

Emprego de estações totais robotizadas na automação, controle e aquisição de dados, voltado ao monitoramento de barragens

RESUMO

Atualmente com a evolução do instrumental utilizado em levantamentos geodésicos, especialmente no que diz respeito a robotização de estações totais, é possível a utilização destes em monitoramento geodésico contínuo, principalmente em estruturas de grande porte. No presente trabalho foi abordada a maneira de se estabelecer comunicação e controle destes instrumentos de medição através do desenvolvimento de programas que permitiram o envio e o recebimento de dados, em uma comunicação entre a estação total robotizada e o computador. Foram testadas as interfaces de comunicação que o instrumento utilizado neste trabalho, dentre elas: conexão via cabo serial, Bluetooth®, e link de rádio. Também foi estudado o protocolo de comunicação específico para este instrumento, disponibilizado pelo fabricante. O objetivo foi o desenvolvimento de um programa de computador que permitisse o controle de uma estação total robotizada Leica TCRA1205, voltado a aplicações de monitoramento geodésico.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento Geodésico. Automação. Estações Totais Robotizadas.

Marco Aurélio Debus Nadal

marco@nadal.eng.br
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Luis Augusto Koenig Veiga

kngveiga@gmail.com
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Pedro Luis Faggion

faggion@ufpr.br
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Carlos Aurélio Nadal

cnadal@ufpr.br
orcid.org/0000-0002-7394-434X
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Marcos Alberto Soares

marcos.asoares@copel.com
Copel Geração e Transmissão S.A.,
Curitiba, Paraná, Brasil.

INTRODUÇÃO

A construção de obras civis acarreta o acúmulo de cargas repousando em áreas do terreno onde anteriormente não se tinha nada, resultando em mudanças na estabilidade. Isto pode vir a ocasionar recalques diferenciais ou movimentações do corpo da barragem. Logo, a ordem de grandeza destas deformações ou dos deslocamentos deve ser acompanhada ou monitorada, significando um acompanhamento contínuo e sistemático, visando evitar perdas financeiras, ou o que é pior, humanas, devido a possíveis acidentes oriundos dos efeitos desses deslocamentos como fora observado recente no rompimento da barragem de Fundão, localizada no subdistrito de Bento Rodrigues, a 35 km do centro da cidade brasileira de Mariana, Minas Gerais, que ocorreu na tarde de 5 de novembro de 2015.

Uma das maneiras de executar o monitoramento do deslocamento de pontos ao longo do tempo é a aplicação de técnicas geodésicas. As técnicas geodésicas convencionais baseiam-se no uso de instrumentos como estações totais e níveis, e na aplicação de métodos como triangulação, trilateração, poligonização e nivelamento geométrico. Além destas técnicas destaca-se ainda o monitoramento empregando-se o GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) e mais recentemente o monitoramento geodésico empregando-se laser scanner.

O monitoramento geodésico de estruturas tem embasado estudos técnicos, como por exemplo Palazzo (2005), que demonstra a utilização da técnica em pontes rodoviárias, ou ainda Muguio (2012) que a utiliza no monitoramento contínuo da barragem da UHE de MAUÁ, cujo relatório completo da implantação da rede de auscultação geodésica é apresentado por Faggion et al. (2012). Outro exemplo de monitoramento a ser citado é o monitoramento geodésico empregado na Usina Hidrelétrica Governador José Richa, conhecida como UHE Salto Caxias, onde diversos trabalhos de pesquisa têm sido realizados, podemos citar dentre outros Granemann (2005) que participou do estabelecimento da rede geodésica de monitoramento da estrutura da barragem, Zocolotti (2005) que discorre sobre o estudo de técnicas de poligonização no monitoramento das galerias internas da referida barragem. Temos ainda como resultado destes trabalhos, relatórios técnicos de análise dos dados obtidos nas campanhas de monitoramento, como por exemplo os feitos por Veiga et al. (2006). Nesta UHE, há uma rede de monitoramento a jusante da barragem do reservatório, formada por seis pilares de concreto engastados na rocha e dotados de sistema de centragem forçada. Para a determinação de coordenadas de pontos da rede são empregadas técnicas de trilateração e triangulação. Esta rede serve para realizar o monitoramento externo do muro que forma a barragem e também para apoiar uma poligonal geodésica de alta precisão conduzida no interior das galerias de inspeção da mesma. Esta rede pode ser observada na Figura 1.

