

CONSTRUÇÃO DE UM TERMÔMETRO COM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO BLUETOOTH

L. F. D. Neto¹, A. N. Silva¹, T. M. José¹, D. T. G. Mariano¹, E. L. M. Naves¹

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, E-mail: laertinho_17@hotmail.com

Resumo - A temperatura corporal é um sinal vital do corpo humano e pode indicar infecções e inflamações sistêmicas, sendo, portanto, essencial a sua medição. Sensores de temperatura estão presentes na maioria dos monitores de sinais vitais que ainda utilizam fios para conectá-lo ao aparelho, sendo desconfortável aos pacientes. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo capaz de aferir a temperatura corporal e apresentá-la ao usuário através de um display de cristal líquido e de um software dedicado através do envio de dados por meio do protocolo de comunicação sem fio Bluetooth. A coleta é realizada em sessões de 3 (três) minutos de duração com uma aferição à cada 6 (seis) segundos, totalizando 30 (trinta) amostras. Cada exame é armazenado em um arquivo e pode ser visualizado posteriormente. O sistema apresentou os resultados esperados, sendo capaz de coletar a temperatura corporal e enviá-la através do módulo Bluetooth para um software instalado em um computador.

Palavras-Chave – Comunicação Bluetooth, Display LCD, Temperatura corporal, Termômetro.

DESIGN OF A BLUETOOTH THERMOMETER

Abstract - Body temperature is a vital sign of the human body and can be an indication of systemic infections and inflammations being essential its measure. Temperature sensors are available in almost all vital sign monitors that uses wires to connect them to the device, causing discomfort to the patients. Thus, the objective of this work is to develop a device capable of measuring body temperature and show it to the user on a liquid crystal display and on a dedicated software through wireless data transmission from a Bluetooth module. The acquisition is done in 3 minute length sections with one measure each 6 seconds for a total of 30 samples. Each exam is stored in a file and can be visualized later. The system presented the expected results, being capable of collecting the body temperature, sending it through the Bluetooth Module to a software already installed into a computer.

Keywords - Body temperature, Bluetooth communication, LCD, Thermometer.

NOMENCLATURA

PIC	Microcontrolador PIC16F877A.
LCD	Liquid crystal display.
TC	Temperatura corporal.
UART	Universal Asynchronous Receive/Transmitter

I. INTRODUÇÃO

A temperatura corporal (TC) humana é um parâmetro crítico e deve se manter dentro de uma curta faixa variando cerca de 0,6°C seguindo um ciclo circadiano. Esta temperatura é mantida por meio do equilíbrio entre a produção de calor, gerada pela combustão alimentar, fígado e músculos, e a perda calórica controladas pelo hipotálamo. Em uma situação normal, os sensores térmicos observam variações da temperatura do corpo central e cutânea, transmitindo ao centro integrado, este, por sua vez, gera respostas que têm por objetivo conservar ou dissipar calor. Alguma ruptura nesse equilíbrio fisiológico, ou danos estruturais a qualquer um desses níveis podem levar à perda da capacidade de regulação térmica, como ocorre na febre, hipertermia e hipotermia. Estas alterações de temperatura quase sempre remetem a uma disfunção no organismo sendo assim os termômetros são de grande importância para diagnóstico precoce de alguma anomalia no organismo humano [1].

O protocolo Bluetooth é um padrão global de comunicação sem fio e de baixo consumo de energia que permite a transmissão de dados entre dispositivos compatíveis com a tecnologia [2]. Para isso, uma combinação de hardware e software é utilizada para permitir que essa comunicação ocorra entre os mais diferentes tipos de aparelhos. A transmissão de dados é feita através de radiofrequência, permitindo que um dispositivo detecte o outro independente de suas posições, desde que estejam dentro do limite de proximidade. Em sua última versão o Bluetooth pode ter velocidade de transmissão de dados de até 24Mb/s, atua em uma faixa de frequência aberta que é a (Industrial, Scientific, Medical) ISM, que varia de 2.4MHz a 2.5MHz [3][4], sendo assim uma boa solução para um termômetro.

