

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS

Development of an Automation system of digital levels

SILVIO HENRIQUE DELLESPOSTE ANDOLFATO¹
PEDRO LUIS FAGGION²

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Campus Pato Branco - Via do Conhecimento - km 01
CEP 85.503-390 – Pato Branco - PR

²Universidade Federal do Paraná – UFPR
Setor de Ciências da Terra - SCT
Centro Politécnico – Jardim das Américas
Caixa Postal 19001 – CEP- 85.531-990 – Curitiba PR
e-mail: andolfato@utfpr.edu.br ; faggion@ufpr.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Sistema de Automação para Níveis Digitais – SAND, composto por uma plataforma que aloja os motores de passo e os sistemas de engrenagem para realizar o monitoramento de estruturas de obras civis, em tempo real, de forma automática, ou seja, sem a necessidade de um técnico para operar o nível. Esta plataforma é controlada por uma placa microcontroladora, que permite o movimento horizontal do nível geodésico digital, sem a interferência do observador. Além disso, esta plataforma acomoda um motor que é utilizado para realizar a focalização da imagem das miras verticais que são instaladas junto ao objeto que se deseja realizar o monitoramento. Utilizando técnicas do nivelamento geométrico, o SAND realiza as leituras da mira com códigos de barra, visando à determinação dos desníveis entre os pontos de interesse e com isso determinar possíveis deslocamentos da estrutura. Os resultados obtidos e apresentados demonstram a viabilidade da aplicação da metodologia proposta.

Palavras-chave: Nível Digital; Sistema de Automação; Monitoramento de Estruturas.

ABSTRACT

This paper presents the development of an Automation System for Digital Levels - SAND, consisting of a platform that houses the stepper motors and gear systems to perform the monitoring of civil structures in real time, automatically, i.e., without the need for a technician to operate the level. This platform is controlled by a microcontroller board, which allows horizontal movement of geodesic level digital, without interference from the observer. In addition, this platform accommodates an engine that is used for focusing the image of the vertical sights that are installed next to the object you want to perform the monitoring. Using leveling techniques, the SAND takes readings of sight with bar codes, to determine the gaps between the points of interest and thereby determine possible shifts in the structure. The results presented and demonstrate the feasibility of the proposed methodology.

Keywords: Level Digital; Automation System; Monitoring of Structures.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento preciso de recalque de grandes estruturas é possível de ser realizado utilizando nivelamento geométrico. Em muitas estruturas é necessário o acompanhamento do deslocamento ao longo do tempo e sem interrupções. Nestas circunstâncias o desgaste do operador é inevitável podendo causar inconsistência nos resultados obtidos.

Buscando disponibilizar uma ferramenta para atender esta necessidade, desenvolveu-se um sistema de automação de níveis geodésicos digitais, que dispensa o operador através da automação do movimento horizontal, do sistema de focalização do nível e armazenamento dos dados.

Atualmente, entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores que substitua o trabalho humano e que vise a soluções rápidas e econômicas para atingir os complexos objetivos das indústrias e dos serviços (MORAES; CASTRUCCI, 2001, p.15).

Segundo Veiga *et al* (2006), do ponto de vista prático, por automação entende-se um sistema automático pelos quais os mecanismos controlam seu funcionamento, dispensando, quase por completo, a interferência do ser humano. O autor também conclui, que independente do grau de automatização, o objetivo final é comum, que a intervenção do operador seja a mínima possível, da coleta dos dados até a representação final da área levantada.

Segundo Cintra (1993) o processo de automação topográfica iniciou-se na década de 1960 com a construção dos teodolitos-taquímetros, desenvolvido pelas empresas FENNEL e KERN, que gravava as medidas em um filme fotográfico de 35 mm. Este autor trata, ainda, das automações dos trabalhos de campo e de escritório, onde são apresentados os processos tradicionais e eletrônicos, equipamentos topográficos eletrônicos, automação dos cálculos e de projetos.

