



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## CONSTRUÇÃO DE UM INCLINÔMETRO APLICADO AO MONITORAMENTO DE OBRAS GEOTÉCNICAS

**Rodrigo Siqueira Penz, Me**

Professor do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Passo Fundo  
[rodrigopenz@upf.br](mailto:rodrigopenz@upf.br)

**Paulo Sérgio Corrêa Molina, Dr**

Professor do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Passo Fundo  
[molina@upf.br](mailto:molina@upf.br)

**Mayara Pitol**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica Universidade de Passo Fundo  
[mayarapitol@hotmail.com](mailto:mayarapitol@hotmail.com)

**Resumo.** *Com a finalidade de prevenir grandes movimentos de massas de solo, possibilitando reduzir os prejuízos, para a natureza e para a população, as medições preventivas de pequenos deslocamentos são realizadas através de uma sonda com um inclinômetro, que sendo deslocadas através de tubos previamente inseridos dentro do solo medem o formato atual do tubo, podendo então comparar com formatos anteriores e, portanto, determinar pequenos movimentos transversais do tubo e conseqüentemente do solo. Neste trabalho, foi desenvolvido uma sonda, com um sensor de inclinação, acoplado em um conversor Analógico-Digital (A/D) de 16 bits com comunicação Inter-Integrated Circuit (I2C) para transmissão de dados à superfície. É utilizado um microcontrolador para gerenciar os dados de profundidade provindos de um encode, a inclinação, provindo da sonda. Há também, uma interface de usuário, que apresente na tela e grava em arquivo tipo "CSV" os resultados das medições.*

**Palavras-chave:** *A/D de 16 bits. Inclinômetro.*

### 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Defesa Civil, nos ambientes urbanos, que abrigam a grande maioria da população brasileira, as inundações, enxurradas e os deslizamentos de solo ou rocha constituem-se nos eventos que causam os maiores impactos sociais, por isso buscam-se melhores soluções para evitar estes acidentes. A instrumentação e o monitoramento de diferentes tipos de obras geotécnicas se tornam essenciais e, desta forma, o uso da sonda com inclinômetro deve ser incorporado a gama dos instrumentos utilizados Penz [1].

A característica básica de um inclinômetro é possuir um sensor que realiza a medição do ângulo formado entre seu corpo e a vertical gravitacional, efetuando esta medição na parede interna de um tubo guia Dunclicliff [2]. Além desta medição, é necessário que um método reconheça a profundidade da sonda. Atualmente, este método é manual, através de marcações prévias no cabo de ligação e sustentação do corpo da sonda, que também é conhecido como torpedo. A distância destas marcações devem ser igual a distância entre os rodízios do torpedo, desta forma, realizando uma linearização de pequenos seguimentos de reta ao longo do trecho de excursão da sonda.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO INCLINÔMETRO

O presente trabalho desenvolve um inclinômetro com a distância entre rodízios reduzidas, discretizando em maior número de segmentos o trecho medido. Também, utiliza uma conversão analógico/digital (A/D) de 16 bits na medição do ângulo da sonda. Os dados digitalizados, oriundos da sonda, são enviados pelo cabo de ligação e sustentação da sonda em protocolo I2C até o microcontrolador, que agrega ao sinal recebido da comunicação I2C os sinais de profundidade do encoder e transmite automaticamente através de um sistema Bluetooth até a uma interface de leitura, constituída por um microcomputador convencional (PC) com sistema operacional *Windows*, denominando este de Sistema de Aquisição de Dados de Inclinação (SADi).

O sistema desenvolvido buscou manter o tradicional método de medição de inclinação, ou seja, utilizando tubo guia, sonda, cabo elétrico e um sistema de interface de leitura. Entretanto, o sistema de interface para a aquisição dos dados é realizada através de um PC e não uma *interface* dedicada, como ocorre nos inclinômetros atuais do mercado. Na Figura 1 é demonstrada a distribuição esquemática do projeto.

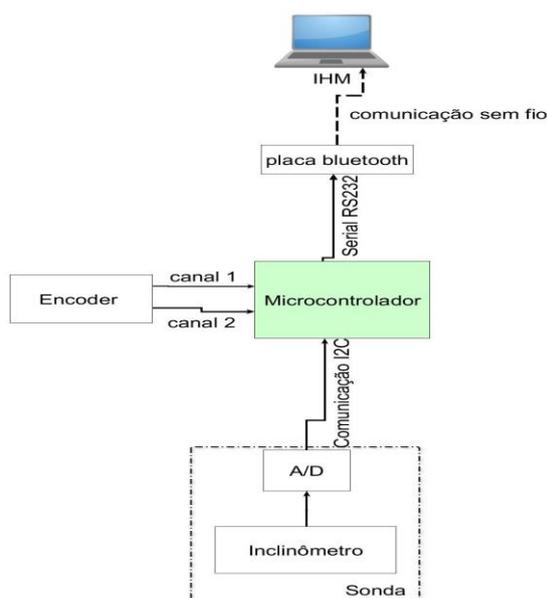


Figura 1: Distribuição esquemática do projeto.

