares de manipulação de dados. Além disso, foram construídas as instalações necessárias para que o sistema de aquisição resista às hostilidades do ambiente, funcionando de forma simples e segura.

A necessidade de adaptar as funcionalidades de cada sensor e aparelho de medição às funcionalidades da placa de aquisição, constituem um desafio inerente em qualquer projeto de aquisição de dados. Por outro lado, a capacidade da placa e o potencial do software LabVIEW, permitiram simplificar o hardware construído no condicionamento de sinal, reduzindo custos de material e aumentando a confiabilidade do sistema, uma vez que, quanto mais hardware utilizado no projeto, mais sujeito a erros estará o sistema. Por isso, buscou-se atribuir a responsabilidade dos ajustes técnicos, o máximo possível, ao software.

Além dos cálculos realizados pelo aplicativo, novas informações podem ser geradas a partir das variáveis medidas, como a determinação de eficiência dos coletores através de diferentes métodos. Além disso, o aplicativo pode ser evoluído para utilização de recursos como a geração de relatórios automáticos, que podem poupar o pesquisador da manipulação de dados através de extensas planilhas. Finalmente, a flexibilidade do software aliada à disponibilidade de múltiplos canais de medição do hardware, garante expansibilidade ao sistema. Isso significa que novos sensores podem ser facilmente instalados, trazendo novas informações a respeito de todo sistema de aquecimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MEC, CAPES, CNPq, FINEP, Fundação Araucária e UTFPR Campus Pato Branco pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- Cresesb – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2004. Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Ediouro.
- Cresesb – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2008. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica, Disponível em: <www.cresesb.cepel.br>.
- Tiba, C. 2000. Atlas Solarimétrico do Brasil – Banco de dados terrestres. UFPE, Recife.
- Meteoro Instrumentos, 2009. Tdnet. Tdnet/Meteoro. Disponível em: <<http://www.tdnet.com.br/meteoro/>>.
- National Instruments, 2012. NI 6259 Datasheet. Disponível em: <<http://sine.ni.com>>. Acesso em: 12 Março 2012.
- National Semiconductor, 2000. LM 35 Precision Centigrade Temperature Sensors. 2000. 13p. 1.
- Salcas Ind. E Com. Ltda, 2012. Termoresistências. 10p. Catálogo - Salcas, São Paulo.
- Incontrol, 2008. Medidores de Vazão Eletromagnéticos. [s.n.], São Paulo.
- Kipp & Zonen, 2012. Kipp & Zonen. Pyranometers. Disponível em: <<http://www.kippzonen.com/>>.
- Sociedade do Sol, 2009. Manual de Manufatura e Instalação Experimental do ASBC. 40p. 3 - [s.n.], São Paulo.

DATA ACQUISITION SYSTEM FOR SOLAR WATER HEATING

Abstract. *This paper presents the development of a monitoring and data acquisition system in real-time of the physical variables that influence the thermal efficiency of flat solar heaters. The acquisition system consists in the signal conditioning from nine sensors that monitor solar radiation phenomena, water flow, wind speed and different temperatures. Through an acquisition board, the signs are measured and the information is transferred to a computer, being managed through a program developed in LabVIEW environment. For this, we developed an application that can read the data, process them, display to the user in real time and store them on the computer for a long period. Therefore, the acquisition system can be used for efficiency studies of solar heating plans. The solutions adopted in the sensing process, which comprises in the transducers, sensors, and measuring equipment, are shown in the paper. Moreover, the hardware and software used for signal acquisition and data management are described. Finally, measurement results between two low-cost heating systems during a monitoring day are presented.*

Keywords: *solar heaters monitoring, data acquisition, solar water heating.*