Sistemas de automação e coleta de dados podem ser observados em grandes obras de engenharia, onde os estudos realizados verificam a praticidade e os bons resultados obtidos com esta técnica, que caracteriza como a solução mais prática e econômica ao uso de estações totais robotizadas em um sistema completo de automação na obtenção de medidas (LUTES, et al, 2001). Com o programa apropriado, os dados podem ser coletados, processados automaticamente e transferidos para os locais de análise gerando uma redução de trabalho e custo necessários para a coleta dos mesmos. (NADAL, 2008).

Em trabalhos de nivelamento geométrico, realizados pela equipe de pesquisadores da UFPR, vinculados ao Projeto Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Usina de Salto Caxias, utilizando níveis digitais, chegou-se a precisão de $0,5\text{mm} \cdot \sqrt{k}$, mostrando assim, a eficácia da utilização desses equipamentos em nivelamentos de alta precisão.

Apesar do GPS e outras técnicas alternativas para determinação de altitudes, o nivelamento clássico tem mantido sua importância, especialmente no domínio de nivelamentos de primeira e segunda ordem, de determinações de altitudes precisas e determinações de alturas em túneis. (SCHNEIDER; DIXON, 2002).

A idéia de desenvolver um sistema automatizado para a determinação de desníveis empregando-se níveis digitais tem como um dos itens a ser trabalhado o entendimento de como é realizada a leitura do código de barras gravado na mira, para que seja desenvolvido um dispositivo para realizar as leituras automaticamente.

2. METODOLOGIA

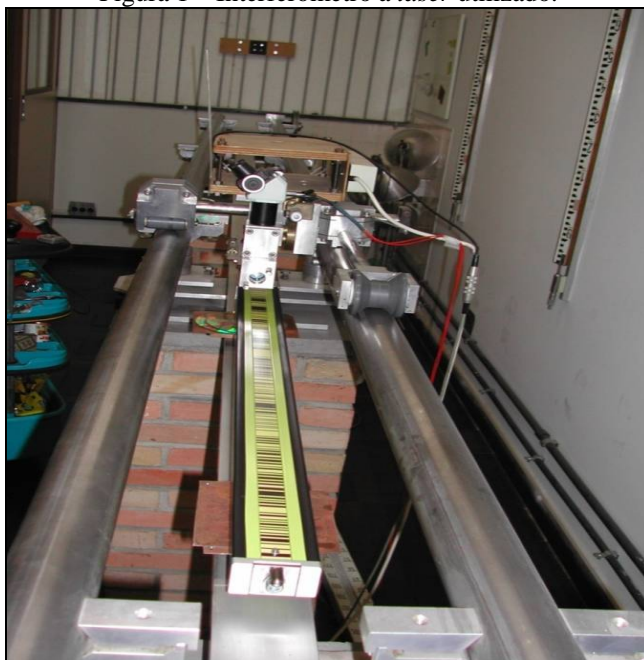
2.1 Desenvolvimento do Sistema de Automação do Nível Digital - SAND

Além do nível digital (instrumento) propriamente dito, para entendimento do SAND, têm-se os seguintes componentes, a saber:

- a- Miras com código de barras (alvos construídos);
- b- Hardware: motores de passo, dispositivo de adaptação dos motores, driver de potência e placa microcontroladora;
- c- Software: programa para movimentação do nível digital.

2.1.1 Miras com Código de Barras (Alvos Construídos)

Para este trabalho foi realizado uma checagem das informações técnicas referente à mira com códigos de barras, sendo realizada uma análise da mira de invar da Leica, modelo GWCL92, nº 9117 (LEICA, 2004), onde foram medidas as espessuras dos elementos de códigos pretos e brancos, realizadas no interferômetro a laser (Figura 1), do Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica – LAIG, na Universidade Federal do Paraná - UFPR.

Figura 1 – Interferômetro a *laser* utilizado.