Em Unidades de Terapia Intensiva o paciente tem sua temperatura monitorada 24 Horas por dia e se torna desconfortável passar o dia todo conectado através de fios em algum tipo de monitor de sinais vitais. Dentro deste contexto, este trabalho visa trazer uma solução sem fio via Bluetooth para mensuração da temperatura corporal, tornando esta medida menos desconfortável e mais segura ao paciente.



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

II. METODOLOGIA

Para a construção do protótipo, foram utilizados componentes eletrônicos e um software para realização de exames de TC.

A. Componentes eletrônicos

Os dispositivos eletrônicos utilizados foram:

- Amplificador Operacional MCP6021;
- Microcontrolador PIC16F877A;
- Sensor de temperatura LM35CAZ;
- Módulo Bluetooth KC-21;
- Regulador de tensão 3.3 V;
- Regulador de tensão 5 V;
- Circuito Integrado 74LS07;
- Cristal de 20 MHz;
- LCD 16x2;
- Resistores e capacitores.

1) *Sensor de temperatura* - Foi utilizado o sensor de temperatura LM35CAZ, fabricado pela *National Semiconductor*. Ele apresenta uma tensão de saída, que é linearmente proporcional à temperatura medida em graus centígrados, igual a $10\text{mV}/^\circ\text{C}$. Pode ser alimentado entre 4 e 30 V, possui uma precisão típica de $0,2^\circ\text{C}$ para mais ou para menos e baixo consumo de corrente, drenando menos de $60\mu\text{A}$ [5]. O seu diagrama de pinagem e encapsulamento pode ser visto na Figura 1.

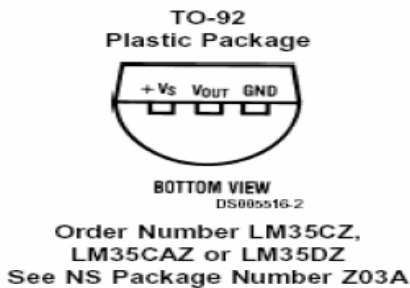


Fig. 1. Diagrama de pinagem e encapsulamento do sensor de temperatura LM35CAZ.

2) *Módulo Bluetooth* - Foi utilizado o módulo KC-21 fabricado pela *KC Wirefree*. Ele utiliza o protocolo de comunicação Bluetooth classe 2 com alcance de 10 metros e consumo de $0,25$ a $2,5$ mW. Ele pode ser configurado como *master* ou *slave* e oferece uma comunicação serial de velocidade máxima de 921 kbaud (*baud* - representa a o número de mudanças na linha de transmissão, seja em frequência, ou em amplitude, ou em fase ou em eventos, por segundo). O mesmo atua na faixa de frequência ISM, aberta em todos os países. Como esta faixa é aberta, isto é, pode ser utilizada por qualquer sistema de comunicação, é necessário garantir que o sinal do Bluetooth não sofra e não gere interferências. O esquema de comunicação *FH-CDMA* (*Frequency-Hopping Code Division Multiple Access*), utilizado pelo Bluetooth, permite tal proteção, já que faz com que a frequência seja dividida em vários canais. A alimentação do módulo é *single supply* com tensão de $3,3$ V. Ele possui 14 pinos de entrada e saída de propósito geral e

vale destacar ainda que ele possui uma memória flash de 8 Mbit [6]. O módulo pode ser visualizado na Figura 2.

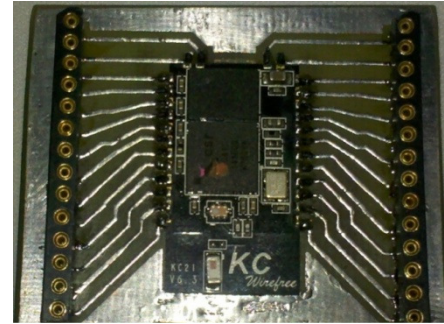


Fig. 2. Módulo KC-21.