O sistema eletrônico do SADi está montado sobre uma sonda construída em aço inox 316, com rodízios distanciados de 150 mm, corpo em tubo de 25,4 mm de diâmetro e comprimento total de 400 mm como apresentado na Figura 2.



Figura 2: Corpo da sonda.

Uma das vantagens na redução da distância entre os rodízios é a maior precisão na medição da inclinação, efetivando o aumento o número de segmentos de retas formados pela medição, como apresenta a Figura 3.

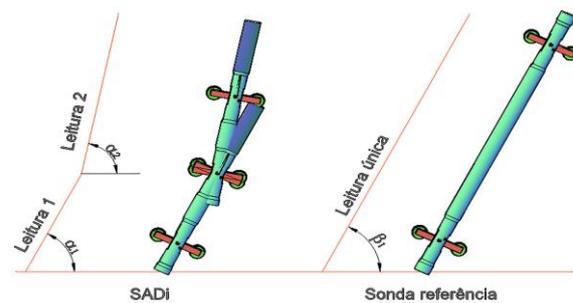


Figura 3: Comparativo entre comprimento de sondas.

Outra vantagem da redução da distância dos rodízios da sonda é a possibilidade da mesma excursionar em menores raios, como demonstra a Figura 4.

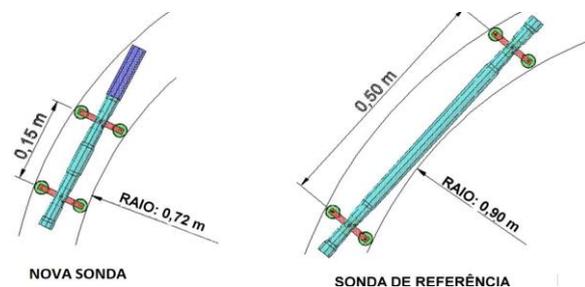


Figura 4: Comparativo entre raios de excursão de sondas.

O sensor de medição de inclinação especificado é o acelerômetro biaxial SCA-100T-D02 Figura 5, o qual realiza medições de inclinação em dois eixos, ortogonais entre

si e ambos paralelos a superfície onde é montado Sua saída analógica apresenta uma resolução de  $0,0025^\circ$ , para um *range* de  $-75^\circ$  à  $75^\circ$  Murata [3].



Figura 5: SCA100T-D02

O sensor SCA100T-D02, através de seus dois eixos de medição, possibilita realizar a medição angular no eixo direto aos rodízios e no eixo transversal aos rodízios, o que na prática podem referenciar ao esforço direto e ao esforço transversal sobre o solo medido, como apresentado pela Figura 6.

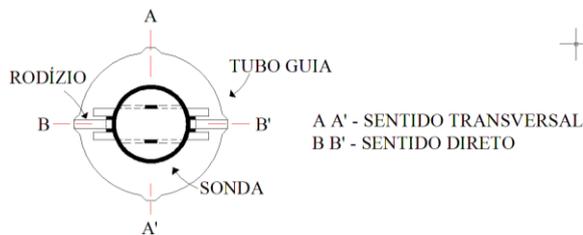


Figura 6: Posição da sonda dentro do tubo guia.

O conversor A/D é especificado, para converter o sinal analógico recebido do SCA100T-D02 para um sinal digital, é o ADS1115. Este conversor atende aos requisitos de resolução, e também a necessidade de transmissão de dados, desde a sonda até o microcontrolador, Kester[4]. Desta forma, o ADS 1115, converte o sinal analógico em um sinal digital de 16 bits, com saída serial I2C. O ADS1115, é um conversor A/D de precisão tipo sigma-delta, possui um oscilador integrado, *interface* serial compatível com I2C, quatro endereços de escravo I2C e funciona a partir de uma fonte de alimentação de 2 V a 5,5 V, National[5].

O SADi ainda apresenta um sistema que realiza a identificação da profundidade da sonda. Através deste sistema ocorre a medição automática da profundidade da sonda, reduzindo, com isso, o tempo de medição, e proporcionando uma maior exatidão nos resultados medidos.

Para efetivar a realização da medição da profundidade da sonda, foi desenvolvido um sistema de roldanas, as quais guiam o cabo elétrico e ao mesmo tempo acabam tracionando um *encoder* incremental de pulsos, que através de seus dois canais deslocados de  $90^\circ$  elétricos possibilita identificar o sentido em que a sonda está se deslocando, bem como quantificar o quanto deslocou.