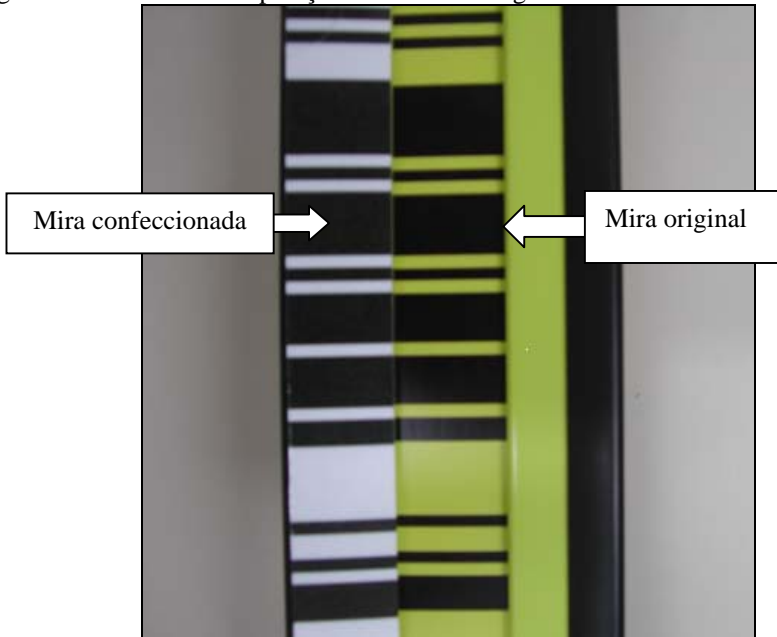
Primeiramente, partiu-se para a análise do código, verificando com auxílio de um paquímetro, as espessuras de cada elemento do mesmo, obtendo-se a seqüência entre os códigos pretos e brancos, tendo em cada espessura um múltiplo de 2,025 mm. Adotou-se a nomenclatura de “P” para o elemento de código preto e “B” para o branco, seguido do múltiplo “M” em questão. Como exemplo, tem-se:

PM = elemento de Código Preto x Múltiplo de 2,025 mm (exemplo: P3 = Preto com espessura de $3 \times 2,025$, totalizando 6,075 mm);

BM = elemento de Código Branco x Múltiplo de 2,025 mm (exemplo: B2 = Branco com espessura de $2 \times 2,025$, totalizando 4,050 mm).

Assim, com os elementos do código de barra determinados, construiu-se os alvos, através da plotagem em papel dos mesmos, sendo posteriormente plastificados. A Figura 2 mostra a comparação da mira original com o alvo confeccionado.

Figura 2 – Detalhe da comparação entre a mira original e o alvo confeccionado.



2.1.2 Hardware

O *hardware* estabelecido para o SAND é composto por 4 partes básicas: motores de passo, Dispositivo de Adaptação dos Motores de Passo – DAMP, *driver* de potência e a Placa Microcontrolada para Comando dos Motores de Passo – PMCMP.

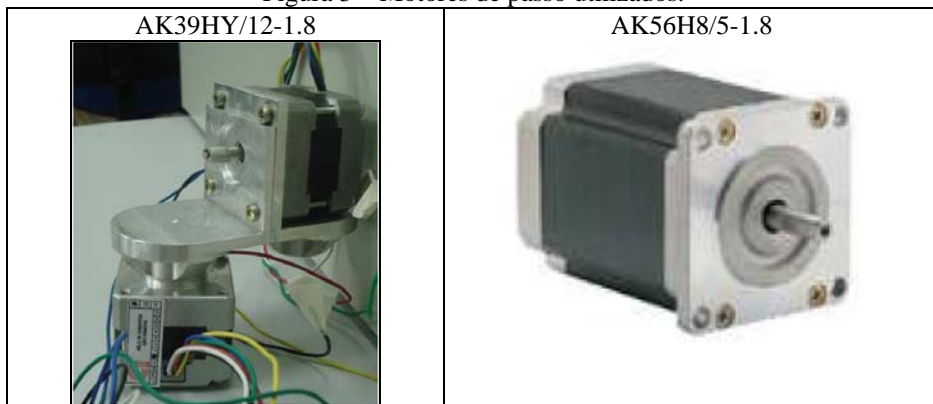
3.1.2.1 Motor de Passo

Um motor de passo é um dispositivo digital. Isto quer dizer que ele se movimenta conforme recebe pulsos de tensão contínua numa determinada frequência. O motor de passo responde fielmente a cada pulso e esta é a principal característica dele. Ao receber o sinal, o motor faz um incremento rotativo que é chamado de passo (LEITE *et al*, 2003).