3) *Microcontrolador* - Foi utilizado o PIC16F877A (PIC) fabricado pela *Microchip Technology*, pois ele permite a utilização de comunicação serial, necessária para transferência de instruções e informações com o módulo Bluetooth KC-21. Suas principais características são[7][8]:

- Possui somente 35 instruções;
- Opera nas velocidades: 20 MHz de clock e 200 ns de ciclo de instrução;
- Possui modos de endereçamento direto, indireto e relativo;
- 3 temporizadores;
- Diversas formas de comunicação serial: SPI, I²C e USART;
- Memória de programa de 8k e RAM de 368 bytes;
- Conversor A/D de 10 Bits
- 33 portas I/O
- Capacidade para interrupções

O diagrama de pinagem e encapsulamento pode ser visualizados na Figura 3.

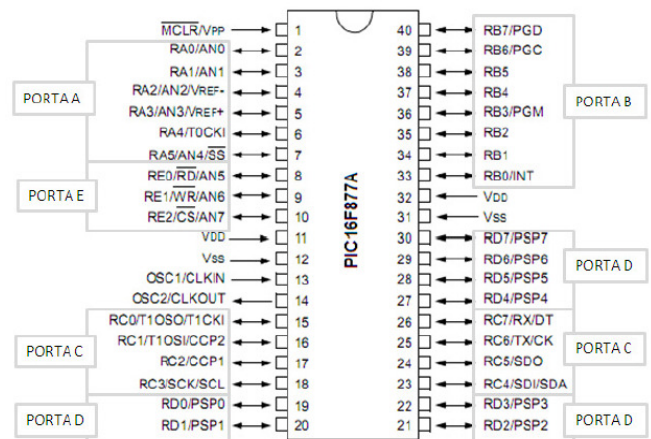


Fig. 3. Diagrama de pinagem e encapsulamento do microcontrolador PIC16F877A.

B. Software

Foi utilizada a plataforma de desenvolvimento Microsoft Visual C#® 2008 Express Edition. O levantamento de requisitos para o software definiu que ele deve possuir um banco de dados para cadastro de usuários e de exames de temperatura corporal, além de ser capaz de receber as

temperaturas lidas pelo sensor via comunicação bluetooth com o módulo KC-21 e ainda, gerar um relatório contendo gráficos que representem a variação da temperatura durante os exames.

III. DESENVOLVIMENTO

A construção do protótipo foi dividida em etapas, como pode ser visualizado no diagrama de blocos da Figura 4.

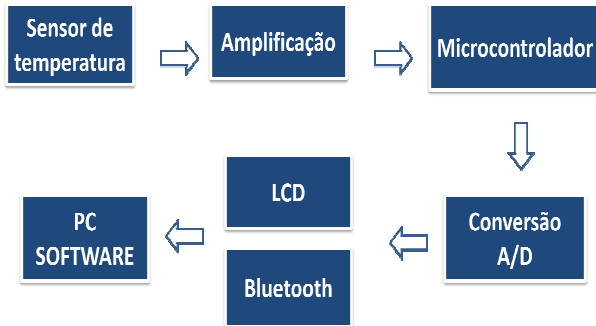


Fig. 4. Diagrama de blocos do projeto.

Basicamente, há o processo de aquisição da temperatura pelo sensor LM35CAZ, posteriormente há um estágio de ganho para adequar a tensão de saída do mesmo ao fundo de escala do conversor A/D do microcontrolador. Após o estágio de digitalização, a temperatura é mostrada no LCD e o dado é enviado ao módulo KC-21 que o encaminha para o software. O projeto do circuito eletrônico compreende todas as etapas até o envio de dados para o módulo bluetooth. O microcontrolador se comunica com este via comunicação serial, que é o mesmo da comunicação entre o KC-21 e o software desenvolvido.

A. Circuito eletrônico

O esquema eletrônico foi montado e projetado no software *ISIS Proteus 7 Professional* como mostra a Figura 5. O layout de circuito impresso foi feito no *ARES Proteus 7 Professional*, como pode ser visualizado na Figura 6.

