

UM SISTEMA MICROCONTROLADO PARA O MONITORAMENTO *ON-LINE*, *IN SITU* E REMOTO DE pH, CONDUTIVIDADE E TEMPERATURA DE ÁGUAS

Renato Sousa Lima, Vagner Bezerra dos Santos, Thiago Brito Guerreiro e Mário César Ugulino de Araújo*

Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, CP 5093, 58051-970 João Pessoa – PB, Brasil

Edvaldo da Nóbrega Gaião

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, CP 063, 56000-000 Serra Talhada – PE, Brasil

Recebido em 15/1/10; aceito em 7/6/10; publicado na web em 16/11/10

A MICROCONTROLLED SYSTEM FOR MONITORING OF PH, CONDUCTIVITY AND TEMPERATURE OF WATER AT ON-LINE, IN SITU AND REMOTE WAY. A portable microcontrolled system is proposed to monitor conductivity, temperature and pH in on-line, in situ and remote way from a water reservoir faraway 200 m. The system comprises two modules: one for data reception (located in laboratory) and another for data acquisition/transmission (located near water reservoir). It uses a microcontroller and a transceiver to remote data transmission/reception by radio frequency. Variations of water parameters were simultaneously monitored without interruption during a period of ten hours with a relative error about 4.0 %. The developed system showed simple, stable, accurate, robust and low-cost to determine parameters of water in field.

Keywords: remote monitoring; microcontroller; water analyses.

INTRODUÇÃO

Problemas relacionados com a poluição das águas se intensificaram após a Segunda Guerra Mundial, quando houve um aumento significativo da urbanização e da industrialização. Nos dias atuais, especialistas acreditam que, em no máximo 20 anos, teremos uma crise associada com a indisponibilidade de água potável semelhante àquela ocorrida em 1973 com o petróleo.¹ Neste contexto, o controle de qualidade dos recursos hídricos torna-se de extrema relevância, uma vez que está diretamente correlacionado com a saúde e o bem estar da população, com a conservação do meio ambiente e com diversas atividades econômicas, tais como piscicultura, carcinocultura, agricultura e agropecuária, dentre outras. Dessa forma, parâmetros físicos (cor, turbidez, temperatura, condutividade etc.), químicos (pH, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, fósforo total etc.) e bacteriológicos (demanda bioquímica de oxigênio e coliformes fecais) devem ser periodicamente avaliados, de modo que a qualidade da água possa ser inferida.²

Em termos gerais, o processo convencional de análise de águas é constituído por três etapas: amostragem, armazenamento e tratamento das amostras e estudo dos fatores intervenientes em sua gestão. Por conseguinte, a manipulação dos parâmetros de controle de qualidade de águas por processos convencionais apresenta desvantagens,³ como demanda um tempo relativamente longo; torna-se dispendiosa pela necessidade de deslocamento de pessoal para os locais de coleta das amostras, amiúde distantes e de difícil acesso; não possibilita a aquisição de um amplo conjunto de dados necessário para a investigação da evolução temporal dos parâmetros de interesse; durante a etapa de armazenamento, a integridade da amostra pode não ser preservada devido a fatores como efeito de matriz e possíveis atividades biológicas e, não permite a realização de análises em condições reais, o que vem a minimizar a representatividade dos valores obtidos durante as determinações.

Os inconvenientes mencionados podem ser superados com o advento de sistemas de monitoramento *in situ*, *on-line* e remoto de aquisição de

dados. Sistemas desse tipo são caracterizados pela realização do monitoramento de parâmetros de qualidade sem a necessidade da presença regular de um operador. No âmbito da pesquisa, sistemas de monitoramento remotos têm sido utilizados nos mais diversos campos da ciência, tais como análises ambientais de solos⁴ e águas de rios,⁵ rastreamento por imagem de animais em regiões polares⁶ e monitoramento de vulcões ativos utilizando a tecnologia via satélite para a prevenção de catástrofes.⁷ Entretanto, esses métodos empregam instrumentação de baixa portabilidade e de alto custo de aquisição e manutenção, desvantagens intrínsecas também dos sistemas comerciais importados destinados a esse propósito.⁸⁻¹² Neste sentido, uma alternativa viável para superar estes inconvenientes é o uso de microcontroladores programáveis PIC (*Programmable Interrupt Controller*), que permite a diminuição do número de componentes eletrônicos e dispositivos na confecção de hardwares, utilizados no processo de criação e integração de sistemas de dados. Além disso, permite uma total automatização das análises e uma integração mais simplificada dos instrumentos analíticos a qualquer módulo de transmissão.¹³ Nesse contexto, foi desenvolvido neste trabalho um sistema portátil e microcontrolado por PIC para o monitoramento *on-line*, *in situ* e remoto de temperatura, pH e condutividade de águas.