Destacam-se nessa figura os pilares P1 e P3 onde é instalada uma estação total robotizada, com a finalidade de mensurar os deslocamentos absolutos, ao longo do tempo, dos pontos determinados na face a jusante da barragem.

Figura 1 – Rede externa de monitoramento geodésico



Fonte: Nadal (2008).

Com o avanço tecnológico da instrumentação utilizada, os goniômetros ou teodolitos empregados em décadas passadas em topografia convencional, deram lugar às estações totais, que mais recentemente receberam servos-motores, transformando-se em robotizadas. A comunicação, o controle e a aquisição remota de dados deste tipo de equipamento são o escopo deste trabalho, e serão doravante discutidos.

AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

No processo tradicional de monitoramento empregando-se estações totais, o operador fica junto ao instrumento fazendo a pontaria nos pontos de interesse. Com o advento de estações totais robotizadas, as quais permitem, entre outras coisas, a realização da busca e pontaria automática dos pontos monitorados, o conceito de realização das observações muda. Não é mais necessária a presença do observador durante a realização de todas as medições. No caso mais simples, usualmente, o operador faz a pontaria em todos os pontos de interesse, armazenando a posição desses pontos na memória do instrumento e depois as demais séries são executadas automaticamente. Outra situação possível ocorre quando as coordenadas dos pontos são gravadas na memória do instrumento e este, após um processo de inicialização, que consiste na orientação do instrumento, faz todas as observações.

Em ambos os casos a estação pode estar configurada para realizar as medições e além de gravar na memória, enviar os dados para uma interface de saída serial ou rádio, para que as observações sejam registradas em um terminal remoto.

Além disto, existe ampla possibilidade de operação remota do instrumento via enlace de rádio. Neste caso todo controle da estação pode ser transferido para uma unidade remota que apresenta as mesmas funções que seriam encontradas no instrumento.

No presente trabalho utilizou-se uma estação total robotizada, da marca Leica *Geosystems*[®], modelo TCRA1205, que dentro de uma ampla gama de potencialidades, permite realizar as operações citadas anteriormente. Esta estação é mostrada na Figura 2.

Figura 2 – Estação total robotizada TCRA1205.



Fonte: Nadal (2008).

Existe a possibilidade do desenvolvimento de aplicativos especiais (voltados à execução de uma atividade específica de medição) que podem ser utilizados na operação da estação através de um computador, sendo necessário neste caso um link de comunicação (rádio ou cabo), sendo que este faz a conexão do computador, onde está sendo executado este aplicativo, e a estação.

Com isto, é possível instalar o equipamento na área a ser realizado o monitoramento, e o operador pode estar em outro local controlando o instrumento. Em situações de risco esta é uma forma de evitar a exposição do operador a situações potenciais de dano.

TESTES DAS INTERFACES DA ESTAÇÃO ROBOTIZADA.

A estação total robotizada da Leica *Geosystems*® empregada neste estudo, modelo TCRA 1205 apresenta algumas peculiaridades quanto às interfaces disponíveis para comunicação. São elas:

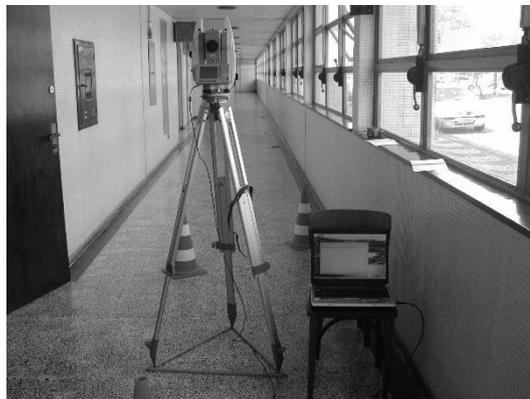
- GSI Output: No Geo Serial Interface os dados são enviados diretamente para a RS 232;
- GeoCOM Mode: um conjunto de comandos que permitem o controle da estação por meio de um dispositivo externo, no caso um computador externo;
- RCS Mode: O Remote Control Surveying, permite que o instrumento seja controlado remotamente pelo dispositivo RX 1200 que pode também ser utilizado como rádio modem;
- Export ASCII: Permite que dados de um trabalho sejam exportados pelo instrumento para um dispositivo externo como um computador ou unidade de armazenamento.

Estas modalidades de comunicação logicamente dependem de portas de saída para que seja possível sua transmissão. Para este equipamento existem basicamente três formas de se fazer isto:

- Através de cabo de transmissão serial, ligando o instrumento a porta de comunicação do computador e fazendo esta coleta de dados ou controle do equipamento via software;
- Através de dispositivo Bluetooth® que são adaptadores que realizam comunicação através de ondas de rádio, na frequência ISM (Industrial, Scientific, Medical) e que operam em torno de 2,45GHz, onde os dados são enviados a um dispositivo devidamente sincronizado com a TCRA, e a coleta de dados ou ainda o controle do equipamento é feito da mesma forma que a anterior;
- Através de dispositivo de controle remoto RX 1200, que consiste num dispositivo que apresenta as funções de controle remoto da TCRA, ou ainda pode ser utilizado como rádio modem, função que pode ser habilitada com o uso de sua porta de comunicação onde se pode ligar um dispositivo externo de controle ou aquisição de dados. O RX 1200 permite três modalidades de controle, o remoto propriamente dito, o modo transparente onde este dispositivo funciona como um rádio modem e as informações são trocadas diretamente com um computador ou outro dispositivo, e o modo semitransparente, que é um híbrido dos anteriores.

Na Figura 3 pode-se observar uma das formas de ligação descritas anteriormente, a ligação por cabo da TCRA com um computador.

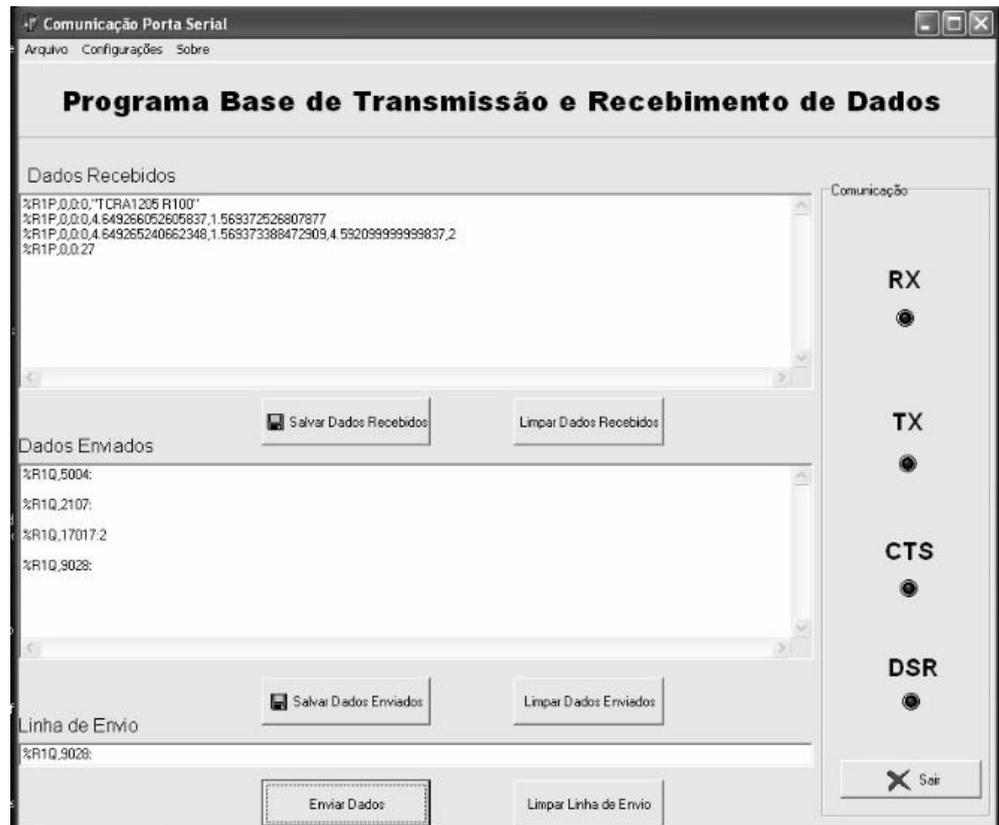
Figura 3 – Ligação TCRA-Computador via cabo.