O *encoder* utilizado é fabricado pela S&E Instrumentos, apresentando um total de 100 pulsos por volta. Sua roldana tracionadora possui diâmetro de 31,83 mm, o que perfaz um comprimento periférico de 99,99 mm, evidenciando uma resolução de 1 pulso/mm. O sistema de medição de profundidade é apresentado pela Figura 7.



Figura 7: Dispositivo de medição de profundidade.

O microcontrolador especificado para o SADi é o ARM EK-TM4C123GXL, da texas instruments. Este modelo possui uma capacidade de comunicar-se serialmente através de dois canais, bem como, realizar o processamento dos dados recebidos em alta velocidade, não acarretando em perdas de dados em quanto realiza a comunicação serial.

O microcontrolador é responsável por receber dados de inclinação da sonda, e realizar a identificação da profundidade da sonda através das duas entradas digitais provin-

das do *encoder*. É apresentado na Figura 8 o diagrama da sequência do *firmware*.

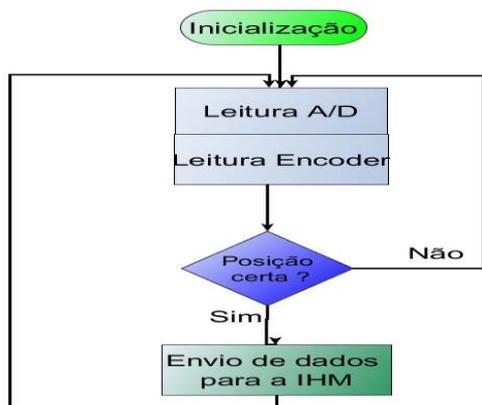


Figura 8: *Firmware* do microcontrolador.

Através da Figura 8, pode ser verificado que após a inicialização do programa o microcontrolador recebe os dados da inclinação da sonda e do *encoder*. Ao deslocar a sonda, através da tração do cabo elétrico, o *encoder* faz a leitura do movimento da sonda, o microcontrolador recebe esta informação e sempre que for totalizado um deslocamento de 150 mm da sonda, o microcontrolador envia para a sua porta serial, que através do transmissor *Bluetooth* envia ao PC o valor da profundidade e da inclinação equivalente da sonda. O PC que opera como *interface* de usuário recebe os dados provindos das medições e os converte em um arquivo .CSV, possibilitando assim, ser aberto em um programa de planilhas. Um resultado de medição é apresentado na Figura 9, onde pode ser verificado o resultado obtido em um tubo guia que apresenta 8 m de profundidade e um deslocamento em eixo direto de aproximadamente 150 mm, bem como, a medição efetuada por um inclinômetro de referência.

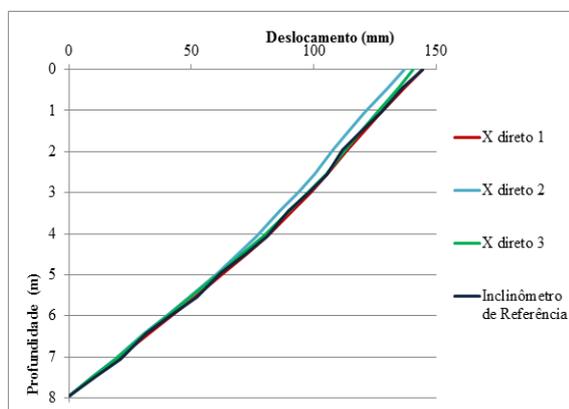


Figura 9: Resultado do SADI

## REFERÊNCIAS

- [1] Penz, Rodrigo Siqueira. Desenvolvimento de um Inclinômetro com Tecnologia MEMS aplicado ao Monitoramento de Obras Geotécnicas. 2013. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2013.
- [2] Dunnycliff, John. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. Lexington, Massachusetts: John Wiley & Sons, Inc, 1988.
- [3] Murata, Disponível em <<http://br.mouser.com/ProductDetail/Murata-Electronics/SCA100T-D02-1/?qs=eZ%252bYtvYjdJIB-drXmVvZ7zw%3D%3D>>.Acessado em 20/05/2017.
- [4] Kester, Walt, Analog Devices, inc. Data Conversion Handbook. Publicado Amsterdam : Newnes. 2005.
- [5] National Instruments, disponível em <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/32679C566F4B9700862576A20051FE8F?OpenDocument#Serial>> Acesso em 18 mai.2017 23:45.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SADI encontra-se em fase de testes, e mais ensaio estão sendo realizados com o mesmo, mas já foi possível verificar que seu funcionamento está adequado, pois foi comparado a um inclinômetro de referência. O SADI apresenta vantagens em relação aos inclinômetros atuais, principalmente na questão de agilidade de medição, devido à sua medição automática de profundidade, e o seu tamanho reduzido.