PARTE EXPERIMENTAL

Reagentes e soluções

Soluções de ácido acético (1,0 mol L⁻¹), acetato de sódio (1,0 mol L⁻¹), hidróxido de sódio (0,5 mol L⁻¹), ácido fosfórico (0,5 mol L⁻¹), tampão borato (0,05 mol L⁻¹) foram utilizadas para preparar as soluções tampão na faixa de pH de 2,0 a 9,5 e estas foram empregadas na calibração do pHmetro. Para a calibração do condutivímetro foi utilizada uma solução padrão de KCl (0,5 x 10⁻³ mol L⁻¹). Água deionizada (resistividade 18,2 MΩ cm) obtida por um sistema Milli-Q plus (Millipore Corp., Bedford, MA, USA) foi sempre utilizada para o preparo de todas as soluções. Todos os reagentes utilizados foram sempre de grau analítico P. A.

*e-mail: laqa@quimica.ufpb.br

Aplicação do sistema de monitoramento proposto

O sistema de monitoramento remoto desenvolvido foi aplicado para monitorar a temperatura, condutividade e pH de um reservatório de água localizado no Departamento de Biologia (DB)/Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Este reservatório é utilizado em estudos de cultura de algas e de algumas espécies de peixe e fica a uma distância de 200 m do módulo de recepção remota dos dados, que se encontrava no Laboratório de Automação e Instrumentação em Química Analítica/Quimiometria (LAQA) do Departamento de Química (DQ)/CCEN – UFPB.

Materiais e equipamentos

Um termômetro digital e um pHmetro óptico,¹⁴ ambos desenvolvidos e construídos no nosso laboratório (*labmade*), foram utilizados nos monitoramentos de temperatura e de pH do reservatório de água em estudo. Optou-se, primeiramente, por usar no sistema de monitoramento remoto proposto instrumentos desenvolvidos no laboratório, devido à acessibilidade e flexibilidade na aquisição e tratamento dos dados e maior controle do ruído instrumental.

O termômetro digital construído utiliza como sensor um termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) 1 K, cuja resistência é inversamente proporcional à temperatura. A variação de resistência deste componente é convertida por um amplificador operacional em um potencial relacionado à temperatura do sistema sob monitoramento, como mostrado na Figura 1. O termômetro digital construído foi calibrado em uma faixa de temperatura entre 10 e 50 °C. Nesta calibração foi utilizado um calorímetro *labmade* termicamente isolado com isopor e um termômetro laboratorial de mercúrio da INCOTERM, modelo 65910.

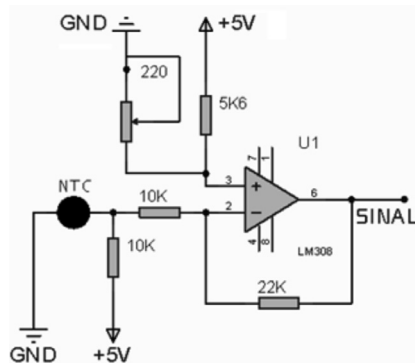


Figura 1. Circuito eletrônico do termômetro *labmade*

O pHmetro óptico digital¹⁴ construído utiliza como fase sensora um filme de polianilina depositado na base de um prisma de vidro e cuja coloração varia com o pH de uma solução colocada em contato com o filme. A variação da coloração do filme foi monitorada por medidas de potencial (mV) geradas pela atenuação da radiação incidente emitida por um LED (*Light Emitting Diode*) sob a superfície de um fototransistor utilizado como detector.¹⁵ Na calibração deste pHmetro óptico foram utilizadas 12 soluções tampão com valores de pH variando na faixa de 2 a 9,5. Os valores de pH medidos pelo pHmetro óptico foram avaliados e validados no laboratório usando medidas de pH realizadas utilizando um pHmetro comercial (Metrohm 713) com um eletrodo de vidro acoplado.