Fonte: Nadal (2008).

O *software* desenvolvido baseia-se na comunicação serial de dados que preconiza que as mensagens digitais normalmente são mais longas que alguns bits, e por uma questão de praticidade e economia não são normalmente transmitidas de forma paralela, ou seja, simultânea. A transmissão bit-serial converte a mensagem em um bit por vez através de um canal, onde cada bit representa uma parte da mensagem. Os bits são reagrupados e reordenados no destino de forma a compor a mensagem original. A transmissão *bit-serial* é normalmente conhecida como transmissão serial e é utilizada por diversos periféricos de computadores, quando não diretamente por cabos é emulada via *softwares* como será visto adiante com os dispositivos *Bluetooth*®. O *software* desenvolvido para este tipo de comunicação tem sua tela principal mostrada na Figura 5, onde os campos de recepção de dados e transmissão dos mesmos podem ser observados.

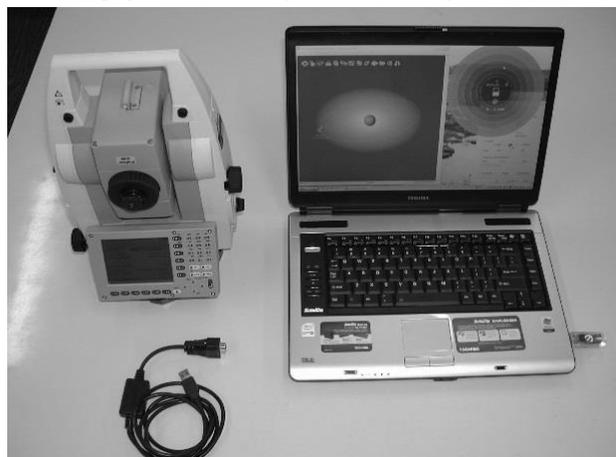
Figura 4 – Tela Principal do Software de comunicação serial.



Fonte: Nadal (2008).

Outra modalidade de comunicação é feita através da tecnologia *Bluetooth*[®], onde através de experimentos realizados observou-se que ao utilizar-se um dispositivo dessa natureza o sistema operacional emula uma porta de comunicação tipo COM, permitindo assim uma transmissão de dados tipo serial. A Figura 5 demonstra um experimento desta natureza realizado com o propósito de explorar essa potencialidade disponível no equipamento.

Figura 5 – Ligação TCRA-Computador via dispositivo *Bluetooth*[®].



Fonte: Nadal (2008).

Finalmente pode-se fazer o interfaceamento via dispositivo próprio fornecido pelo fabricante do equipamento, um controle remoto que pode ser

utilizado ainda como rádio modem, no caso o RX 1200. O conjunto pode ser observado na Figura 6 em um experimento realizado com o objetivo de testar o uso do dispositivo em um túnel, aqui representado por um corredor de alvenaria e concreto.

Figura 6 – Comando remoto da TCRA via dispositivo RX 1200.



Fonte: Nadal (2008).

Estes experimentos, bem como o entendimento do funcionamento destes equipamentos, são necessários para o desenvolvimento de aplicativos de automação no monitoramento geodésico.

PROGRAMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Uma vez entendido como se processa a comunicação entre o computador e a estação total, passou-se ao desenvolvimento do programa que permite o controle de algumas das principais funções da estação total.

Desta forma desenvolveu-se um aplicativo em plataforma *MS-Windows*[®] e linguagem de programação Borland Delphi[®] que tem sua tela inicial mostrada na Figura 7.

Figura 7 – Tela inicial do programa.



Fonte: Nadal (2008).

Nesta tela pode-se ver as abas que compõem as diversas etapas que possibilitam executar corretamente o procedimento de medição. Ainda são apresentados os logotipos das instituições que contribuíram para o desenvolvimento do projeto de pesquisa de auscultação geodésica, além do nome do autor e uma imagem ilustrativa da estação total robotizada TCRA1205 com a barragem da UHE Salto Caxias ao fundo.

Após realizadas as configurações do equipamento e, a medição e aquisição de dados se processa conforme observa-se a seguir:

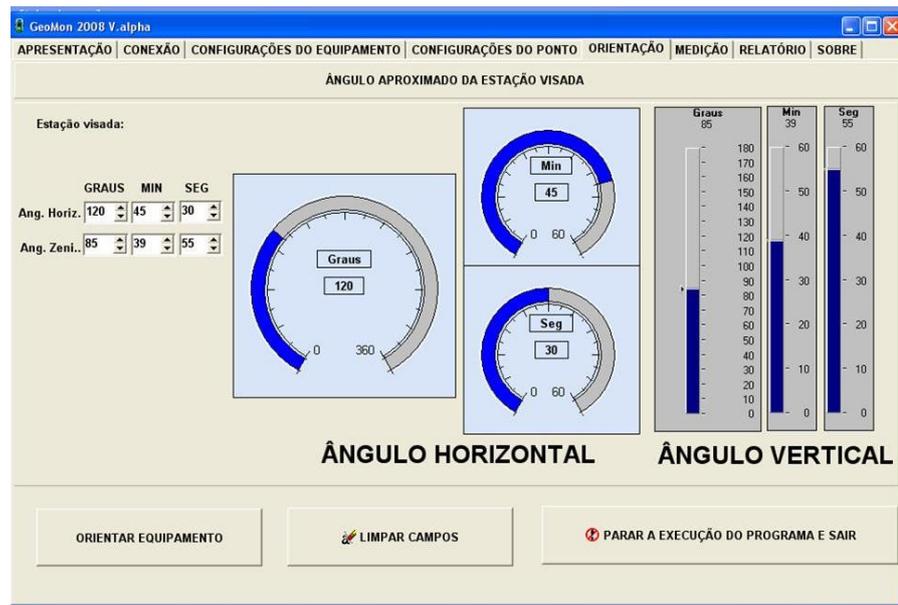
Para o comando de movimentação da estação é utilizada a aba de entrada do ângulo aproximado da estação visada, onde se pode entrar com o ângulo zenital e o horizontal em graus, minutos e segundos, isto porque para o protocolo GeoCOM® (que permite comandar externamente a movimentação da estação robotizada através do envio de linhas de comando) o valor do ângulo deve ser enviado em radianos, o que é convertido dentro do programa.

Com o uso do botão “orientar o equipamento” o comando de movimentação é enviado juntamente com os valores dos ângulos (em radianos) e o equipamento faz pontaria para o local desejado. Esta pontaria é refinada pelo sistema de ATR® (*automatic target recognizer*), que processa o reconhecimento automático do alvo.

A opção de limpar campos é utilizada para a entrada dos valores dos ângulos pelo teclado quando não se deseja clicar nos *spinbuttons* e esperar o valor pretendido. É importante ressaltar que a qualquer momento é possível abortar a operação executada e fechar o programa através do botão “parar a execução do programa e sair”.