Neste trabalho utilizou-se dois motores de passo (Figura 3), um para o movimento horizontal do nível digital e outro para o movimento de focalização da imagem da mira, ambos do modelo AK39HY/12-1.8, com 200 passos ($1,8^\circ$) para o ajuste da focagem e o AK56H8/5-1.8 para o giro horizontal do nível, adquiridos da

empresa Akiyama Tecnologia em Componentes Eletrônicos Ltda. AKIYAMA, 2009b; AKIYAMA, 2009c).

Figura 3 – Motores de passo utilizados.



3.1.2.2 Dispositivo de Adaptação dos Motores de Passo – DAMP

Para a adaptação dos motores utilizados ao nível digital, de forma que esta adaptação fosse realizada externamente ao instrumento, foi projetado e construído um dispositivo onde os motores fossem instalados para que pudessem executar as suas funções, quer sejam do ajuste de focagem e do movimento horizontal do instrumento. A Figura 4 mostra o projeto e o DAMP construído.

Figura 4 – Dispositivo de Adaptação dos Motores de Passo.



3.1.2.3 Driver de Potência

O driver de potência modelo AKDMP5-1.7A (Figura 5) foi adquirido da mesma empresa fornecedora dos motores de passo, Akiyama Tecnologia em Componentes Eletrônicos Ltda. Este driver apresenta algumas chaves de seleção onde podem ser selecionados as divisões do passo em 1:2, 1:5, 1:10, 1:20 e 1:40, sendo correspondidos em ângulos ($^{\circ}$) de 0,9, 0,36, 0,18, 0,09 e 0,045, respectivamente. (AKIYAMA, 2009a).

Figura 5 – Driver de potência.



3.1.2.4 Placa Microcontroladora para Comandos dos Motores de Passo – PMCMP

O sistema de controle, acionamentos e comunicação serial é proveniente de uma placa eletrônica, conhecida popularmente como Roboduino 1.0; a qual é proveniente de um projeto *open source* (ARDUINO, 2010a). Seus principais componentes e características são:

- Microcontrolador ATMEGA168 ou ATMEGA328;
- Circuito de comunicação com micro-computador ou laptop via USB-Serial;
- Fonte interna e externa com reguladores de tensões.

O microcontrolador envia sinais em duas entradas da placa de potência. Na primeira é enviado pulsos elétricos numa determinada frequência controlando assim a quantidade de passos e a velocidade do motor. Na segunda entrada é enviado um sinal comandando o sentido de giro do motor: nível alto (5V) o motor gira no sentido horário e nível baixo (0V) o motor gira no sentido anti-horário.

O *driver* de potência recebe os sinais do microcontrolador e recebe de uma fonte de energia, uma tensão de 12 a 24 V e aciona suas saídas, mandando energia para as bobinas do motor de passo.

A programação do microcontrolador foi elaborada no *software* Arduino Alpha V. 0018, o qual também é *open source* e pode ser localizado facilmente na internet (ARDUINO, 2010b).

Neste programa, o operador faz a marcação da posição das miras colocadas em pontos de interesse, gravando a quantidade de passos do motor necessários para a movimentação entre os pontos desejados, tanto para o giro horizontal quanto para o ajuste do foco, podendo selecionar a opção de realizar “n” repetições de leituras com um intervalo de tempo entre elas, que pode variar de 1 a 60 minutos, ou seja, caso se coloque 2 repetições e 15 minutos, o sistema realizará as duas medições nos pontos gravados e após 15 minutos realizará outras duas medições nestes mesmos pontos, e assim se repete sucessivamente.