Para atestar a aplicabilidade do sistema em instrumentos comerciais, também foram monitoradas medidas de condutividade utilizando um condutivímetro comercial portátil da DIGIMED, modelo

CD-2P, provido com uma célula de constante igual a 1,0 cm⁻¹. O condutivímetro foi calibrado empregando uma solução de KCl (1,0 mmol L⁻¹) em ambiente com temperatura controlada a 27,0 ± 1,0 °C.

Sistema de monitoramento remoto desenvolvido

O sistema de monitoramento remoto desenvolvido é constituído de dois módulos: um de aquisição/transmissão e outro de recepção de dados. O primeiro é utilizado na aquisição de sinais analógicos dos equipamentos a ele acoplados; na conversão analógico/digital (conversão A/D), na calibração analítica (pH, temperatura e condutividade), no armazenamento preliminar dos dados das análises e na transmissão digital desses dados para o módulo de recepção. O módulo de recepção tem a função de receber os dados enviados pelo primeiro módulo e armazená-los e/ou apresentá-los na tela de um microcomputador a ele acoplado via porta serial. Ambos os módulos possuem um transceptor, que é um trans-codificador, configurado para operar em modo de transmissão ou recepção de dados. Na Figura 2 é mostrado o circuito eletrônico de ambos os módulos.

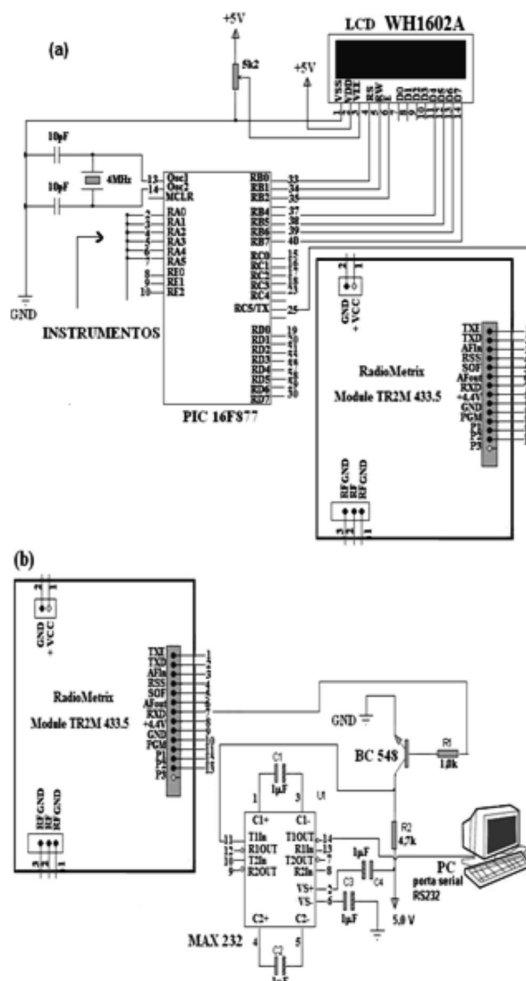


Figura 2. (a) Circuito eletrônico do módulo de aquisição/transmissão de dados, (b) circuito eletrônico do módulo de recepção de dados e comunicação serial com um microcomputador

Módulo de aquisição/transmissão de dados

Na Figura 2(a) é apresentado o circuito eletrônico do módulo de aquisição/transmissão de dados, o qual é composto de um microcontrolador PIC 16F877A, um LCD (*Liquid Crystal Display*) e um transceptor.

O PIC é responsável pela conversão A/D, calibração analítica e armazenamento preliminar dos dados das análises. O PIC 16F877A utilizado é um microcontrolador da família de 8 bits produzido pela Microchip Technology.¹⁶ Ele possui internamente um conversor A/D de 10 bits, uma memória *flash* de 8 Kbytes, uma EEPROM de 256 bytes e uma RAM de 368 bytes, 3 *timers*, um sincronizador com frequência de 4 MHz e 8 portas lógicas que podem ser configuradas para aquisição de sinais, entre outros recursos importantes. Além da acentuada redução de componentes eletrônicos dos hardwares desenvolvidos, com o PIC aqui utilizado é possível o incremento ou a alteração de funcionalidades do instrumento, sem necessidade de reconfiguração do circuito eletrônico, bem como a aquisição e o tratamento de dados sem necessidade de um microcomputador. Ao PIC utilizado podem ser acoplados até 6 instrumentos analíticos, utilizando as suas portas analógicas de 2-7.

Os sinais analógicos gerados pelos instrumentos durante o monitoramento são captados pelo PIC e digitalizados através do conversor A/D de 10 bits. Os dados digitalizados são então convertidos em suas unidades apropriadas, mediante uma calibração analítica. Os dados resultantes da calibração são enviados pelo pino 25 do microcontrolador e recebidos pelo pino 2 do transceptor que, em seguida, os transmite via radiofrequência para o módulo de recepção. Além disso, os dados transmitidos podem ser visualizados no LCD do módulo de aquisição/transmissão de dados.

O transceptor utilizado é um módulo comercial Radiometrix,¹⁷ modelo TR2M-433-5. Suas principais características são: transmissão e recepção via radiofrequência UHF (*Ultra-High Frequency*); modulação FM (*Frequency Modulation*) com alcance de transmissão de 5 km; frequência operacional entre 433,05 a 434,79 MHz; apresenta 63 canais disponíveis, os quais podem ser configurados para operar em módulos de transmissão ou recepção; potência nominal de transmissão de 20 dBm (100 mW); consumo de 110 mA de corrente durante a transmissão e 27 mA no módulo de recepção e, taxa de transmissão máxima no modo padrão de 5 kbps.

Neste trabalho, o transceptor foi configurado para operar na frequência de 433,05 MHz. Contudo, pode-se utilizar outra frequência dentro da faixa operacional deste dispositivo, a qual pode ser alterada seguindo os procedimentos descritos no manual do fabricante.¹⁷

Todas as funções realizadas pelo PIC são executados por meio de um software gravado em sua memória interna escrito em linguagem C, empregando a plataforma mikroC[®] da MikroElektronika.¹⁸ Com esta linguagem de programação rotinas e comandos são elaborados para gerenciar e controlar as diversas funções do microcontrolador PIC. Basicamente o programa foi desenvolvido com o objetivo de realizar a captura dos dados analógicos e fazer a conversão digital pelo conversor A/D interno do PIC. Isso é feito seguindo uma sequência de programação que envolve primeiramente a declaração das características do microcontrolador (tipo, frequência de operação, configuração de portas lógicas) e depois a definição das variáveis locais, globais e as funções de conversão de unidades (temperatura, pH e condutividade).

Os dados em suas respectivas unidades ($^{\circ}\text{C}$, pH, $\mu\text{S cm}^{-1}$) são amostrados no LCD do módulo de aquisição/transmissão para checagem dos valores transmitidos remotamente para o módulo de recepção.

Módulo de recepção de dados

Os dados transmitidos remotamente pelo módulo de transmissão são captados pelo módulo de recepção, trans-codificados pelo transceptor deste módulo, o qual está configurado para operar na função de recepção de dados. Este módulo está acoplado a um microcomputador Intel Pentium IV, através da porta serial RS232, utilizando o circuito integrado MAX232, como mostrado na Figura 2(b).¹⁹ Os

dados coletados de cada equipamento sob monitoramento são armazenados, processados e apresentados na tela do microcomputador. Tudo isto é feito empregando um software escrito em linguagem gráfica Labview 5.1.

Os módulos do sistema de monitoramento remoto foram acondicionados em caixas de acrílico de dimensões 14,5 x 9,5 x 6,0 cm (módulo de aquisição/transmissão) e 13,5 x 13,0 x 7,0 cm (módulo de recepção), como mostrado na Figura 3.

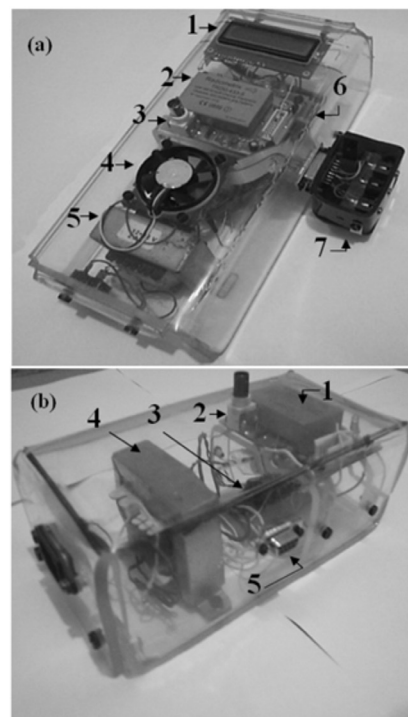


Figura 3. Módulo de aquisição/transmissão de dados (a) constituído basicamente de: (1) LCD, (2) transceptor, (3) antena, (4) cooler, (5) fonte de alimentação de 5 V ou bateria de 9 V com no mínimo 560 mAh de capacidade, (6) microcontrolador PIC 16F877A localizado abaixo do transceptor e (7) conector DB-09 para acoplar os instrumentos sob monitoramento. Módulo de recepção (b) composto de: (1) transceptor, (2) antena, (3) dispositivo para comunicação serial (MAX232), (4) uma fonte de alimentação de 5 V ou uma bateria de 9 V com no mínimo de 260 mAh de carga e (5) conector serial para a comunicação com o microcomputador

No módulo de recepção de dados não consta o microcontrolador e outros dispositivos como *cooler* e o LCD, pois a sua principal função é apenas receber o sinal transmitido, trans-codificar e disponibilizá-lo na porta serial do microcomputador. Entretanto, o módulo de recepção possui um CI (Circuito Integrado) MAX232 e um conector para a comunicação serial, que não acompanham o módulo de transmissão de dados.

Conexão dos instrumentos sob monitoramento ao módulo de aquisição/transmissão remota

Para acoplar os instrumentos sob monitoramento (termômetro, pHmetro e condutivímetro) ao módulo de aquisição/transmissão é necessário apenas plugar cada uma das saídas analógicas dos equipamentos ao conector DB-09 do módulo, o qual tem acesso às portas AD do microcontrolador utilizado (Figura 3a). Os sinais analógicos disponibilizados nas portas AD do microcontrolador são posteriormente convertidos para sinais digitais (utilizando o conversor AD) e enviados para o módulo de recepção através do transceptor existente no módulo de aquisição e transmissão de dados.

Procedimento das análises

Os equipamentos sob monitoramento (termômetro, pHmetro e condutivímetro) foram conduzidos ao local de análise juntamente com o módulo de aquisição e transmissão de dados e acoplados ao mesmo, conforme descrito anteriormente. Este módulo foi projetado para realizar análises *in situ* e, portanto, poderá ser ligado em rede elétrica convencional (110 ou 220 V, 60 Hz) ou em módulo de bateria (9 V). O termômetro e o pHmetro desenvolvidos também podem ser operados em módulo de bateria, o que viabiliza o monitoramento desses equipamentos em locais remotos e sem acesso à energia elétrica. Quanto ao condutivímetro comercial isso não é possível, uma vez que não é operado por baterias (instrumento de bancada), necessitando da rede elétrica convencional. O termômetro e o condutivímetro foram alocados próximos ao reservatório de água e os seus sensores foram cuidadosamente imersos (termistor e os eletrodos) na água. Para isso, o termistor foi colocado na ponta de um tubo de vidro sendo imobilizado e selado empregando-se resina epóxi, deixando exposta apenas a parte sensora. Para o monitoramento envolvendo o pHmetro óptico duas formas de inserção de amostras são possíveis, em fluxo (utilizando bomba peristáltica para preencher o compartimento óptico) ou em batelada (usando seringa para preencher o compartimento). Neste trabalho o procedimento em fluxo foi adotado por conveniência, uma vez que tínhamos uma extensão elétrica que estava sendo utilizada para ligar o condutivímetro à rede elétrica (220 V).

Uma vez ligados os equipamentos sob monitoramento e os módulos de aquisição e transmissão de dados, esses são transmitidos do ponto de coleta e recebidos de modo simultâneo no laboratório. Para apresentação dos dados no microcomputador foi desenvolvido um software escrito em Labview 5.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração dos equipamentos sob monitoramento

As equações pertinentes às curvas de calibração de temperatura ($mV = 254,27 + 10,37 T (^{\circ}C)$) e pH ($mV = 0,690 + 0,018 pH - 0,010 pH^2 + 0,660 pH^3$) obtidas com os instrumentos *labmade* forneceram coeficientes de regressão (r) de 0,9997 e 0,998, respectivamente. As equações obtidas para cada curva e seus respectivos parâmetros de regressão foram gravados na memória EEPROM do microcontrolador PIC, de modo a se obter os valores de temperatura e pH em suas respectivas unidades.

Para o parâmetro condutividade não foi elaborada uma curva de calibração, pois a calibração foi realizada com uma única solução padrão ($1,0 \text{ mmol KCl L}^{-1}$), ou seja, foi realizada uma calibração direta com um único ponto.²⁰ Assim, o valor da razão da condutividade da solução padrão pela sua resposta foi arquivada na memória EEPROM do microcontrolador PIC e usada na obtenção das condutividades da água do reservatório, que estava sendo monitorada remotamente.

Os valores relativos aos parâmetros de calibração foram obtidos usando medidas realizadas sempre em triplicata para cada solução padrão de calibração. Uma verificação destes parâmetros é realizada pelo microcontrolador antes de cada análise. Se, de modo geral, os valores dos parâmetros de cada calibração forem discordantes em mais que 5,0%, automaticamente o microcontrolador alerta para a necessidade de um reajuste, que é executado mediante a realização de uma nova calibração dos equipamentos acoplados ao módulo de aquisição/transmissão dos dados do sistema de monitoramento remoto desenvolvido.

Por possuir um conversor A/D de 10 bits, o módulo de aquisição/transmissão possui uma resolução de 4,88 mV, suficiente para permitir que o equipamento realize a conversão digital dos dados

analógicos oriundos dos instrumentos sob monitoramento (pHmetro, termômetro e condutivímetro) sem qualquer perda de informação. Estudos realizados por Gaião *et al.*²¹ comprovaram que não existe diferença ao nível de confiança de 95% entre os sinais digitalizados por uma interface de apenas 8 bits com os sinais apresentados nos *displays* dos instrumentos (pHmetro, condutivímetro e fotômetro) analisados. Dessa forma, os resultados obtidos com um conversor A/D de 10 bits, aqui utilizado, não comprometem a exatidão das determinações realizadas. A resolução apresentada pelo conversor AD para medidas de pH e temperatura foi de 4,88 mV/0,014pH e 4,88 mV/0,48 °C, respectivamente. Assim, uma variação de 1 unidade de pH e 1 grau Celsius (°C) produz uma variação de 348,57 e 10,17 mV, respectivamente; valores estes bem acima de 4,88 mV, que é a resolução do conversor AD presente no microcontrolador utilizado.

Curvas de monitoramento

A fim de realizar uma análise contínua do comportamento do sistema de transmissão de dados, foram obtidas curvas de temperatura, condutividade e pH (Figura 4) relacionadas ao monitoramento *on-line*, *in situ* e remoto de um reservatório de água durante um período de

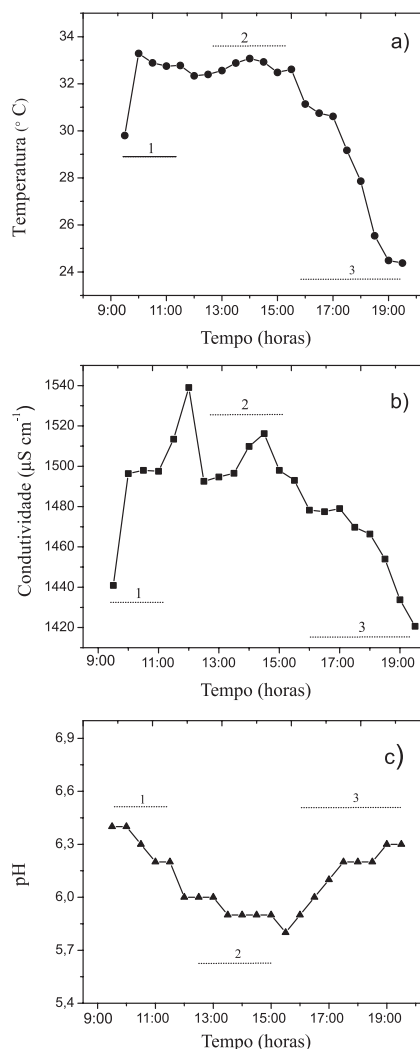


Figura 4. Curvas de: (a) temperatura, (b) condutividade e (c) pH obtidas no monitoramento do reservatório de água, empregando o sistema de monitoramento remoto desenvolvido. As três regiões 1, 2 e 3 (representadas pelas linhas pontilhadas) referem-se aos períodos de monitoramento de 9:00-12:00 h, 12:00-15:30 h e 15:30-19:30 h, respectivamente

10 h. Este reservatório ficava a uma distância de 200 m do módulo de recepção remota dos dados

Analisando os resultados em termos do desempenho do sistema de monitoramento, pode-se concluir que as curvas de monitoramento se apresentam sem interrupção na comunicação entre os módulos de aquisição/transmissão e recepção de dados, como também com baixa interferência e ruído instrumental. As variações nos parâmetros foram detectadas simultaneamente e obteve-se um erro relativo médio em torno de 4,0% entre os dados visualizados no LCD do módulo de transmissão e aqueles transmitidos, recebidos e visualizados no computador acoplado ao módulo de recepção dos dados. Além disso, foi observado também que durante a transmissão simultânea das medidas de temperatura, condutividade e pH ocorreu ausência de interferência entre os fluxos de dados transmitidos pelo sistema, comprovando que ele permite a transmissão múltipla de sinais com boa performance.

Numa análise mais detalhada, pode-se notar que durante o monitoramento da temperatura, da condutividade e do pH da água analisada, três regiões distintas foram observadas nos gráficos da Figura 4. Essas regiões referem-se aos períodos de monitoramento de 9:00-12:00 h (região 1), 12:00-15:30 h (região 2) e 15:30-19:30 h (região 3). A variável temperatura é responsável por alterar a condutância e a atividade das espécies iônicas presentes em solução, influenciando diretamente nas medições de condutividade e pH, por alterar principalmente a atividade dos íons H^+ na água monitorada.²² Assim, ao analisar a região 1 da Figura 4a observa-se que a variável temperatura aumentou aproximadamente 4 °C (de 29 para 33 °C) em curto espaço de tempo (30 min) e, logo após, estabilizou-se nessa temperatura. Esse aumento de temperatura foi suficiente para promover uma elevação na condutividade (Figura 4b) e uma diminuição do pH da água analisada (Figura 4c) para o mesmo período de monitoramento. Para a região 2, a temperatura se estabiliza e, de modo geral, foram observadas estabilizações da condutividade e do pH. Entretanto, para a região 3 observa-se o efeito antagônico ao apresentado na região 1, onde a temperatura diminui de 31 °C para aproximadamente 24 °C, acarretando uma diminuição acentuada da condutividade (1480 para 1420 $\mu S\ cm^{-1}$) e um aumento do pH (5,8 para 6,4) da água analisada. É importante salientar que durante essas medições o reservatório de água não sofreu qualquer influência externa, a não ser das próprias condições naturais e que essas variações de temperatura no período de monitoramento são comuns na cidade de João Pessoa – Paraíba, onde está situado o tanque de água. Dessa forma, pode-se concluir que o equipamento correspondeu ao esperado, haja vista a possibilidade de avaliação da evolução temporal desses parâmetros de modo simultâneo, *in situ* e *on-line*, que pode ser utilizada para fiscalizar e monitorar corpos d'água com rapidez e precisão.

CONCLUSÕES

O sistema de monitoramento *on-line*, *in situ* e remoto desenvolvido neste trabalho apresentou as seguintes características: boa estabilidade durante a transmissão remota, baixo ruído, portabilidade, baixo custo e possibilidade de monitoramento remoto de até seis parâmetros simultaneamente. O sistema de monitoramento apresentou uma boa performance e robustez quando acoplado aos instrumentos sob monitoramento, independentemente se estes foram desenvolvidos em laboratório (termômetro digital e pHmetro óptico) ou adquiridos comercialmente (condutímetro).

O sistema proposto é simples, barato e de fácil instalação e pode ser acoplado a qualquer outro instrumento de medida, possibilitando

a aquisição em condições reais de um conjunto de dados necessário para a investigação da evolução temporal de parâmetros de interesse. Com o seu uso, as amostras podem ser monitoradas de forma rápida e sem a necessidade de coleta, transporte e armazenamento, o que reduz o custo por análise e os erros na manipulação das amostras.

MATERIAL SUPLEMENTAR

O material suplementar está disponível gratuitamente na forma de arquivo .PDF em <http://www.quimicanova/sbq.org.br>. Como na Figura 2 foram mostradas apenas as ligações transceptor-microcontrolador e transceptor-porta serial, foi inserido em material suplementar o circuito de acondicionamento do transceptor com todas as trilhas de acesso aos seus pinos de controle (Figura 1S). Também está disponível o código fonte do programa em linguagem C, que controla as funções do microcontrolador.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas e pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Mozeto, A. A.; Jardim, W. F.; *Quim. Nova* **2002**, 25, 7.
2. North Dakota Department of Health; *North Dakota Department of Health Chemistry Division quality assurance plan*, Bismarck: North Dakota, 2003.
3. Agência Nacional de Águas; *Assessoramento à Implantação do Monitoramento da Quantidade e Qualidade da Água do Paraíba do Sul – Relatório Final*. 2002.
4. Sherlan, G. L.; Nogueira, A. R. A.; *J. Agric. Food Chem.* **2004**, 52, 5810.
5. Capelo, S.; Mira, F.; Bettencourt, A. M.; *Talanta* **2007**, 71, 1166.
6. Newbery, K. B.; Southwell, C.; *Cold Reg. Sci. Tech.* **2009**, 55, 47.
7. Wundram, D.; Löffler, J.; *Inter. J. Remote Sens.* **2008**, 29, 961.
8. Martens, H.; Naes, T.; *Multivariate Calibration*, Wiley: London, 1993.
9. Marengo, E.; Gennaro, M. C.; Giacosa, D.; Abrigo, C.; Saini, G.; *Anal. Chim. Acta* **1995**, 317, 53.
10. Vega, M.; Pardo, R.; Barrado, E.; Deban, L.; *Water Res.* **1998**, 32, 3581.
11. Ahmad, S. R.; Reynolds, D. M.; *Water Res.* **1999**, 33, 2069.
12. Voncina, D. B.; Dobcnik, D.; Nocić, M.; Zupam, J.; *Anal. Chim. Acta* **2002**, 462, 87.
13. Pereira, F.; *PIC: Programação em C*, 2ª ed., Érica: São Paulo, 2003.
14. Santos, V. B.; Nascimento, E. C. L.; Lima, R. S.; Araújo, M. C. U.; Santos, S. R. B.; Fragoso, W. D.; Azevedo, W. M.; *Sens. Actuators, B*, no prelo.
15. Gaião, E. N.; Medeiros, E. P.; Lyra, W. S.; Moreira, P. N. T.; Vasconcelos, P. C.; Silva, E. C.; Araújo, M. C. U.; *Quim. Nova* **2005**, 28, 1102.
16. <http://www.microchip.com>, acessada em Junho 2010.
17. <http://www.rfmodules.com.au/rm/dsheets/tr2m.pdf>, acessada em Outubro 2010.
18. <http://www.mikroelektronika.com>, acessada em Junho 2010.
19. <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>, acessada em Junho 2010.
20. Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J.; Crouch, S. R.; *Fundamentos de Química Analítica*, 8ª ed., Thonson: São Paulo, 2006.
21. Gaião, E. N.; Medeiros, E. P.; Lyra, W. S.; Moreira, P. N. T.; Silva, E. C.; Araújo, M. C. U.; *Quim. Nova* **2004**, 27, 825.
22. Moore, W. J.; *Physical Chemistry*, Prentice-Hall Inc.: Englewood Cliffs, 1962.