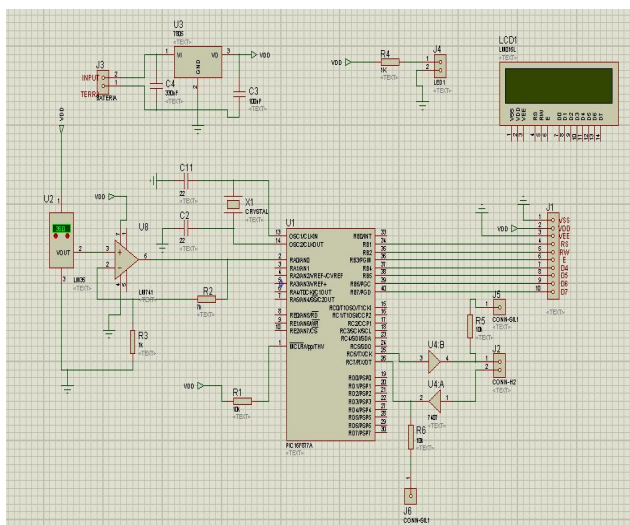


Fig. 5. Esquema eletrônico.

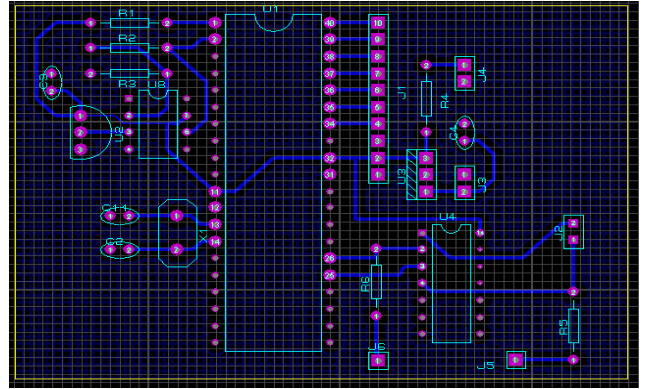


Fig. 6. Layout do circuito.

1) *Coleta da temperatura* - O sensor LM35CAZ é responsável por medir a temperatura corporal. O sensor foi arranjado para ser móvel com seus condutores isolados, para que fosse possível ao mesmo entrar em contato com a pele. Os pinos laterais são destinados à alimentação e no pino central é medida a tensão de saída igual a $10\text{mV}/^\circ\text{C}$.

2) *Condicionamento* - O nível de tensão adquirido do sensor passou por um estágio de ganho para ser ajustado ao fundo de escala do conversor A/D. A temperatura corporal deve ser medida em uma faixa pequena que vai de 35 a 50°C . Sendo assim, considerando-se que o fundo de escala é igual a 5V e que a variação do nível de tensão na saída do LM35 é igual a $10\text{mV}/^\circ\text{C}$, foi projetada uma amplificação de 100 vezes, pois assim trabalha-se com uma faixa de temperatura que vai de 10 a 50°C , que está dentro dos limites de medição da temperatura corporal e ainda garante uma otimização do processo de digitalização.

3) *Conversão A/D* - O sinal amplificado será digitalizado pelo conversor A/D do próprio microcontrolador PIC16F877A com 8 (oito) bits de resolução, sendo possível medir variações de $0,28^\circ\text{C}$. Trabalhando com 8 bits de resolução, a transmissão de dados é facilitada, pois a comunicação serial trabalha com envio byte a byte e desta forma, a amostra não precisa ser quebrada em dois pacotes para ser enviada e posteriormente remontada.

4) *Transceivers* - Os transceivers são dispositivos utilizados para adequar a tensão entre circuitos eletrônicos. Neste projeto ele foi utilizado para adequar a transferência de dados via serial do PIC16F877A para o KC-21, já que cada um opera com níveis de tensão diferentes, sendo que o primeiro trabalha em 5V e o último em 3.3V . Sendo assim o *transceiver* converte o nível de tensão do microcontrolador para o mesmo do módulo bluetooth e o inverso também. Ele foi construído com o CI 74CL07, que possui 4 buffers internos e um *pull-down* para transformar a tensão de 5V para 3.3V e um *pull-up* para o caminho inverso.