4 TESTES REALIZADOS

4.1 Testes com as Miras Confeccionadas

De posse das miras com códigos de barra confeccionados, realizou-se uma calibração da mesma, com o uso do interferômetro a *laser*, obtendo-se o resultado apresentado na Tabela 1, com o objetivo de verificar se o nível digital conseguia realizar a leitura das mesmas.

Tabela 1 - Diferenças encontradas da mira original com a mira confeccionada (10^{-3} mm).

código	padrão	soma	leitura	diferença	código	padrão	soma	leitura	diferença
início	0	0	0	0	B1	2025	194400	194391	9
B5	10125	10125	10120	5	P3	6075	200475	200475	0
P3	6075	16200	16203	-3	B1	2025	202500	202493	7
B3	6075	22275	22279	-4	P2	4050	206550	206555	-5
P1	2025	24300	24304	-4	B2	4050	210600	210594	6
B3	6075	30375	30369	6	P3	6075	216675	216670	5
P1	2025	32400	32394	6	B1	2025	218700	218700	0
B1	2025	34425	34421	4	P2	4050	222750	222749	1
P3	6075	40500	40494	6	B1	2025	224775	224773	2
B1	2025	42525	42523	2	P1	2025	226800	226799	1
P2	4050	46575	46569	6	P2	4050	230850	230841	9
B1	2025	48600	48601	-1	P1	2025	232875	232874	1
P1	2025	50625	50622	3	B3	6075	238950	238947	3
B2	4050	54675	54669	6	P2	4050	243000	243003	-3
P1	2025	56700	56698	2	B1	2025	245025	245019	6
B1	2025	58725	58723	2	P2	4050	249075	249074	1
P1	2025	60750	60742	8	B1	2025	251100	251101	-1
B1	2025	62775	62774	1	P2	4050	255150	255153	-3
P2	4050	66825	66822	3	B1	2025	257175	257170	5
B1	2025	68850	68852	-2	P1	2025	259200	259201	-1
P1	2025	70875	70877	-2	B7	14175	273375	273362	13

As diferenças encontradas ficaram na ordem do micrômetro (10^{-3} mm), devido ao processo de impressão da mira, que fora feito em dois materiais para testes, em papel sulfite e em plástico tipo PVC sendo que foram utilizadas as miras em PVC devido a sua facilidade de uso.

Verifica-se que a maior diferença encontrada entre a mira original e a mira confeccionada foi de 0,013mm, sendo que este resultado não interfere nas leituras e consequentemente nas diferenças de nível.

Para a verificação das miras confeccionadas, realizou-se um experimento com a leitura dessas miras, adotando-se a visada Ré (fixa) realizada com a mira original e as visadas Vante com as miras confeccionadas, colocadas em dois pontos, chamados aqui por Vante 1 e Vante 2, obtendo-se o desnível entre os pontos Ré e Vante ($\Delta H1$ e $\Delta H2$).

Apresentam-se na Tabela 2 os valores das leituras realizadas e o desnível calculado:

Verifica-se que nos resultados realizados com as leituras das miras, tanto a original quanto as confeccionadas, apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que as diferenças entre as medições ficaram na ordem do centésimo do milímetro (10^{-5} mm), demonstrando que as miras confeccionadas apresentam-se aptas para sua utilização.

Tabela 2 – Desníveis calculados utilizando as miras confeccionadas em Vante 1 e Vante 2.

Medição	Leitura Ré (m)(mira original)	Leitura Vante 1 (m)	$\Delta H1$ (m)(Ré - Vante1)	Leitura Vante 2 (m)	$\Delta H2$ (m) (Ré – Vante2)
1	0,53680	0,75842	-0,22162	0,47154	0,06526
2	0,53681	0,75843	-0,22162	0,47154	0,06527
3	0,53682	0,75843	-0,22161	0,47155	0,06527
4	0,53681	0,75842	-0,22161	0,47155	0,06526
5	0,53680	0,75842	-0,22162	0,47155	0,06525
6	0,53679	0,75840	-0,22161	0,47153	0,06526
7	0,53679	0,75840	-0,22161	0,47152	0,06527
médias	0,5368028	0,7584171	-0,2216143	0,4715400	0,0652628

4.2 Testes com o SAND

Com a utilização prática do SAND, foram realizados diversos testes de funcionamento do sistema, verificando a sua funcionalidade e repetibilidade nas obtenções das leituras das miras confeccionadas, colocadas em dois pontos, chamados de 1 e 2.

A Figura 6 mostra um segmento do arquivo gerado em um dos testes realizados com o SAND. Considerando que este arquivo é extenso (várias linhas), verifica-se que o sistema teve uma duração de 7h 45min 41s, sendo realizadas duas repetições de leituras com um minuto de intervalo entre as repetições.

Figura 6 – Detalhe do arquivo gerado pelo SAND.

RelatorioSAND_laig7 - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

laig_7
curitiba/PR
ufpr
teste

Ponto	Altura	Distância	Data/Hora
1	000,00000	00000,000	2010-08-26 08:11:52
2	000,34401	00006,998	2010-08-26 08:12:33
1	000,36156	00005,647	2010-08-26 08:13:17
2	000,34402	00006,999	2010-08-26 08:13:58
1	000,36156	00005,647	2010-08-26 08:13:42
2	000,34656	00007,003	2010-08-26 08:16:23
1	000,36156	00005,648	2010-08-26 08:17:06
2	000,34657	00007,003	2010-08-26 08:17:47
1	000,36155	00005,647	2010-08-26 08:19:32
1	000,36926	00005,598	2010-08-26 15:51:38
2	000,38002	00006,981	2010-08-26 15:52:19
1	000,36930	00005,597	2010-08-26 15:53:02
2	000,37996	00006,981	2010-08-26 15:53:43
1	000,36927	00005,599	2010-08-26 15:55:27
2	000,37996	00006,981	2010-08-26 15:56:08
1	000,36929	00005,599	2010-08-26 15:56:52
2	000,37996	00006,981	2010-08-26 15:57:33

início

Duração
7h45m41s

término

Um segundo teste realizado verificou a diferença de leituras encontradas (desníveis entre as miras colocadas nos pontos 2 e 1), onde a mira do ponto 1 permaneceu fixa e a mira do ponto 2 fora deslocada de forma aleatória (simulando-se um possível deslocamento do ponto), obtendo-se as diferenças mostradas na Figura 7. Nota-se neste teste que o SAND foi capaz de obter as leituras, ao longo de um período de 5h 51min 02s.

Figura 7 – Diferenças de alturas encontradas.

laig_6
curitiba/PR
ufpr
teste

Ponto	Altura	Distância	Data/Hora	Diferenças de alturas (m) (ponto2 - ponto1)
1	000,38010	00005,650	2010-08-25 14:34:49	0,00740
2	000,38750	00005,841	2010-08-25 14:35:06	
1	000,38010	00005,651	2010-08-25 14:35:26	0,00739
2	000,38749	00005,842	2010-08-25 14:35:42	
1	000,38010	00005,642	2010-08-25 18:08:08	0,03349
2	000,34661	00005,849	2010-08-25 18:08:25	
1	000,38011	00005,641	2010-08-25 18:08:45	0,03348
2	000,34663	00005,848	2010-08-25 18:09:02	
1	000,38012	00005,642	2010-08-25 20:24:57	0,03179
2	000,34833	00005,840	2010-08-25 20:25:15	
1	000,38012	00005,641	2010-08-25 20:25:34	0,03178
2	000,34834	00005,840	2010-08-25 20:25:51	

5 CONCLUSÃO

O sistema mostrou-se adequado para a obtenção das leituras das miras colocadas em pontos de interesse, realizando de forma contínua, a obtenção das leituras das miras, podendo ser de minuto em minuto, verificando possíveis deslocamentos que possam ocorrer nos pontos monitorados.

A automação de níveis digitais, desenvolvida neste trabalho, se mostrou eficiente para realizar o monitoramento contínuo de recalque de estruturas.

No primeiro teste realizado, o SAND ficou coletando dados durante 7h 45min 41s, com um intervalo entre séries de 1 minuto. Num trabalho de monitoramento com estas características seria impossível de ser desenvolvido por um técnico operando o nível de forma tradicional, demonstrando assim que este sistema é viável e prático para a obtenção das leituras das miras.

Já no segundo teste, durante um período de 5h 51min 02s, a mira nº 2 (ponto 2) foi deslocada de forma aleatória por 2 vezes e a mira nº 1 ficou imóvel (simulando-se um deslocamento no ponto 2). No início a leitura média no ponto 2 estava em torno de 0,38750m. Após o primeiro deslocamento da mira sua leitura média passou a ser de 0,34661m e após o segundo deslocamento passou a 0,34833 m.

Percebe-se que neste teste que o SAND é capaz de obter leituras após um possível deslocamento, determinando-se assim o desnível entre os pontos de controle juntamente com o horário em que este deslocamento ocorreu.

Os resultados obtidos mostram que o SAND pode ser empregado no monitoramento de obras de engenharia, tais como: usinas hidrelétricas, pontes, edificações urbanas, entre outras, buscando-se o aumento da produtividade, coletando-se dados de forma contínua e durante longos períodos, subsidiando a tomada de decisão, quando detectados deslocamentos absolutos ou relativos entre os pontos de controle.

O custo de fabricação do sistema de automação de níveis digitais (SAND) é baixo considerando os benefícios que o sistema traz na execução do monitoramento de uma obra durante e após sua construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIYAMA. *Manual do usuário – AKDMP5-1.7A – Driver motor de passo de 2 fases*. Disponível em: <http://www.motores.akiyama.com.br/pdf/Manual%20%20AKDMP5-1.7A.pdf>. Acesso em: 25 de ago. de 2009a.
- AKIYAMA. *Motor de passo AK39H/12-1.8 - datasheet*. Disponível em: <http://www.akiyama.com.br/site/mercados-e-solucoes.php?id=6&id2=284&id4=26>. Acesso em: 25 de ago. de 2009b.
- AKIYAMA. *Motor de passo AK56H8/5-1.8 - datasheet*. Disponível em: <http://www.akiyama.com.br/site/mercados-e-solucoes.php?id=6&id2=286&id4=26>. Acessado em 25 de agosto de 2009c.

- ARDUINO. Disponível em: <http://arduino.cc/en/Main/Software>. Acesso em: 10 jun. 2010a.
- ARDUINO. Disponível em <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>. Acesso em: 10 jun. 2010b.
- CINTRA, J. P. *Automação da topografia: do campo ao projeto*. 120p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
- LEICA. *DNA03/DNA10 - Manual do usuário*. Versão 1.2 – Português. 2004.
- LEITE, B. H. F. C.; LIMA, E. J. C.; LEÃO, F. L.; PRESTES, R. F. *Estudo do motor de passo e seu controle digital* (2003). Disponível em: http://recreio.gta.ufrj.br/grad/01_1/motor/. Acesso em: 13 Fev. 2008.
- LUTES, J.; CHRZANOWKI, A.; BASTIN, G.; WHITAKER, C. *'Dimons' programa for automatic data collection and automatic deformation analysis*. The 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements. 2001.
- MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. *Engenharia de automação industrial*. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- NADAL, M. A. D. *Controle e operação remota de estações totais robotizadas voltado à auscultação geodésica*. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 2008.
- SCHNEIDER, F.; DIXON, D. *The New Leica Digital Levels DNA03 and DNA10*. In: FIG XXXII International Congress. Washington, D.C. USA, 2002.
- VEIGA et al. O Uso de Poligonais de Precisão para o Monitoramento de Pontos em Galerias de Drenagem: A Experiência na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. In: *Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens*, p. 287-295. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. São Paulo-SP, 2006.

(Recebido em junho de 2010. Aceito em maio de 2011.)