A tela de orientação para pontaria do instrumento é mostrada na Figura 8:

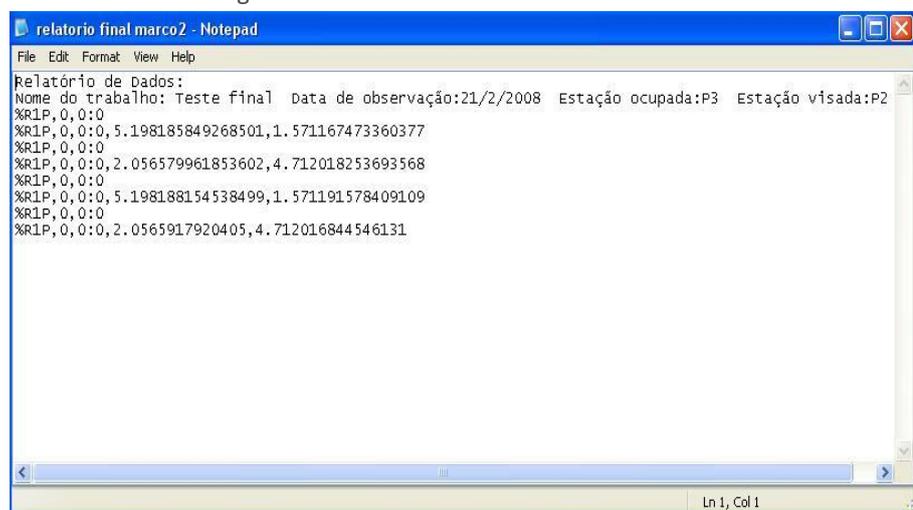
Figura 8 – Tela de orientação de pontaria do instrumento.



Fonte: Nadal (2008).

Depois da etapa de orientação do equipamento, passa-se às medições propriamente ditas, onde a automação é possível. Após todas as medições feitas passa-se a aba de “relatório de dados obtidos brutos” onde são mostradas janelas de: dados enviados, onde todos os comandos enviados são mostrados em código utilizado pelo protocolo GeoCOM® e dados recebidos, onde os valores retornados pelo instrumento são apresentados inclusive com os ângulos obtidos em radianos. Finalmente na última das janelas apresentadas (relatório de dados) são concentradas todas as informações de cabeçalho inseridas na aba “configuração dos parâmetros de nomenclatura utilizada” e também todos os dados de entrada e saída no computador, que poderão ser salvos em um arquivo de formato texto (txt) para posteriormente ser processado. Um exemplo desta tela é exibido na Figura 9.

Figura 9 – Tela de relatório de dados obtidos.



Fonte: Nadal (2008).

Finalmente pode-se fazer o interfaceamento via dispositivo próprio fornecido pelo fabricante do equipamento, um controle remoto que pode ser utilizado ainda como rádio modem, no caso o RX 1200. O conjunto pode ser observado na Figura 6 em um experimento realizado com o objetivo de testar o uso do dispositivo em um túnel, aqui representado por um corredor de alvenaria e concreto.

DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

O entendimento dos princípios de comunicação, transmissão de dados e funcionamento dos equipamentos de medidas utilizados em levantamentos geodésicos, fornecem o subsídio necessário para o desenvolvimento de um software de comunicação sendo uma etapa fundamental no processo de automação aplicada ao monitoramento de estruturas.

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver e experimentar um programa que permitisse o controle e a operação remota de estações totais robotizadas, dentro do contexto de monitoramento, ou auscultação geodésica. Como premissa de funcionamento este programa deveria ser capaz de estabelecer a comunicação com o instrumento de medição, através do protocolo de comunicação estabelecido pelo fabricante do equipamento, comandar a movimentação do instrumento e executar a medição de um sistema de pontaria composto basicamente por um prisma refletivo. Como o projeto de pesquisa foi elaborado tendo em vista o sistema de auscultação geodésica implantado na UHE Salto Caxias, o programa foi desenvolvido pensando-se nesse sistema, porém não se limita apenas a isto, podendo ser alterado ou adaptado para diversos fins,

Conforme dito anteriormente este tipo de metodologia de trabalho tem uma gama bastante interessante de aplicações, pois sempre que houver riscos envolvidos, ou repetibilidade de tarefas, torna-se interessante o uso de máquinas operadas remotamente.

Recomenda-se que, com o entendimento do processo de comunicação deste tipo de equipamento, que um programa que permita esta operação em um número de séries de medição definidos seja desenvolvido por um programador profissional, já que este possui mais familiaridade com bibliotecas de comunicação diversas.

E ainda que, em trabalhos futuros, sejam unidos os diversos módulos que compõem um sistema de monitoramento geodésico, para que este estudo possa ser completado e utilizado em grandes barragens pelo Brasil como uma complementação do monitoramento físico, que é o mais difundido e em uso na atualidade.

Application of robotic total stations in automation, control and data acquisition, applied to monitoring dams

ABSTRACT

Currently with the evolution of the instrument used in geodesic surveys, especially in the projects that uses robotic total stations, it is possible the use of these in continuous geodesic monitoring, mainly in structures of great port. In the present work, it was boarded the way of establishing communication and control of these instruments of measurement. It were developed a program that allow sending and receive data in a communication between the robotic total station and the computer. It were tested the communication interfaces used in the instrument tested, amongst them: serial connection, Bluetooth®, and link of radio. And was still studied the specific protocol of communication for this instrument. The objective of the work was the development of a computer program that allows the control of a robotic total station Leica TCRA1205, for applications of geodesic monitoring.

KEYWORDS: Geodesic Monitoring. Automation. Robotic Total Stations.

AGRADECIMENTO

Os autores gostariam de agradecer o apoio e financiamento da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica - Brasil), através do projeto CGER 032 – INTEGRAÇÃO DA AUSCULTAÇÃO GEODÉSICA COM A INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLE E SEGURANÇA DA BARRAGEM DE SALTO CAXIAS, através de programa P&D desenvolvido em conjunto com a Companhia Paranaense de Energia (Copel) e Universidade Federal do Paraná através do Departamento de Geomática e Instituto Lactec.

REFERÊNCIAS

GRANEMANN, D. Estabelecimento de uma rede geodésica para monitoramento de estruturas: estudo de caso na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

FAGGION, P. L.; NADAL, C. A.; VEIGA, L. A. K. Relatório Técnico 01-2012 Projeto PD6491-0227/2011 - Monitoramento Geodésico - Projeto e Implantação da rede de Auscultação Geodésica da UHE Mauá. Departamento de Geomática – Universidade Federal do Paraná, 2012.

MUGUIO, M. R. Implantação e análise da estação GNSS para o monitoramento contínuo da barragem da Usina Hidrelétrica de MAUÁ. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 2012.

NADAL, M. A. D. Controle e Operação Remota de Estações Totais Robotizadas Voltado à Auscultação Geodésica. Dissertação de Mestrado – 2008 - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

PALAZZO, D. R. O uso de uma ETR associada a um sistema geodésico de referência para o monitoramento dinâmico de pontes. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

VEIGA, L. A. K.; FAGGION, P. L., FREITAS, S. R. C.; NADAL, C. A. Relatório Técnico Integração da auscultação geodésica com a instrumentação de controle e segurança de barragem de Salto Caxias. Departamento de Geomática – Universidade Federal do Paraná, 2006.

ZOCOLOTTI Junior, C. A.. Utilização de técnicas de poligonização de precisão para o monitoramento de pontos localizados em galerias de inspeção: estudo de caso da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-

Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

Recebido: 20 jun. 2016

Aprovado: 09 dez. 2016

DOI: 10.3895/rbgeo.v5n1.5509

Como citar: NADAL, M. A. D.; VEIGA, L. A. K.; FAGGION, P. L.; NADAL, C. A.; SOARES, M. A. Emprego de estações totais robotizadas na automação, controle e aquisição de dados, voltado ao monitoramento de barragens. **Rev. Bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 018-030, jan/mar. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Marco Aurélio Debus Nadal

Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210, Jardim das Américas, Caixa Postal 19001, CEP 81531-990, Curitiba, Paraná, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