B. Comunicação microcontrolador – módulo bluetooth

O módulo KC-21 possui uma interface UART (*Universal Asynchronous Receive/Transmitter*), que pode ser utilizada para se comunicar com o PIC16F877A. Foi feita uma ligação simples que consiste em ligar o pino RXD do microcontrolador com o pino TXD do módulo bluetooth e

vice-versa. Não foi utilizado controle de fluxo através da ligação dos pinos CTS e RTS.

C. Comunicação módulo bluetooth – software

O *firmware* desenvolvido realiza a conversão A/D do sinal de tensão do sensor LM35 e então o envia pela UART para o módulo KC-21. Este processo ocorre continuamente à cada 6 (seis) segundos.

Para escrever o *firmware* do PIC foi utilizado o compilador *PIC - C Compiler IDE* da *CCS*. Ele já oferece uma biblioteca de funções para gerenciamento da UART, sendo necessário configurar a taxa de dados de acordo com a configurada no módulo Bluetooth anteriormente que neste caso foi de 115200 bps.

O processo de conversão em graus centígrados dos valores digitalizados é feito através dos comandos “*set_adc_channel*” e “*read_adc*”, sendo o primeiro responsável por escolher a porta na qual está entrando o sinal a ser digitalizado e o segundo retorna o resultado da digitalização, que é um valor de 8 bits.

O envio dos dados para o módulo bluetooth é feito pela função “*printf*” que escreve um byte no canal de comunicação serial.

D. Comunicação módulo bluetooth – software

A primeira etapa da comunicação entre o software e o módulo KC-21 é a instalação do dispositivo no computador ou notebook, no qual o software está instalado. Assim que o módulo é alimentado, ele já pode ser localizado como um dispositivo bluetooth e então efetuar o pareamento. Ao final deste processo, uma porta COM será destinada ao mesmo. Este procedimento só precisa ser realizado uma vez, já que o software irá acessar diretamente esta porta, após ela ter sido definida.

O *Microsoft Visual C#* oferece o componente *SerialPort* para estabelecer comunicação serial com periféricos. Esta classe possui diversos métodos que permitem a transferência de dados e comandos entre o software e o periférico. Existem diversas funções para leitura do canal serial como: *Read*, *ReadLine*, *ReadExisting* e *ReadByte*. Como o *firmware* do PIC envia um valor em *bytes* que representa a temperatura lida, o método utilizado para ler o canal de comunicação foi o último apresentado. O software trabalha com o componente *Timer* para temporizar as leituras, sincronizando-as com o envio de dados pelo microcontrolador.

E. Display LCD

Para se utilizar o LCD (padrão HD44780, 16 colunas e 2 linhas, modo texto) como periférico de visualização de dados, foi utilizada a biblioteca “*lcd.c*” incluída no cabeçalho do *firmware* do PIC.

Para realizar a inicialização do display foi utilizada a função “*lcd_init*” que esta presente na biblioteca, esta função envia alguns sinais em seqüência e tempos pré determinados para configurar o periférico.

Para enviar os valores de temperatura para o display foi utilizada a função “*printf*”, que gera uma saída formatada, utilizando-se texto e informações contidas em variáveis, gerando uma seqüência de caracteres que pode ser enviada a qualquer função de entrada e saída de dados.

F. Software

O software trabalha com um banco de dados para cadastro de usuários e as coletas da temperatura corporal são armazenadas em arquivo texto. Ele possui uma seção específica para os exames de temperatura, na qual é estabelecida a comunicação bluetooth com o módulo KC-21. Ele foi desenvolvido em 5 (cinco) telas:

1) *Tela login* - Apresenta a interface de autenticação de usuário para inicialização do sistema. Ela também oferece a opção de cadastrar um novo perfil.

2) *Tela cadastro* - Responsável por fazer o cadastro de um novo usuário para o sistema. As informações pedidas são:

- Nome de usuário;
- Senha;
- Nome;
- Sexo;
- Data de nascimento.

O nome de usuário é único e caso seja informado um valor já existente no banco de dados, o cadastro não será efetuado e será solicitado que o mesmo seja alterado.

3) *Tela principal* - Permite fazer um novo exame, consultar relatórios ou encerrar a sessão.

4) *Tela exame* - Faz a coleta da temperatura corporal. A temperatura lida é mostrada em vermelho como mostra a figura xx, e possui um *log* no qual são mostrados os valores das amostras de temperatura já coletadas. Possui três botões, um responsável por iniciar a conexão com o dispositivo bluetooth KC-21, outro por iniciar o exame e outro para encerrá-lo. Cada exame tem duração de 3 (três) minutos sendo que é coletada uma amostra de temperatura corporal à cada 6 (seis) segundos, totalizando 30 amostras ao final do exame. Ao término de cada medição, as amostras são salvas em um arquivo texto. Foi incluído um sistema de alarme sonoro para indicar estado febril, isto é, quando a temperatura lida ultrapassa o valor de 37,2°C, o alarme é ativado e é escrita a mensagem “ALERTA” na tela.

5) *Tela relatório* - Apresenta as informações cadastrais do usuário, a quantidade total de exames já realizados, bem como as datas do primeiro e do último exame. O relatório gerado possui dois gráficos, um que apresenta todos as amostras coletadas e outro que traz a média de todas as aferições para cada exame realizado. Os valores mostrados nos gráficos podem ser visualizados em um *log*.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram desenvolvidas duas placas, sendo uma destinada ao PIC e o LCD e outra ao módulo KC-21. Desta forma, o sistema ganha flexibilidade, pois é possível optar por utilizar apenas o LCD para visualizar a TC medida, assim como o LCD pode ser desligado para se utilizar apenas o bluetooth ou ainda, os dois podem ser utilizados ao mesmo tempo. As placas foram feitas em dupla face e não apresentaram ruídos no sinal.

Foi possível aferir a temperatura através do sensor LM35 e mostrá-la no LCD como mostra a Figura 7.

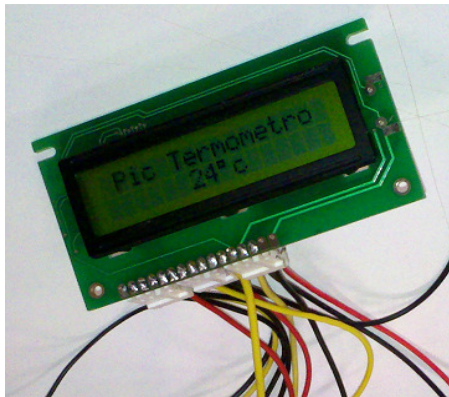


Fig. 7. Temperatura mostrada no LCD.

A comunicação com o módulo KC-21 foi estabelecida com sucesso com o PIC e com o software desenvolvido, no qual foi possível realizar coletas da TC. A Figura 8 mostra o dispositivo bluetooth kcSerial encontrado no notebook entre outros aparelhos bluetooth.

A montagem final do circuito eletrônico é apresentada na Figura 9.

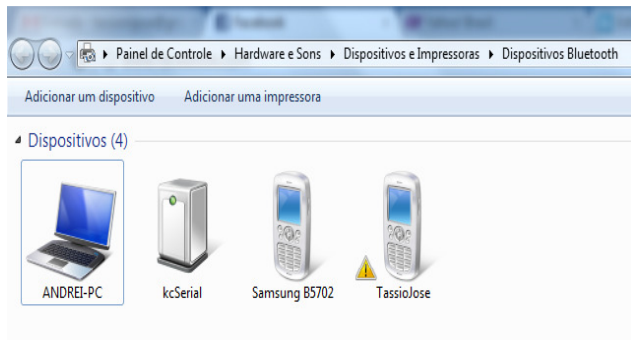


Fig. 8. Dispositivo bluetooth kcSerial encontrado no notebook.

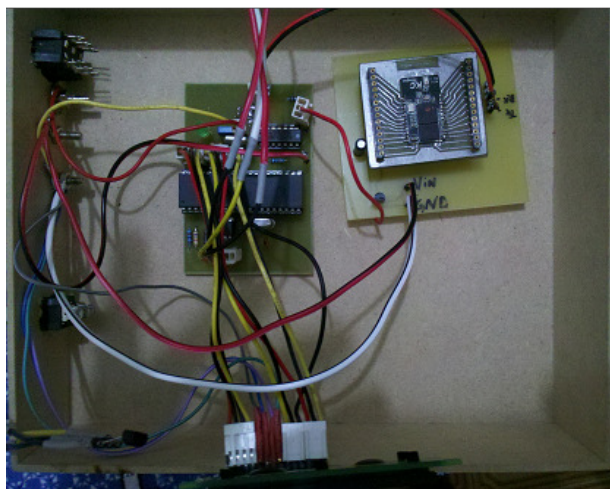


Fig. 9. Montagem final do protótipo.

- As telas do software são apresentadas a seguir:
- Tela de login do software (Figura 10);
- Tela de cadastro (Figura 11);

- Tela principal (Figura 12);



Fig. 10. Tela de login.

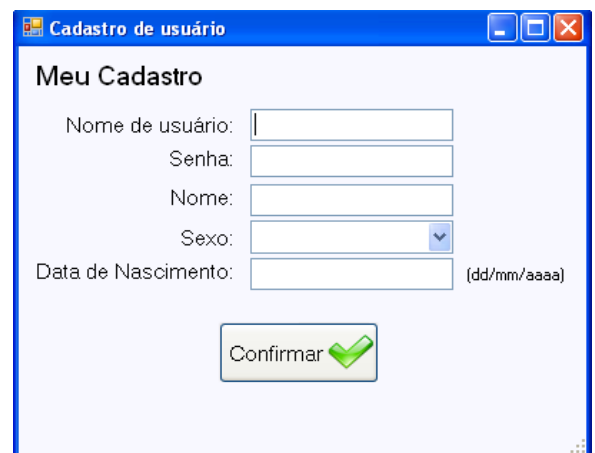


Fig. 11. Tela de cadastro.



Fig. 12. Tela principal.

A tela de exames é mostrada na Figura 13. Nela pode ser visualizada as amostras já coletadas no log de execução do aplicativo e a última temperatura enviada pelo KC-21 para o programa. Ela é também um exemplo do sistema de alarme funcionando após ser medida uma temperatura superior a 37,2°C.

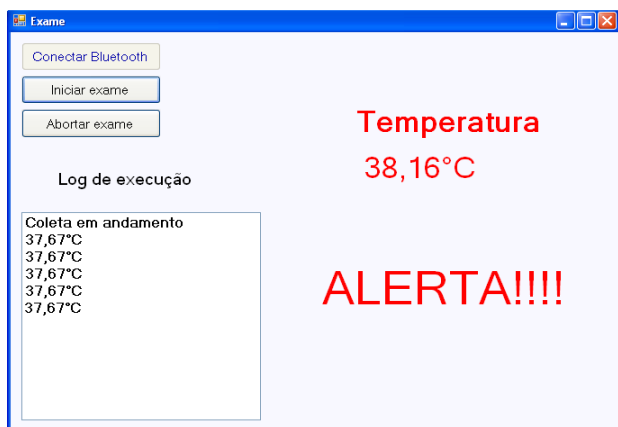


Fig. 13. Tela de exames com sistema de alerta funcionando.

A tela de relatório gera dois tipos diferentes de gráficos. O geral pode ser visualizado na Figura 14 e o de média na Figura 15.

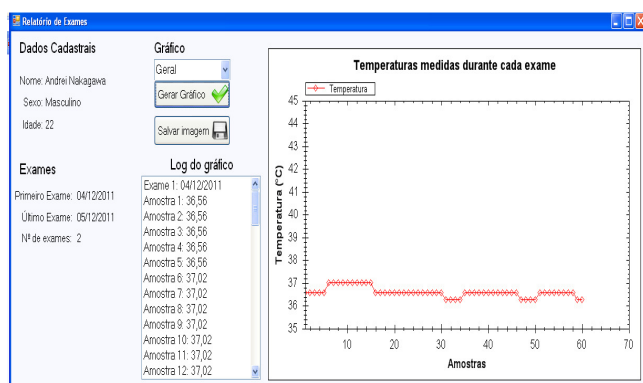


Fig. 14. Tela relatório com gráfico geral.

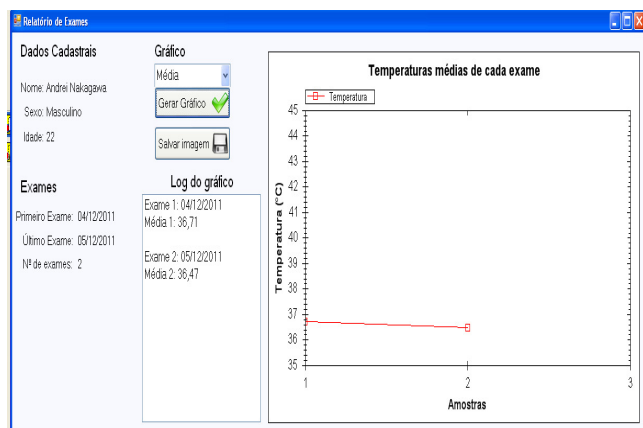


Fig. 15. Tela relatório com gráfico de média.

V. CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, conclui-se que o protótipo desenvolvido cumpriu seus objetivos, sendo capaz de medir a TC e enviá-la até um software instalado em um notebook por meio do protocolo de comunicação sem fio Bluetooth, sendo possível, portanto, aferi-la remotamente.

O software cumpriu todos os seus requisitos, sendo capaz de realizar exames de 3 (três) minutos de duração e armazená-los em arquivos texto, contando ainda com um sistema de alarme ativado quando é lida uma temperatura que indica estado febril.

Sensores de temperatura são dispositivos presentes em grande parte dos monitores de sinais vitais comerciais e em sua grande maioria ainda dependem de fios para se conectarem ao aparelho. A utilização de fios dificulta a mobilidade do paciente, além de ser desconfortável para o mesmo. Assim, uma grande tendência é a implantação de tecnologias sem fio neste tipo de equipamento médico. Portanto, a partir deste trabalho, é possível iniciar estudos avançados direcionados à instrumentação biomédica para monitoração de sinais vitais de forma remota.

O protótipo desenvolvido também deve diminuir em tamanho até se tornar um sensor portátil, fácil de ser colocado e retirado da pele.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUYTON & HALL, *Tratado de fisiologia médica*, Ed. Saunders Elseivers, 12ª edição, 2011.
- [2] Documentação oficial do Bluetooth. *THE BLUETOOTH SIG STANDARD*. Acedido em 05 de Setembro de 2011. Disponível em: <http://www.bluetooth.com/>.
- [3] HAARTSEN, J. C.; MATTISSON, S. *Bluetooth – A New Low-Power Radio Interface Providing Short-Range Connectivity*. *Proceedings of the IEEE*.
- [4] KUROSE, J. F. *Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem topdown*. Edição 3ª. Editora Pearson Addison Wesley. 2006.
- [5] Data Sheet. *Sensor de temperatura LM35*. Acedido em 12 de Setembro de 2011. Disponível em www.national.com/ds/LM/LM35.pdf.
- [6] Data Sheet. *Módulo KC-21 Bluetooth OEM*. Acedido em 17 de Novembro 2011. Disponível em www.kcwirefree.com.
- [7] SOUZA, D. J. *Desbravando o PIC*. Edição 8ª. Editora Érica, 2005
- [8] Data Sheet. *Microcontrolador PIC16F877A*. Acedido em 12 de Setembro de 2011. Disponível em ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf.