

Mauricio Tonello Vargas

DESENVOLVIMENTO DE UM *DATA LOGGER*  
APLICADO AO MONITORAMENTO DE ENCOSTAS

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Francisco Dalla Rosa, coorientação do Prof. Dr. Adriano Luís Toazza e Márcio Felipe Floss.

Passo Fundo, RS

2016

Mauricio Tonello Vargas

DESENVOLVIMENTO DE UM *DATA LOGGER*  
APLICADO AO MONITORAMENTO DE ENCOSTAS

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Francisco Dalla Rosa, coorientação do Prof. Dr. Adriano Luís Toazza e Márcio Felipe Floss.

Data de aprovação: 29 de abril de 2016.

Professor Doutor Francisco Dalla Rosa  
Orientador

Professor Doutor Adriano Luís Toazza  
Coorientador

Professor Doutor Márcio Felipe Floss  
Coorientador

Professor Doutor Rinaldo José Barbosa Pinheiro  
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Professor Doutor Paulo Sergio Correa Molina  
Universidade de Passo Fundo – UPF

Professor Doutor Antônio Thomé  
Universidade de Passo Fundo

Passo Fundo, RS

2016

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador professor Dr. Francisco Dalla Rosa, pela oportunidade de trabalho e convívio, além de sua paciência, apoio e conhecimentos repassados durante o desenvolvimento da dissertação;

Ao coorientador professor Dr. Adriano Luís Toazza, pela dedicação do seu tempo e a contribuição de conhecimento ao trabalho;

Ao professor e amigo Ms. Rodrigo Siqueira Penz, pelo incentivo desde a graduação e contribuição de conhecimento e continuidade de seu trabalho.

A minha esposa Rosângela, pela compreensão nos momentos de ausência, pelo amor, carinho e incentivo recebido;

A meu pai Carlos e minha mãe Marli, pela educação, formação e apoio que sempre recebi;

Aos meus amigos que sempre foram uma fonte de incentivo para a conclusão deste trabalho, em especial, ao amigo Jean Rigo, por toda ajuda prestada com ideias e soluções.

Ao amigo Geison Carlos Reinheimer, pelas horas de trabalho cedidas para a conclusão do Mestrado, bem como à empresa Vision Tech, pela assessoria prestada.

*Dedico este trabalho a minha esposa,  
pais, amigos e colegas, que souberam  
entender a verdadeira importância deste  
trabalho.*

*“Se A é o sucesso, então A é igual a X  
mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z  
é manter a boca fechada.”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

A existência de taludes no meio ambiente, seja natural ou artificial, ressalta a importância de estudos capazes de identificar, melhorar o uso desses, bem como de evitar o movimento de massas de solo que podem causar prejuízos tanto para a natureza quanto para a população. Diante disso, esse estudo buscou abordar a construção de um sistema de baixo custo aplicado ao monitoramento (*in situ* e a distância) de obras geotécnicas. As informações coletadas pelo sistema proposto são vitais para o gerenciamento de zonas de risco, bem como dar suporte ao monitoramento de encostas, túneis, estruturas de contenção entre outros. Nesse sentido, o estudo visou a utilização de componentes eletrônicos inseridos dentro de sondas engastadas em taludes propensos aos deslizamentos. As tecnologias aplicadas aos sensores de inclinação derivam de sistemas eletromecânicos (MEMS) os quais convertem um movimento mecânico para um sinal eletrônico, o qual deve ser interpretado a fim de gerar uma magnitude que possibilite a avaliação da inclinação. Os dados coletados são transmitidos pela sonda em formato digital para o *Data Logger* desenvolvido, este realiza a formatação dos dados recebidos de forma organizada para posteriormente arquivar em padrão \*.CSV, padrão este, comumente utilizado para arquivos de dados que pode ser visualizado posteriormente por um editor de planilhas como o Excel®.

Palavras – chave: Obras geotécnicas, Monitoramento, Sondas, MEMS, *Data Logger*, CSV.

## ABSTRACT

The existence of slopes in the environment, whether natural or artificial, emphasizes the importance of studies to identify, improve their use, as well as to prevent the movement of masses of soil that can damage both nature and the population. Therefore, this study aimed to address the construction of a low cost system applied to the monitoring (in situ and in distance) of geotechnical works. The information acquired by this system is vital to the management of risk areas, and to support monitoring of slopes, tunnels, retaining structures and others. Hence, the study focused on the use of electronic components inserted into incased probes on slopes prone to landslides. The technologies applied to the inclination sensor derived from electromechanical systems (MEMS) that convert a mechanical movement into an electronic signal, which must be interpreted in order to generate a magnitude that enables the assessment of the slope. The collected data must be transmitted by the probe digitally for the developed *Data Logger*, which will carry out the transcription of the received data in an organized way for later archiving in standard \*.CSV, commonly used for data files that can later be viewed by a spreadsheet program like Excel®.

Keywords: Geotechnical Works, Monitoring, Probes, MEMS, *Data Logger*, CSV

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Danos humanos por tipo de evento de desastre – 2013.....	21
Figura 2. Percentual de Municípios Atingidos por Tipo de Evento – 2013. ....	21
Figura 3. Óbitos por Tipo de Desastre – 2013.....	22
Figura 4. Características de um talude.....	23
Figura 5. Tipos de rupturas de taludes.....	23
Figura 6. Distribuição Temporal dos Desastres Vinculados a Movimentos de Massa zpor Macrorregião (2012).....	25
Figura 7. Distribuição por Estado dos Desastres Vinculados a Movimentos de Massa (2012).....	25
Figura 8. Distribuição Temporal dos Desastres nas Macrorregiões Vinculados aos ...	26
Figura 9. Distribuição por Estado dos Desastres Vinculados a Movimentos de Massa. .....	26
Figura 10. Modelo da sonda descrita por Machan; Bennet. ....	30
Figura 11. Estrutura geral do sistema de sensoriamento. ....	31
Figura 12. Sonda utilizada e desenvolvida por Penz.....	32
Figura 13. Comparativo entre sonda desenvolvida por Penz (2013) e sondas comerciais.....	33
Figura 14. Inclinômetro reconstruído do modelo de Da Vinci.....	34
Figura 15. SCA100T inclinômetro de eixo duplo MEMS.....	34
Figura 16. Diagrama em blocos do funcionamento do SCA100T.....	36
Figura 17. Comparativo entre inclinação e sinais eletrônicos emitidos. ....	37
Figura 18. Modelo de um sistema de aquisição de dados.....	38
Figura 19. Microcontrolador.....	39
Figura 20. Conexão entre Mestre e Escravo .....	41
Figura 21. Circuito base MAX232 .....	42
Figura 22. Módulo de comunicação serial <i>ZigBee</i> . ....	44
Figura 23. Rede de dados GPRS.....	45
Figura 24. Módulo GPRS SIM900.....	46
Figura 25. Diagrama de blocos da execução do projeto.....	47
Figura 26. Diagrama de blocos dos módulos da sonda. ....	48
Figura 27. Esboço do teste realizado. ....	49



Figura 28. Placa para teste elétrico do MCU e comunicação serial. ....	50
Figura 29. Projeto e teste da placa CPU. ....	51
Figura 30. Simulação do circuito USART. ....	52
Figura 31. Montagem do circuito USART na PCB. ....	52
Figura 32. Diagrama em blocos SD Card. ....	54
Figura 33. Formato dos 48 bits para o SD Card. ....	55
Figura 34. Template Boot Sector. ....	56
Figura 35. Template Root Directory. ....	57
Figura 36. Simulação da comunicação serial SPI do SD Card. ....	58
Figura 37. Circuito teste simulado e circuito realizado do SD Card. ....	58
Figura 38. Verificação da comunicação entre o MCU e o SD Card. ....	59
Figura 39. Placa auxiliar com CPU inserida. ....	60
Figura 40. Teste do LCD. ....	61
Figura 41. Circuito utilizado para acionamento do LCD. ....	62
Figura 42. Modelo do arquivo salvo em CSV aberto via Excel. ....	63
Figura 43. Arquivo padrão no formato *CSV. ....	63
Figura 44. Fluxograma do código teste. ....	65
Figura 45. Terminal contendo os dados recebidos da sonda. ....	66
Figura 46. Circuito de entrada digital. ....	68
Figura 47. Circuito de entrada analógica. ....	68
Figura 48. Circuito de saída com controle de corrente. ....	69
Figura 49. Circuito da Ponte H. ....	70
Figura 50. Modelo de pluviômetro basculante. ....	71
Figura 51. Sensor de temperatura NTC. ....	72
Figura 52. Sensor de luminosidade LDR. ....	72
Figura 53. Sensor de umidade do solo. ....	72
Figura 54. Imagem térmica com carga resistiva. ....	73
Figura 55. Imagem térmica com carga em curto-circuito. ....	74
Figura 56. Dados ensaiados para o eixo X. ....	75
Figura 57. Dados ensaiados para o eixo Y. ....	75
Figura 58. Cálculo do desvio padrão, da distribuição t e do intervalo de confiança do eixo X. ....	76
Figura 59. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo X <90°. ....	77
Figura 60. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo X >90°. ....	77

Figura 61. Cálculo do desvio padrão, da distribuição t e do intervalo de confiança do eixo Y.....	78
Figura 62. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo Y <90°.	79
Figura 63. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo Y >90°.	79
Figura 64. Resposta do ângulo com e sem ajuste de <i>offset</i> para o eixo X.....	80
Figura 65. Resposta do ângulo com e sem ajuste de <i>offset</i> para o eixo Y.....	80
Figura 66. Gráfico do erro por metro excursionado.....	81
Figura 67. Forma de onda da comunicação do MCU com o SD Card.....	82
Figura 68. Verificação manual do retorno ao comando CMD9.....	83
Figura 69. Terminal de visualização dos cluster.....	84
Figura 70. Imagem do SD Card inserido no PC.....	85
Figura 71. Arquivo gerado pelo <i>Data Logger</i> com os dados recebidos pela sonda salvos em *.TXT.....	86
Figura 72. Arquivo gerado pelo <i>Data Logger</i> com os dados recebidos pela sonda salvos em *.CSV abertos via Excel®.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Movimentos de massa - Grau de risco do processo em função do valor da movimentação.....	24
Tabela 2. Características do sensor SCA100T. ....	35
Tabela 3. Características do PIC18F87K22.....	40
Tabela 4. Características do Módulo <i>ZigBee (XBee)</i> .....	44
Tabela 5. Características do módulo GPRS (SIM900).....	45
Tabela 6. Condições de operação do barramento SPI. ....	55
Tabela 7. Estimativa do deslocamento superficial. ....	81

## SIGLAS

A – Ampère

EIA – Aliança das Indústrias Eletrônicas

ITU – União Internacional de Telecomunicações

SMD – *Surface Mount Device*

A/D – Analógico para Digital

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI – *American National Standards Institute*

Bps – Bits por Segundo

BW – *Bandwidth*

CI – Circuito Integrado

CKP – *Clock Polarity*

CSV – *Comma Separated Value*

dB – Decibel

EEPROM – *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*

FDC – fonte, driver e controle

GNSS – Global Navigation Satellite System

GPRS – *General Packet Radio Service*

GSM – *Global System for Mobile*

Hz – *Hertz*

IHM – Interface Homem Máquina

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IP – *Internet Protocol*

INSAR – *Interferometric Synthetic Aperture Radar*

LVTTL – *Low Voltage Transistor-Transistor Logic*

MANET – *Mobile Ad Hoc Network*

MCU – *Micro Controller Unit*

MEMS – *Micro-Electro-Mechanical Systems*

MERCOSUL – Mercado Comum do Sul

N – Newton

NBR – Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

Nibble – Número binário de 4 bits, fração de um byte  
OTDR – *Optical Time Domain Reflectometry*  
PCB – *Printed Circuit Board*  
PTH – *Pin Through Hole*  
RC – Resistor e Capacitor  
RSSF – Redes de Sensores Sem Fio  
RTCC – *Real-Time Clock/Calendar*  
SAA – *Shape Accelerat Array*  
SADi – Sistema de Aquisição de Dados de Inclinação  
SAR – *Synthetic Aperture Radar*  
SD – *Secure Digital*  
SMT – *Surfaced Mount Technology*  
SPBRG – *Baud Rate Generator*  
SPI – *Serial Peripheral Interface*  
SSPM – *Master Synchronous Serial Port Mode*  
TCP – *Transmission Control Protocol*  
TDR – *Time Domain Reflectometry*  
TIA – Associação das Indústrias de Telecomunicações  
TTL – *Transistor-Transistor Logic*  
USART – *Universal Asynchronous Receiver or Transmitter*  
V – Volts  
VGS(th) – *Gate Threshold Voltage*  
W – Watts

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Considerações Iniciais.....	16
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Objetivos.....	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos Específicos.....	18
1.4	Estrutura da dissertação.....	19
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Desastres Naturais.....	20
2.2	Taludes.....	22
2.2.1	Estabilidade de Taludes.....	23
2.3	Métodos de instrumentação e monitoramento em obras geotécnicas.....	27
2.4	Instrumentação com inclinômetros verticais utilizando MEMS.....	29
2.5	Características da sonda Utilizada.....	31
2.6	Inclinômetro Digital.....	34
2.7	Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados ( <i>Data Logger</i> ).....	38
2.8	Microcontrolador do <i>Data Logger</i> .....	39
2.9	Comunicação serial.....	40
2.10	Sistema de Comunicação sem Fio entre as Sondas.....	43
2.11	Transmissão dos Dados via GPRS.....	44
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	47
3.1	Tipo da Pesquisa.....	47
3.2	Metodologia da Pesquisa.....	47
4.	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.....	50
4.1	Montagem experimental do MCU.....	50
4.2	Comunicação serial USART.....	51
4.3	Mídia de armazenagem de dados (SD Card).....	53
4.3.1	Características eletrônicas do SD Card.....	54
4.3.2	Comunicação entre o SD Card e o microcontrolador.....	55
4.4	Comunicação serial SPI entre o MCU e o SD Card.....	57
4.5	Desenvolvimento da PCB do <i>Data Logger</i> .....	60

4.6	Display LCD.....	61
4.7	Método para armazenagem dos dados em cartão de memória – <i>Data Logger</i> .....	62
4.8	Comunicação entre a sonda e o <i>Data Logger</i> .....	64
4.9	Interface de entradas e saídas digitais e analógicas.....	67
4.10	Hardware para a movimentação automática da sonda.....	70
5.	RESULTADOS OBTIDOS.....	71
5.1	Ensaio do circuito de entradas digitais e analógicas.....	71
5.2	Ensaio do circuito de limitação de corrente nas saídas de potência .....	73
5.3	Ensaio da comunicação serial USART entre a sonda e o <i>Data Logger</i> .....	74
5.4	Avaliação dos resultados dos ângulos direto e transversal da sonda.....	75
5.5	Ensaio do circuito de comunicação serial SPI entre o SD Card e o <i>Data Logger</i> 82	
5.6	Verificação do arquivamento dos ângulos recebidos da sonda em arquivo CSV 84	
6.	CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE CONTINUIDADE.....	88
6.1	Conclusão .....	88
6.2	Sugestões de continuidade.....	89
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

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 na sociedade.

Portanto, estudos referentes a esses eventos, principalmente os relacionados à escorregamentos de massa, como por exemplo, os ocorridos no Peru (Huaraz, 1941), na China (Hong Kong, 1948 e Gansu, 2010), no Tadjiquistão (Khait, 1949), no Japão (Schigueto, 1972), na Venezuela (Vargas, 1999), na Itália (Maierato, 2010), na Índia (Estado de Uttarakhand, 2013) e no Brasil, tais como em Santa Catarina (Blumenau, 2008), Rio de Janeiro (Angra dos Reis, 2010 e região serrana, 2011) e em Minas Gerais (Mariana, 2015), estão cada vez mais presentes, uma vez que o aumento populacional e conseqüentemente, o aumento das cidades, fazem o homem procurar por novos locais de moradia e, na maioria das vezes, altera o espaço – natural e geográfico – do ambiente em que vive.

Estudos como os de Noferini et al. (2007), Soler et al. (2013), Mishra et al. (2011), Cardozo et al. (2004), França (1997), buscam melhores soluções para evitar acidentes, principalmente os deslizamentos causados nos últimos anos, devido às mudanças climáticas. Percebeu-se que estas acabaram influenciando nas estruturas do solo, as quais tiveram grandes impactos gerando desastres que acabaram afetando várias pessoas em virtude, principalmente, das enxurradas, que resultaram em desmoronamento de taludes e encostas de barragens.

Segundo a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1998), a execução de cortes nos maciços pode condicionar movimentos de massa ou, mais especificamente, escorregamento de taludes, desde que as tensões cisalhantes ultrapassem a resistência ao cisalhamento dos materiais, ao longo de uma determinada superfície de ruptura.

Assim, a utilização de técnicas de monitoramento geotécnico para a verificação do deslocamento de massas de terra é extensivamente utilizada via sensores para uso geotécnico (Ramesh, 2012; Pei et al., 2014; Rahardjo et al., 2014; Lin e Tang, 2005; Ding et al., 2000), que realizam o monitoramento de encostas – através de sondas –, sendo os principais sensores extensômetros, inclinômetros, piezômetros, medidores de tensão, células de pressão, geofones, entre outros.



A maioria dos equipamentos aplicados à geotécnica podem armazenar os dados medidos em sua memória interna. Esses equipamentos aguardam o download via mídias digitais ou as medições podem ser digitalmente guardadas em um computador de forma automática, essenciais para o monitoramento de deslocamentos.

Alguns Estados mais afetados pelos escorregamentos de massa, como Minas Gerais e Rio de Janeiro, vêm realizando e/ou exigindo estudos sobre a aplicação de sistemas de monitoramentos de obras geotécnicas para mitigar os impactos por eles gerados.

Os inclinômetros são instrumentos instalados em sondas, as quais percorrem um caminho pré-definido pela inserção de invólucros em perfurações na massa de deslizamento de terra. Essa perfuração recebe um tubo, o qual sob as ações de movimentação do maciço resultam na flexão do tubo, sendo essa detectada então através da excursão de uma sonda com um inclinômetro. Além disso, a sonda pode detectar aproximadamente a profundidade da superfície de deslizamento, e conseqüentemente uma estimativa da massa de solo envolvida no processo de deslizamento. Aliado a esse sistema, sensores de medição da umidade do solo, pluviômetros, entre outros podem complementar todas as informações necessárias ao monitoramento de áreas de risco.

## **1.2 Justificativa**

Nos últimos anos, tem sido observada uma incidência maior de acontecimentos ligados a movimentos de massa, como demonstrado por Soler et al. (2013) quando se refere aos ocorridos no Brasil, Rahardjo et al. (2014) na Ásia e Noferini et al. (2007) ao noroeste da Itália, onde os movimentos de massa são caracterizados pelo desprendimento do solo decorrentes de inúmeras causas, que vão desde os naturais até a ação do homem na natureza.

A instabilidade desses maciços em diferentes regiões do nosso país caracteriza-se como uma das principais preocupações decorrentes dos desastres naturais, que vem se agravando, principalmente, pelas mudanças climáticas recentes causando grandes danos à população que vivem em regiões dominadas pelo homem que não estavam sujeitas e/ou preparadas para a sua fixação.

A necessidade de estudos referentes a estes acontecimentos, tanto em âmbito político, quanto em âmbito acadêmico, coloca-se de extrema importância para a sociedade, em virtude da necessidade de uma maior identificação de áreas de riscos, que estejam sob o monitoramento da movimentação das massas a fim de prevenir futuros desastres.

O uso de equipamentos que realizam o monitoramento de obras geotécnicas produzidos nacionalmente é escasso em no país, quando comparado a outros que detêm uma política de combate e prevenção.

Visando a melhoria acerca de estudos referentes ao solo, é que se busca uma maneira de melhorar os equipamentos que detectam as instabilidades do solo a fim de evitar maiores danos causados por desastres naturais que afetem estas estruturas. Nesse contexto, o desenvolvimento de sistemas de monitoramento de obras geotécnicas apresenta grande potencial no país, uma vez que grande parte dos sistemas atualmente disponíveis é importada, o que acaba determinando um alto custo de implantação.

Nesse sentido, o presente estudo propõe o desenvolvimento de uma unidade de monitoramento de encostas, e que seja capaz de realizar o armazenamento em meio digital por através da utilização de cartões de memória e/ou enviá-los via sistema de radiofrequência.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um sistema de monitoramento de obras geotécnicas capaz de detectar as instabilidades do solo, através do uso de inclinômetro desenvolvido por Penz (2013) além de desenvolver um hardware para armazenamento de dados em cartão de memória para posterior avaliação.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são descritos a seguir:

- Realizar a composição de um circuito eletrônico protótipo capaz de realizar a leitura da inclinação da sonda e outros sensores com saídas analógicas, como umidade do solo, umidade do ar, temperatura e pluviosidade.
- Adicionar ao protótipo um circuito capaz de realizar a formatação e posteriormente arquivar os dados recebidos da sonda. (*Data Logger*) disponibilizando as informações em cartões do tipo SD Card.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em seis capítulos.

O capítulo 1 trata da introdução ao tema proposto pelo trabalho, além de apresentar a justificativa e os objetivos da pesquisa.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais temas utilizados na pesquisa, visando o embasamento teórico conceitual do assunto em discussão.

O capítulo 3 aborda os procedimentos e métodos adotados para o desenvolvimento do *Data Logger* proposto além de realizar o embasamento teórico para as melhorias propostas.

O capítulo 4 aborda o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados proposto, demonstrando o projeto, as montagens e o procedimento de calibração.

No capítulo 5 encontram-se os resultados obtidos oriundos dos dados recebidos da sonda proposta, funcionamento do SD Card, avaliações de funcionamento das entradas e saídas disponíveis no *Data Logger* desenvolvido.

No capítulo 6 é apresentada a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Desastres Naturais**

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) define desastres naturais, quando na natureza ocorrem diversos tipos de fenômenos que fazem parte da geodinâmica terrestre, responsáveis pela estruturação da paisagem. Mas, se ocorrerem ou se deslocarem sobre um sistema social, gera uma situação potencial de risco a pessoas e bens. Caso haja o impacto, só será considerado como desastre quando os danos e prejuízos foram extensivos e de difícil superação pelas comunidades afetadas. Se não gerar danos ou seguir sua trajetória por áreas não ocupadas, o fenômeno volta a ser considerado como evento anual.

No Brasil, após a constatação de que este evento é determinado como desastre, a Secretaria Nacional de Defesa Civil, analisa-os e publica os dados através do Anuário Brasileiro de Desastres Naturais, sendo o último publicado em 2014, com dados de 2013. Os dados coletados formam um perfil de ocorrências que auxiliam no planejamento e gerenciamento com o intuito de definir medidas de prevenção, de modo a evitar ou minimizar os impactos causados por eles.

Caracterizando os chamados eventos extremos, o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2014 traz os seguintes dados: a região Sul frequentemente é afetada por alagamentos, inundações bruscas e graduais, escorregamentos, estiagens, vendavais, tornados, nevoeiros e ressacas; na região Sudeste as principais ameaças são chuvas intensas, vendavais, granizos, geadas e friagens, secas, baixa umidade do ar e nevoeiros, bem como grande vulnerabilidade a inundações, alagamentos e enxurradas, e também secas mais severas; a região Centro-Oeste apresenta inundações, alagamentos e secas, além de incêndios florestais; já na região Norte, as inundações vêm também acompanhadas por problemas de estiagens severas; e, na região Nordeste, há a ocorrência de secas frequentes e intensas, bem como por inundações bruscas, deslizamentos e alagamentos.

De acordo com o Anuário de 2014, no ano de 2013, foram oficialmente reportados 493 desastres naturais, os quais causaram 183 óbitos e afetaram 18.557.233 pessoas, como demonstra a Figura 1.

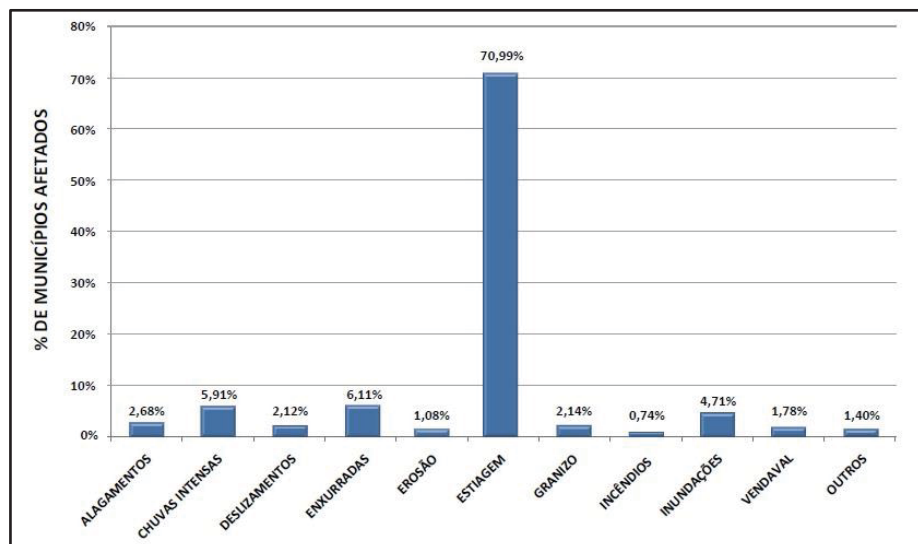
Figura 1. Danos humanos por tipo de evento de desastre – 2013.

	Óbitos	Feridos	Enfermos	Desabrigados	Desalojados	Desapa- recidos	Outros	Afetados
Alagamentos	4	279	4.306	44.330	48.260	0	180.641	277.820
Chuvas intensas	30	468	3.607	25.585	103.278	5	1.604.303	1.757.668
Deslizamentos	41	133	88	6.721	6.843	0	219.530	233.356
Enxurradas	38	787	2.324	17.266	118.074	92	778.694	931.608
Erosão	1	86	466	2.826	3.964	0	343.906	351.249
Estiagem	9	5.020	68.047	2.040	10.009	2	11.194.527	11.953.305
Geadas	0	0	0	0	0	0	0	0
Granizo	1	95	8	5.551	9.967	0	160.315	176.936
Incêndios florestais	0	0	139	113	145	0	2.970	3.367
Inundações	36	1.461	13.283	59.023	208.274	6	1.083.402	1.389.454
Vendaval	4	166	33	4.553	6.552	0	107.432	123.735
Outros	19	78	67.395	7.601	1.039	0	1.282.603	1.358.735
<b>TOTAL</b>	<b>183</b>	<b>8.573</b>	<b>159.696</b>	<b>175.609</b>	<b>516.405</b>	<b>105</b>	<b>16.958.323</b>	<b>18.557.233</b>

Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2014.

Uma correlação mais elaborada foi realizada apontando que do total de municípios afetados pelos desastres, a maioria (70,99%) foi resultado das secas ou estiagens, conforme mostrado na Figura 2.

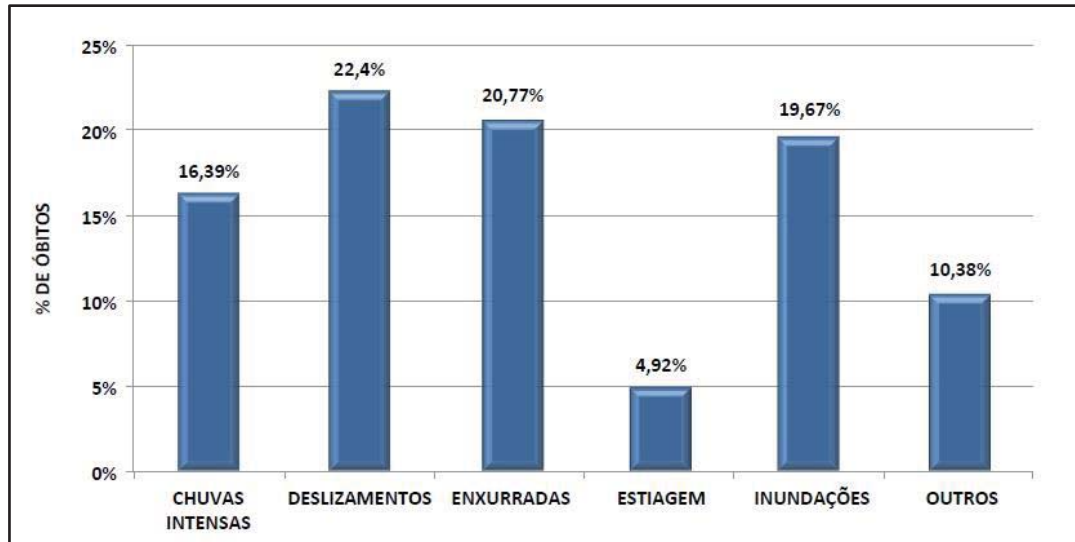
Figura 2. Percentual de Municípios Atingidos por Tipo de Evento – 2013.



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2014.

No entanto, observa-se que mesmo a estiagem sendo o principal agente causador de desastres, o movimento de massa e enxurradas são os maiores detentores de óbitos no país, como pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3. Óbitos por Tipo de Desastre – 2013.



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2014

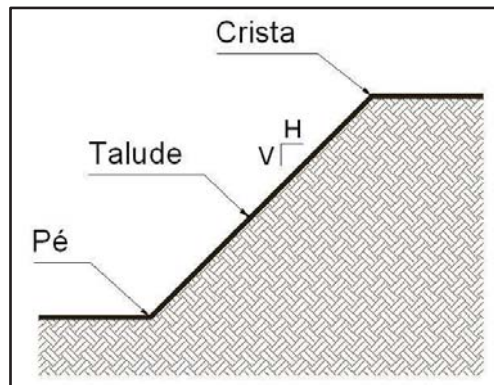
Assim, caracteriza-se a necessidade de estudos relacionados ao desenvolvimento de sistemas que possibilitem a exclusão ou a diminuição dos principais agentes causadores de desastres naturais, em especial aos movimentos de massa, principal objeto de estudo deste trabalho.

## 2.2 Taludes

Os taludes são caracterizados por apresentarem na sua geometria, uma superfície inclinada. Essa pode separar um maciço terroso ou rochoso (MENEZES, 2003). A

Figura 4 ilustra a composição de um talude, onde é possível visualizar as três principais características: a crista, o talude em si e o pé. Observa-se também a existência de um ângulo entre o plano vertical e outro horizontal.

Figura 4. Características de um talude.



Fonte: [http://dc244.4shared.com/doc/-7a9xuwa/preview\\_html\\_m5c7717ad.jpg](http://dc244.4shared.com/doc/-7a9xuwa/preview_html_m5c7717ad.jpg). Acesso em 15 nov. 2013

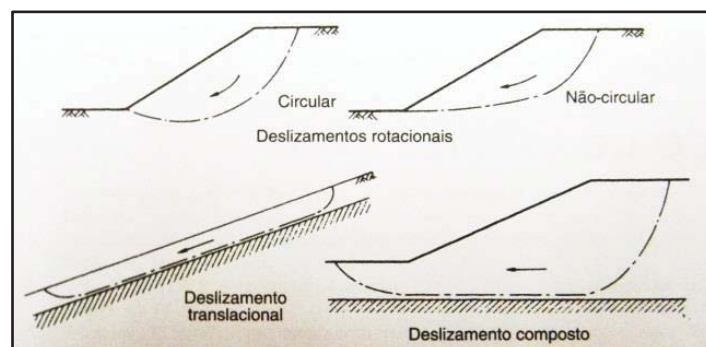
Os taludes podem ser classificados como artificiais ou naturais. Os taludes artificiais são geralmente oriundos de escavações ou de aterros gerados pela ação do homem. Os naturais, como o próprio nome sinaliza, são oriundos das ações geomorfológicas que ocorrem ao longo do tempo.

### 2.2.1 Estabilidade de Taludes

A ruptura de um talude é geralmente, analisada como o deslizamento de uma porção do mesmo em relação ao restante do maciço, ao longo de uma superfície de ruptura (deslizamento) bem definida (MANUAL DE GEOTECNIA, 1991).

As forças gravitacionais e do escoamento tentem a causar instabilidade em taludes naturais, em taludes formados por escavações e em taludes de barragens. Os tipos mais importantes de rupturas de taludes são apresentados na Figura 5 (CRAIG, 2004).

Figura 5. Tipos de rupturas de taludes.



Fonte: CRAIG (2004).

- *Deslizamentos rotacionais*: Esta forma de ruptura da superfície pode ser um arco circular ou uma curva não circular. Geralmente estes deslizamentos circulares estão associados a condições homogêneas e isotrópicas do solo. Já os deslizamentos não circulares associam-se a condições não homogêneas.
- *Deslizamentos translacionais*: Tendem a ocorrer onde o extrato adjacente está em uma profundidade geralmente pequena abaixo da superfície do talude e a superfície de ruptura tende a ser plana e aproximadamente paralela ao talude.
- *Deslizamentos compostos*: Ocorre geralmente onde o extrato adjacente está localizado em profundidades maiores. Neste caso a superfície de ruptura consiste em seções curvas e planas.

Conforme a norma NBR 11682, os valores limites dos deslocamentos e a velocidade destes para a determinação de riscos para as estruturas na região Sudeste são demonstrados na Tabela 1. Para as demais regiões, devem ser adaptados em função da experiência regional.

Tabela 1. Movimentos de massa - Grau de risco do processo em função do valor da movimentação.

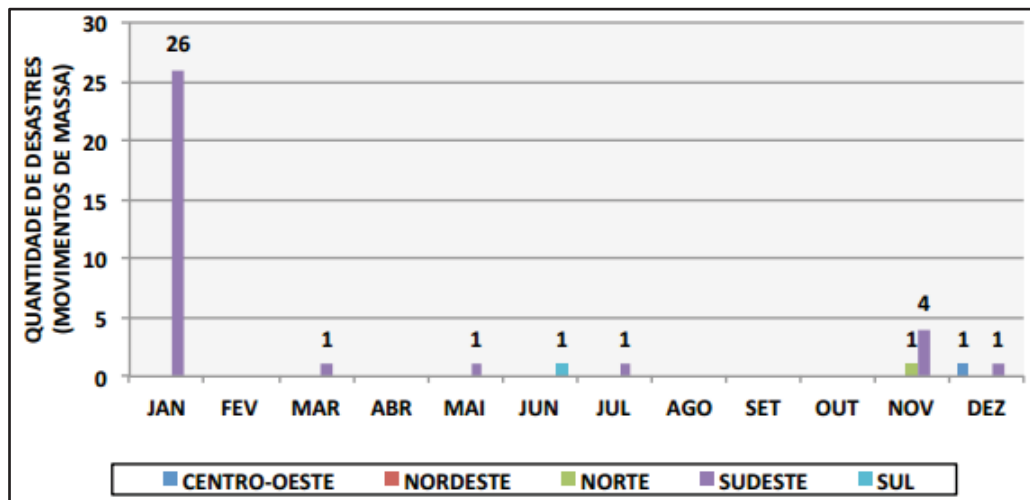
Grau de risco	Deslocamento horizontal cm	Deslocamento vertical cm	Velocidade média horizontal mm/dia	Velocidade média vertical mm/dia
Alto	> 20	> 10	> 20	> 20
Médio	5 a 20	2 a 10	1 a 20	1 a 20
Baixo	< 5	< 2	< 1	< 1

Fonte: NBR 11682 (1991) adaptada.

No ano de 2013, o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais analisou os movimentos de massa correspondentes ao ano de 2012. Nesse período avaliado apontou-se 37 desastres registrados, distribuídos conforme a Figura 6.



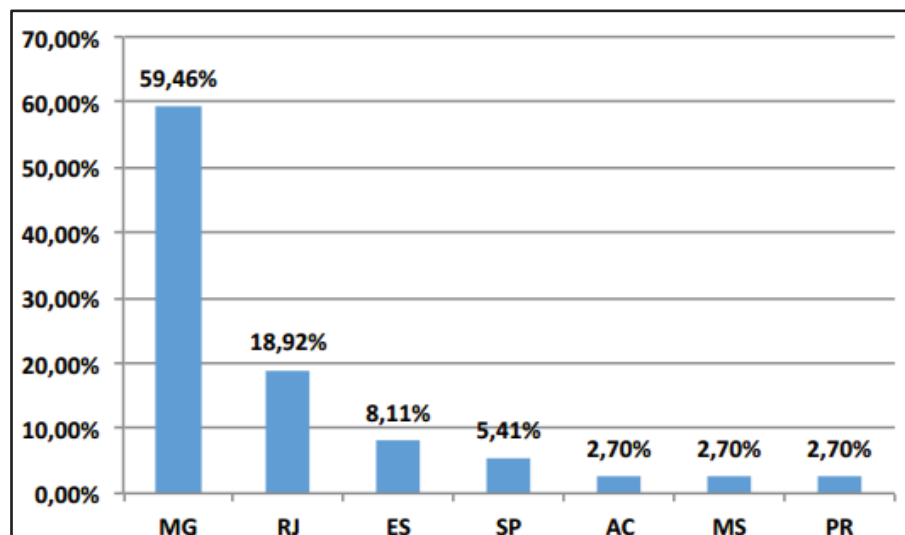
Figura 6. Distribuição Temporal dos Desastres Vinculados a Movimentos de Massa por Macrorregião (2012).



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2013.

A Figura 7 mostra que, das ocorrências identificadas, quase 60% estão localizadas no Estado de Minas Gerais, aproximadamente 19% no Rio de Janeiro, 8% no Espírito Santo, 5,4% em São Paulo e as restantes distribuídas entre os Estados do Acre, Mato Grosso do Sul e Paraná (ANUÁRIO, 2013).

Figura 7. Distribuição por Estado dos Desastres Vinculados a Movimentos de Massa (2012).

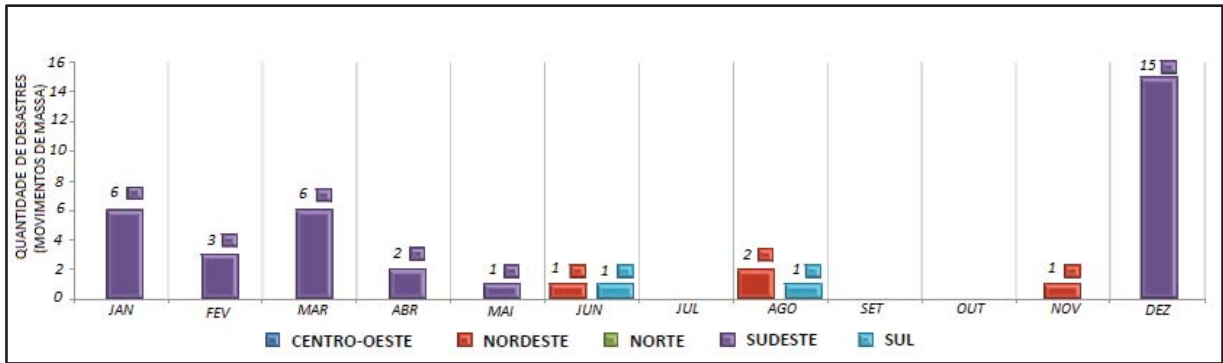


Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2013.

Em contrapartida, o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais de 2014 faz um panorama dos incidentes envolvendo movimentos de massa no Brasil ocorridos no ano de

2013. Constatou-se que esse tipo de ocorrência é frequente, podendo verificar na Figura 8 a distribuição dos 39 casos distribuídos por Estados.

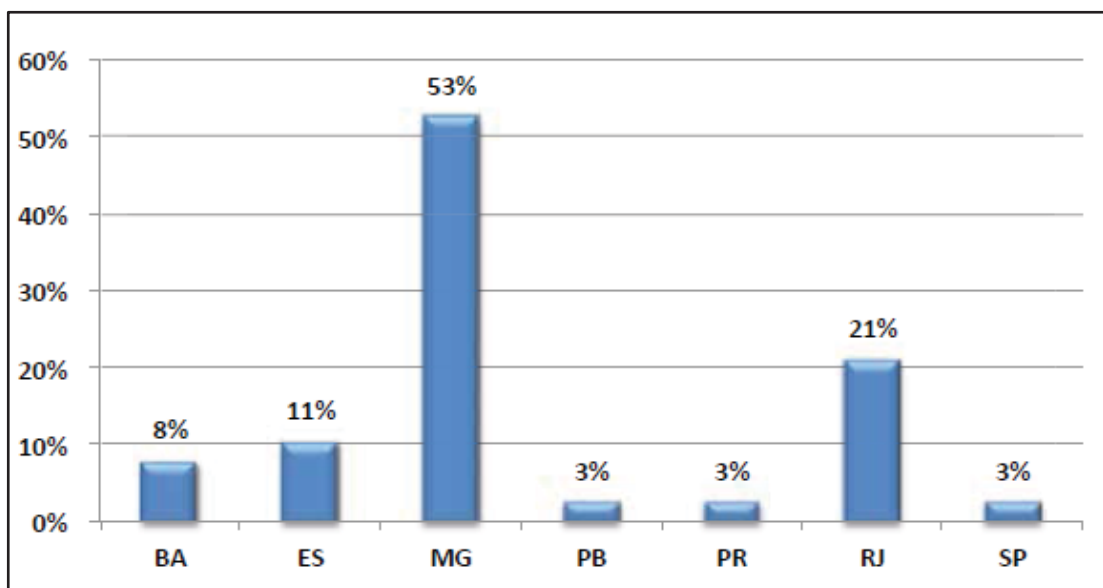
Figura 8. Distribuição Temporal dos Desastres nas Macrorregiões Vinculados aos Movimentos de Massa (2013).



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2014

A Figura 9 demonstra que a maior incidência ocorreu no Estado de Minas Gerais. No ano de 2013, dos 39 desastres registrados no país, 22 localizaram-se no Estado, compreendendo 53% da totalização, sendo ainda 9 registrados no Estado do Rio de Janeiro (ANUÁRIO, 2014).

Figura 9. Distribuição por Estado dos Desastres Vinculados a Movimentos de Massa.



Fonte: Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2014.

Fazendo um comparativo entre os dois últimos anuários publicados em 2013 e 2014, constata-se que em 2014 os movimentos de massa já passam a considerados frequentes no país, visto que ocorreu um aumento próximo de 6%. Percebeu-se que as maiores incidências ocorrem em janeiro para o ano de 2012 e, dezembro para o ano de 2013. Verifica-se ainda, que o Estado mais afetado em ambos os anos é Minas Gerais e que as incidências ficaram praticamente inalteradas, na faixa de 22 registros anuais, o que justifica a afirmação documentada no Anuário de 2014, que considera quantitativamente a tendência verificada no ano de 2012.

### **2.3 Métodos de instrumentação e monitoramento em obras geotécnicas**

Os métodos utilizados para a o monitoramento em obras geotécnicas devem ser capazes de relatar o comportamento dinâmico da obra a ser avaliada. Conforme Pinheiro (2000), citado por Eisenberger (2003), algumas das possibilidades para a utilização de sistemas instrumentados podem ser listados como:

- Determinação da forma da superfície de ruptura e sua profundidade
- Determinação de movimentos verticais e horizontais da massa instável
- Determinação da velocidade do movimento
- Monitoramento da estabilidade de taludes naturais e escavados devido a atividades de construção ou precipitação
- Monitoramento das poro-pressões e níveis d'água
- Monitoramento da eficácia de medidas de controle (retenção, drenagem, etc.)
- Fornecer um sistema de alerta remoto contra possíveis desastres

Segundo Saito (1965), citado por Guidicini e Nieble (1984), o movimento da massa instável, geralmente será gradativamente acelerado até atingir o ponto de ruptura. Isto faz com que a instrumentação possa ser bastante útil na previsão de escorregamentos.

O planejamento adequado para uma instrumentação de um escorregamento, segundo Wilson e Mikkelsen (1978), consiste em quatro etapas:

Determinar os tipos de medidas que são necessárias

- Selecionar os tipos de instrumentos que melhor se enquadram nas medidas exigidas
- Plano de localização, número e profundidade da instrumentação
- Desenvolvimento de técnicas de registro

Agregando à mesma linha, Nescieruk (2007) descreve que, uma característica fundamental de sistemas de supervisão está no monitorando dos parâmetros causais de inclinação instabilidade. Desta forma, a implementação da tarefa de investigação para compreender deslizamentos de terra, exigem:

- Obter dados de parâmetros físicos e mecânicos de faixas dentro do deslizamento de terra; os dados devem incluir a força dos parâmetros para a determinação da estabilidade de encostas
- Localizar o curso da superfície de deslizamento ativa
- Determinar as condições hidrogeológicas dentro do deslizamento de terra

Determinar o nível de superfície dinâmica de deslocamentos na base de monitoramento geodésica de superfície

- Determinar o nível dinâmico da profundidade dos movimentos com base no monitoramento do subsolo (Migoñ, 2009; Neserciuk et al, 2007).

Dunnicliff (1988) informa que todos os equipamentos empregados em um monitoramento devem ser escolhidos e instalados para responder a uma questão específica. Se não há questão a ser respondida, não deve haver instrumentação.

Os tipos de instrumentação mais utilizados nos estudos de taludes são divididos pelos parâmetros avaliados conforme Augusto Filho e Virgili (1998). Assim, os utilizados para a avaliação de deslocamentos e recalques podem ser listados como: marcos superficiais, prismas óticos, extensômetros (haste e fios), fissurômetros, medidores de recalque e indicadores de movimentações em profundidade.

Seguindo a lógica dos autores, para a avaliação de cargas e tensões totais, utiliza-se os instrumentos de células de carga em tirantes e células de pressão total respectivamente. Para detecção de pressões d'água, utiliza-se piezômetros (tipo Casagrande, de máxima, hidráulicos e elétricos) e tensiômetros (pressões negativas e de sucção). Para finalizar, os equipamentos utilizados para detecção de vazões d'água são utilizados hidrômetros, vertedouros e recipientes.

De acordo com Toś et al. (2006) e Wolski (2006) citado por Ćmielewski et al. (2013) os métodos de monitoramento superficial clássicos e GNSS, sensoriamento remoto (imagens de satélite, fotogramétrico, SAR / InSAR, de escaneamento territorial à laser, escaneamento territorial à laser com uso de aviões), métodos físicos (extensômetros, *strain gauges*, antenas) e métodos de medição das condições meteorológicas (umidade, termômetros, medidores de

pressão, higrômetros). Os métodos para acompanhar os movimentos profundos são: inclinômetros, sensores TDR, 3Dmems (ABDOUN et al, 2005), piezômetros, sensores de poros pressão, tomografia elétrica de resistividade e radar de penetração no solo. Além disso, é necessário executar a perfuração geotécnica para analisar o escorregamento do solo. (BEDNARCZYK, 2007).

Existe ainda, uma variação dos sensores TDR. Segundo Higuchi et al. (2005), esta variação refere-se ao método OTDR (*Optical Time Domain Reflectometry*), que mede a quantidade de perda de luz e identifica onde a perda ocorre na fibra óptica. O mecanismo funciona através da detecção da quantidade de retrodifusão de luz e a análise do domínio do tempo da luz refletida quando a fibra óptica é dobrada por algum motivo. Normalmente, OTDR é utilizado para a gestão de redes de fibra óptica, bem como a produção e o controle de fibra óptica.

No estudo realizado por Higuchi et al. (2005) dispõe do sensor OTDR para detectar e monitorizar o deslocamento do escorregamento que provoca um desalinhamento da fibra óptica. Os sensores são instalados em uma linha semelhante de extensômetros convencionais, permitindo assim a medição da quantidade de deslocamento para os intervalos entre elas.

## **2.4 Instrumentação com inclinômetros verticais utilizando MEMS**

A deformação do solo e o nível de água subterrânea estão entre os mais comuns parâmetros de monitorização geotécnica. Ao longo dos últimos vinte anos, foram feitos na área de tecnologia de instrumentação, desenvolvimentos utilizando transdutores eletrônicos, de comunicação sem fio e sistemas automáticos de aquisição de dados. (DUNNICLIFF; GREEN, 1993).

Inclinômetros verticais são instrumentos de medição de deslocamentos horizontais relativos, que afetam a forma de um invólucro de guia incorporado no solo ou estrutura. Sondas com inclinômetros geralmente medem o deslocamento em dois planos perpendiculares entre si e, portanto, magnitudes de deslocamento e direções (vetores) podem ser calculadas. O deslocamento relativo ao longo do tempo é determinado através da repetição das medições nas mesmas profundidades e comparando os conjuntos de dados (MANUAL DE GEOTECNIA, 1991).

A sonda com inclinômetros e servo-acelerômetros, que foi introduzida para a indústria em 1969, é o modelo de instrumento mais comumente utilizado. O tipo de inclinômetro geralmente utilizado é uma sonda de deslocamento, que é inserido em um invólucro até a

profundidade total, utilizado para obter a inclinação em intervalos predeterminados de tempo para desenvolver um perfil contínuo da forma da inclinação. A evolução da sonda com inclinômetro utilizando sensores micro-eleto-mecânicos de estado sólido (MEMS) recentemente foi introduzida para a realização destas medições (MACHAN, BENNETT, 2008).

A descrição do seu funcionamento parte da formação de uma matriz de acelerômetros denominada SAA (*Shape Accelerat Array*). Este sistema usa acelerômetros MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) posicionados no comprimento de uma haste, em segmentos rígidos ligados por juntas de compostos que impedem a torção, mas permitem flexibilidade em dois graus de liberdade conforme a Figura 10. Uma vez que cada segmento do SAA contém três sensores ortogonais, as matrizes podem ser instaladas na vertical ou na horizontal.

Figura 10. Modelo da sonda descrita por Machan; Bennet.



Fonte: MACHAN; BENNET (2008).

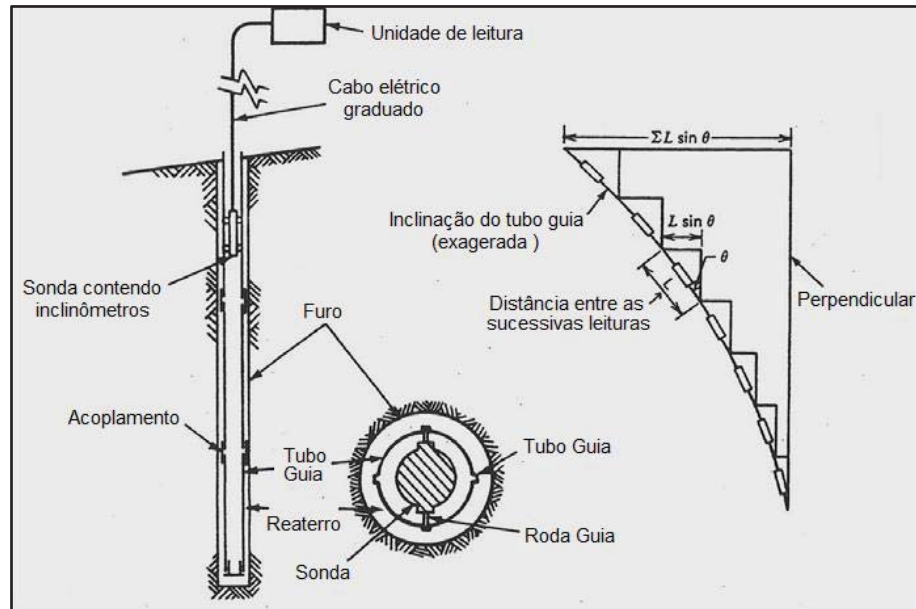
Não deve existir a necessidade da predefinição de uma sonda para cada aplicação, existe sim, apenas a necessidade da informação do software se as sondas estiverem na horizontal ou na vertical. Cada um dos sensores tem uma saída que é o seno do ângulo de inclinação ao longo de um intervalo de 360 graus.

As matrizes de sensores estão interligadas ao sistema de tratamento de sinal por um cabo, o qual será posicionado juntamente com a sonda dentro de um invólucro. A forma inicial da instalação, ou o desvio absoluto da instalação a partir de uma linha horizontal ou vertical virtual, podem ser visualizados de imediato em um computador e definido como posição inicial.

A Figura 11 demonstra, de forma sucinta, a estrutura estudada para a realização deste projeto, onde se pode destacar a sonda como sendo o elemento sensor, o cabo de

intercomunicação entre a sonda e a unidade de aquisição de dados, além do demonstrativo da forma de mensuração das informações do ângulo de inclinação.

Figura 11. Estrutura geral do sistema de sensoriamento.



Fonte: MACHAN, BENNET (2008), adaptada.

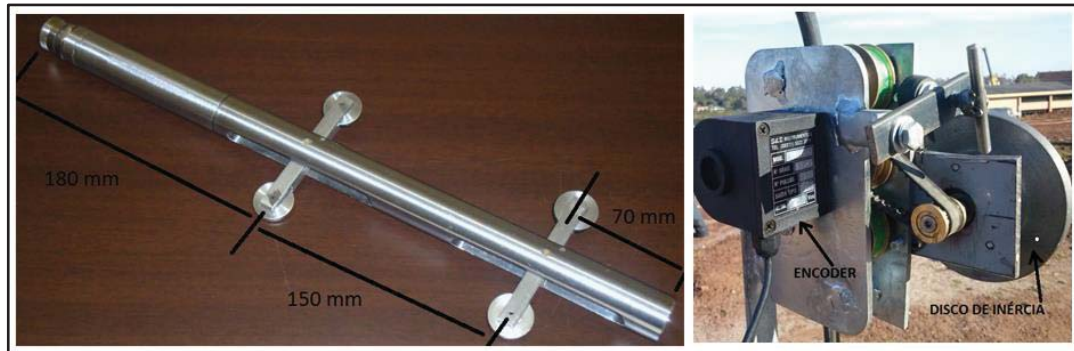
## 2.5 Características da sonda Utilizada

A sonda utilizada para a experimentação junto ao sistema desenvolvido é a mesma desenvolvida por Penz (2013), demonstrada na Figura 12.

A sonda caracteriza-se pelo transdutor de inclinação a ser utilizado. Com o intuito de redução no tamanho da sonda, buscou-se um transdutor pequeno. A opção adequada foi a tecnologia MEMS, pois apresenta características para uma construção compacta da sonda. Ainda, o transdutor deve apresentar alguns requisitos mínimos definidos para o desenvolvimento, como alcance de medição entre  $-50^\circ$  e  $+50^\circ$ , medições em dois eixos ortogonais entre si e, possibilitar o envio dos dados das medições por canal serial.

Foram analisados três transdutores, sendo eles os inclinômetros MEMS SCA100T-D01 e SCA100T-D02, ambos fabricados pela *VTI Technologies* e o acelerômetro MEMS ADXL330 fabricado pela *Analog Devices* (PENZ, 2013).

Figura 12. Sonda utilizada e desenvolvida por Penz.



Fonte: Dissertação de mestrado – Rodrigo S. Penz, 2013.

O sistema proposto por Penz, para realizar a interface entre o operador e a sonda desenvolvida por ele, utilizou-se de uma IHM (Interface Homem Máquina) idealizada exclusivamente para o SADi (Sistema de Aquisição de Dados de Inclinação) que apresenta características específicas como fonte de alimentação por bateria, ergonomia para adequar-se a trabalhos em campo, conter teclado e tela (display), proporcionar comunicação sem fio com a sonda e com o PC, além de possuir memória para o armazenamento das medições realizadas (PENZ, 2013).

Penz (2013) descreve que o SADi apresenta características inovadoras, que é o uso do PC diretamente como IHM. Ele descreve que as vantagens desta condição são a presença no PC de teclado, tela, ergonomia para trabalhos em campo, principalmente se utilizado um Tablet, presença de comunicação sem fio e grande espaço em memória, além do armazenamento de dados de modo definitivo.

Entretanto o sistema de IHM, proposto por Penz, não comporta expansões como, por exemplo:

- Adição de novas tecnologias de comunicação serial
- Adição de sensores, como umidade do solo
- Adição de pluviômetro
- Automação do sistema de excursão da sonda

Para adequar a proposta de utilização do PC como IHM Penz desenvolveu uma placa eletrônica que foi definida como placa FDC (fonte, driver e controle), responsável por realizar a interface entre a sonda e o PC (IHM), bem como fornecer a alimentação elétrica para a sonda. A placa FDC apresenta um microcontrolador PIC 16F876A, junto a um programa desenvolvido para o mesmo, de forma a possibilitar o condicionamento, o recebimento e a



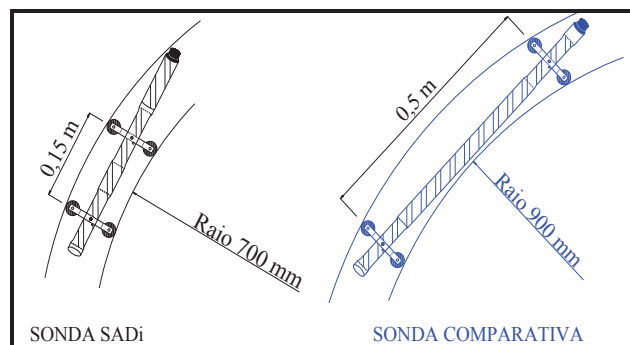
conversão do sinal serial enviado pelo inclinômetro SCA100T-D02, além de providenciar o envio dos dados das medições para o PC através de uma comunicação sem fio.

Penz (2013) descreve que a comunicação definida entre a sonda e o microcontrolador é a SPI, visto ser o padrão de saída do SCA100T-D02. Nesta são necessárias quatro ligações elétricas para proceder à comunicação. Já a comunicação entre o microcontrolador e o PC é efetuada por intermédio de uma comunicação sem fio *Bluetooth*.

Penz (2013) ainda informa que após definido o transdutor de inclinação realizou-se uma análise sobre os dimensionais das sondas comerciais, onde verificou a possibilidade de redução do comprimento de seu corpo, consequentemente com a redução da distância entre os rodízios superiores e rodízios inferiores.

A vantagem que haveria com esta redução é o aumento do número de medições para um mesmo segmento quando comparado com uma sonda de comprimento maior. Ainda, é melhorada a condição de excursão da sonda pelo tubo guia em regiões que sofrem cisalhamentos entre as camadas de solo, evidenciando um local com ocorrência de uma curvatura com pequeno raio no tubo guia como é demonstrado através da Figura 13.

Figura 13. Comparativo entre sonda desenvolvida por Penz (2013) e sondas comerciais



Fonte: Dissertação de mestrado Rodrigo S. Penz (2013).

Verifica-se através da Figura 13 que ocorre realmente uma condição de melhor excursão da sonda do SADI em tubos guias que sofreram uma condição de movimento transversal acentuado e localizado, embora nestes casos, quando é analisada a possibilidade de ocorrência de movimentos típicos de regiões de cisalhamento entre as camadas de solo é indicado a utilização de tubos guias de maior diâmetro (PENZ, 2013).

## 2.6 Inclinômetro Digital

Os inclinômetros ou clinômetros são equipamentos desenvolvidos para a mensuração de ângulos de inclinação, elevação ou depressão de um objeto em relação à gravidade.

No início da década de 1900, os inclinômetros eram constituídos de um tubo de vidro curvo preenchido com um líquido para o amortecimento de uma esfera de aço suspensa por um fio de aço o que proporcionava a visualização do ângulo indicado, conforme o modelo proposto por Da Vinci, exposto na Figura 14.

Figura 14. Inclinômetro reconstruído do modelo de Da Vinci.



Fonte: <http://www.inpe.br/exposicao/exposicao.php>. Acesso em 3 nov. 2013.

Com o advento da tecnologia, o MEMS está rapidamente se tornando o novo padrão devido ao seu dimensional reduzido e o baixo custo, demonstrado na Figura 15. O princípio de seu funcionamento deve-se à criação de um plano horizontal artificial, o qual serve como base para o cálculo da inclinação do componente em relação a este plano.

Figura 15. SCA100T inclinômetro de eixo duplo MEMS.



Fonte: [http://www.murata.co.jp/products/sensor/pdf/sca100t\\_inclinometer.pdf](http://www.murata.co.jp/products/sensor/pdf/sca100t_inclinometer.pdf). Acesso em 7 nov. 2013.

Os inclinômetros estão presentes em inúmeros equipamentos tanto pessoais quanto nas áreas médica e bélica. Às vezes pode passar despercebidos nos equipamentos de nosso

cotidiano, como em equipamentos de telefonia celular o que apenas facilitam a interação com o equipamento; até no sistema de controle de estabilidade em automóveis, o que proporciona uma segurança maior no controle do veículo.

Portanto, por este possibilitar a mensuração do deslocamento em relação ao seu eixo, pode-se utilizá-lo para a verificação no deslocamento de massas de solo, o que auxilia no monitoramento de taludes.

De acordo com Penz (2013), entre três modelos analisados comparativamente (MEMS SCA100T-D01, SCA100T-D02 e ADXL330), foi definido o inclinômetro SCA100T-D02 para a sonda. Este inclinômetro faz parte da série SCA100T que é uma família de inclinômetros de eixo duplo dual-MEMS que proporciona qualidade na instrumentação para aplicações de nivelamento. Os eixos de medição dos elementos sensores são paralelos à montagem e ortogonais entre si.

O sensor possui alta resolução, baixo ruído, baixa dependência da temperatura, juntamente com um design robusto para o elemento sensor e de fácil aquisição, tornando o SCA100T a escolha ideal para os instrumentos de nivelamento em desenvolvimento. Outra característica muito importante deste inclinômetro é não sensibilidade à vibração, devido a seus elementos sensores mais amortecidos, podendo suportar choques mecânicos de até 20.000g. As características técnicas deste equipamento são demonstradas na Tabela 2.

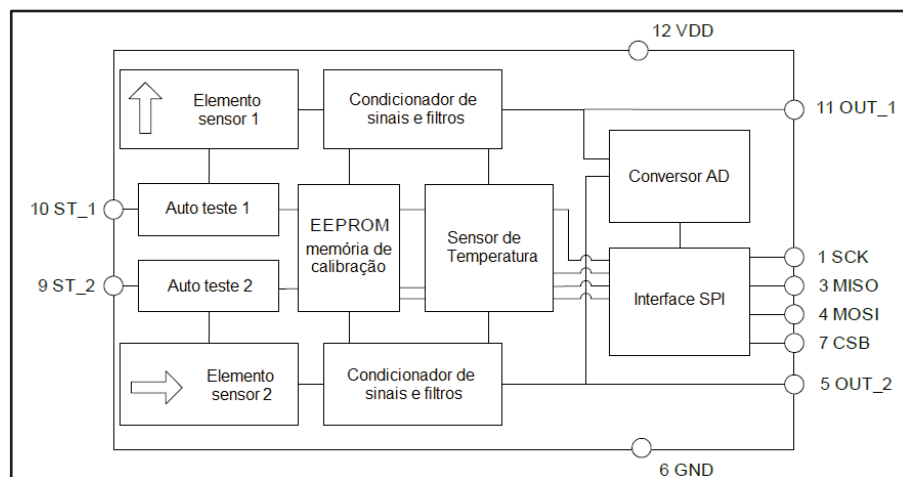
Tabela 2. Características do sensor SCA100T.

Função	Característica Elétrica
Quantidade de Eixos	Medição da inclinação do eixo duplo (X e Y)
Faixa de Medição	$\pm 30^\circ$ SCA100T-D01 e $\pm 90^\circ$ SCA100T-D02
Resolução Analógica	$0,0035^\circ$ (10 Hz BW)
Sistema de Amortecimento	Amortecido para respostas de frequência (-3dB 18Hz)
Resistência a Choque	Design robusto, alta durabilidade a choque (20000g)
Estabilidade	Alta estabilidade ao longo do tempo e temperatura
Saídas	Analógica de tensão ratiométrica para inclinação e digital (SPI) das medições da inclinação e da temperatura
Recursos de Detecção de Falhas	Sim
Auto teste do sistema de medição da inclinação	Sim

Fonte: Datasheet do sensor SCA100T.

A Figura 16 demonstra o diagrama de blocos interno do SCA100T, instruindo sobre as possibilidades para a utilização no desenvolvimento desse projeto. Assim, pode-se verificar a existência de módulos que devem ser utilizados impreterivelmente como: elemento sensor 1 e 2, memória EEPROM e outros opcionais, como o conversor A/D juntamente com interface de comunicação serial SPI (*Serial Peripheral Interface*).

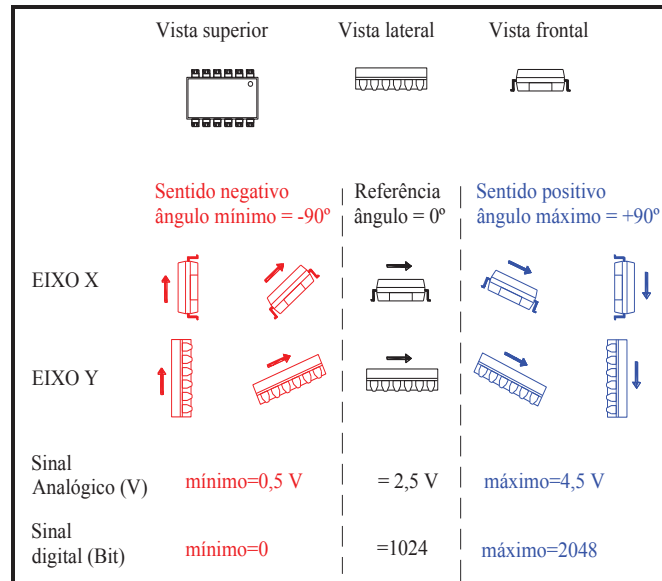
Figura 16. Diagrama em blocos do funcionamento do SCA100T.



Fonte: Adaptado do Datasheet do componente.

O SCA100T-D02 é um acelerômetro desenvolvido propriamente para operar como inclinômetro, que possibilita medições de inclinação em dois eixos perpendiculares entre si e de forma independente, denominados de eixo X e eixo Y. Ainda, o SCA100T-D02 apresenta a sua referência de medição angular ao eixo vertical gravitacional, tendo como sua referência física construtiva a base de seu invólucro. Assim, a variação da medida de inclinação ocorre com a inclinação do encapsulamento do mesmo. Com relação ao sinal elétrico de saída fornecido pelo SCA100T-D02, são disponibilizados dois sinais analógicos, onde sua tensão varia de amplitude com relação à variação do ângulo do invólucro para eixo X e eixo Y e também um sinal digital, através de seu canal serial. O SCA100T-D02 apresenta a possibilidade de medições entre  $-90^\circ$  e  $+90^\circ$  em seus dois eixos, conforme demonstrado através da Figura 17 (PENZ, 2013).

Figura 17. Comparativo entre inclinação e sinais eletrônicos emitidos.



Fonte: Adaptado do Datasheet do componente.

Uma característica importante do SCA100T é a sua condição de não poder atingir as medições angulares extremas de seu alcance para a mesma aplicação, ou seja, em um mesmo eixo realizar medições desde -90° até +90°. O ângulo máximo de medição do SCA100T-D02 pode ser definido através da divisão da tensão máxima de excursão do sinal de saída que é de 4V pela sensibilidade analógica angular que é de 35 mV/°, resultando em 114,28°, ou seja, se for necessária a aplicação de um sistema de medição com zero central, o alcance do sistema será de -57,14° até +57,14°. Essa situação não desqualifica o SCA100T-D02 da sua aplicação, pois os limites de medições foram estipulados em ±50° (PENZ, 2013).

Para a utilização da Equação 1, tem-se o ângulo "Fi" determinado pelo arcoseno do número de bits menos significativos da palavra digital "Bout", subtraído do número de bit para ângulo zero "Boffset" que é de 1024 e dividindo este resultado pela sua sensibilidade, "sensibilidade" que é de 819. Para a aplicação de qualquer um dos extremos da palavra digital de 2048 na Equação 1 um erro matemático ocorre, já que o valor da divisão dos elementos dentro dos parênteses da equação será maior que um (PENZ, 2013).

$$Fi = \arcseno((Bout - Boffset)/sensibilidade) \quad (1)$$

A Equação 1 somente será válida se o numerador da divisão for menor ou igual a 819. Logo, se 2048 totalizam o alcance da medição em 143,36°, então para 819 para cada sentido de medição é totalizado 1638 e aplicando um cálculo de regra de três simples o valor do

alcance de medição passa a ser de 114,66°, ou seja, o mesmo valor do alcance definido pelo sinal analógico que é de 114,28°.

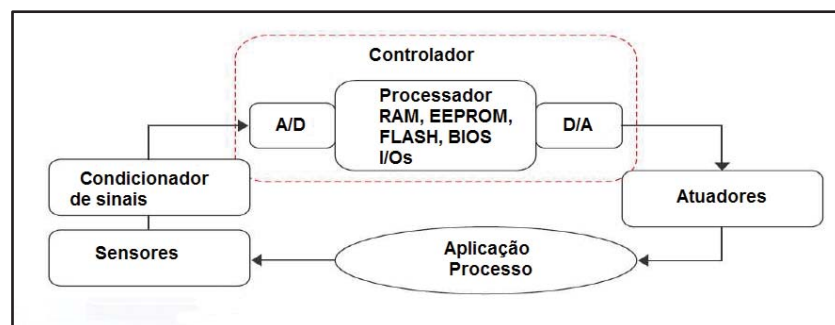
## 2.7 Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados (*Data Logger*)

No mundo atual, os processos físicos nas mais diversas áreas científicas, industriais, médicas, entre outras, dependem fortemente do conhecimento e do monitoramento de grandezas físicas a eles associadas. Na indústria mecânica, por exemplo, o controle de robôs e de outras máquinas não seria possível sem dados exatos sobre suas condições de funcionamento (MCGRAW-HILL, 1988).

A evolução da tecnologia dos conversores A/D (analógico para digital) e a popularização dos computadores fizeram dos circuitos de aquisição de dados uma excelente opção para sistemas deste tipo. Os computadores por sua vez, interagem com todas essas configurações, por isso é uma das plataformas de controle mais usadas em aplicações de aquisição de dados. (FRANÇA, 1997)

O sistema de aquisição de dados deve fornecer informações detalhadas e exatas sobre um determinado processo ao usuário, para que este possa avaliá-lo e/ou controlá-lo (FRANÇA, 1997). Para tal, propõe-se a utilização de um modelo de sistema de aquisição de dados mostrado na Figura 18, o qual demonstra que para a aplicação de um processo existem entradas que devem ser medidas por sensores. Esses valores devem ser acondicionados em um banco de dados, que por sua vez, serão convertidos para valores digitais, assim possibilitando uma análise lógica e/ou aritmética realizada pelo processador. De acordo com a lógica pré-definida, convertem-se estes dados digitais para saídas analógicas e/ou de estado, as quais acionarão os atuadores que devem interferir no processo de acordo com o pré-estabelecido.

Figura 18. Modelo de um sistema de aquisição de dados.

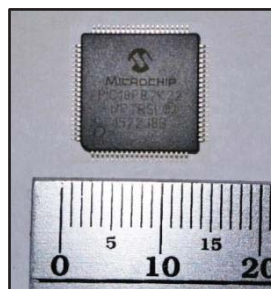


Fonte: [http://www.smar.com/uploads/images/2011-12-30\\_1.png](http://www.smar.com/uploads/images/2011-12-30_1.png). Acesso em 16 nov. 2013 (Adaptada).

## 2.8 Microcontrolador do *Data Logger*

É usual ter em um único circuito, vários circuitos integrados responsáveis pela aquisição de dados, denominados de sensores, que são controlados pela lógica do circuito integrado. Para tal controle, necessita-se de um componente capaz de gerir as informações adquiridas pelo sensor. Esta tarefa é desenvolvida em pleno pelo microcontrolador, este componente é também conhecido por MCU (*Microcontroller Unit*), mostrado na Figura 19.

Figura 19. Microcontrolador.



Fonte: Própria.

O MCU é realmente um computador em um único circuito integrado. Esta denominação deve-se ao fato de um microcontrolador possuir um processador, memória, periféricos de entrada e de saída além de alguns hardwares específicos.

A principal característica do microcontrolador é o fato deste ser capaz de realizar tarefas previamente programadas, pois dispõe em sua base, um sistema de lógica programável e este se torna capaz de realizar tarefas lógicas e cálculos matemáticos atendendo assim as necessidades mais diversas. Por este motivo, ele é um dispositivo de alto poder na eletrônica digital e será um dos principais, se não o mais importante circuito integrado utilizado neste projeto.

Assim, o MCU utilizado é o PIC18F87K22 com tecnologia nanoWatt XLP, este microcontrolador de 8bits é adequado para aplicações com limitações de potência e movidos a bateria desenvolvido para aplicações automotivas e industriais exigentes. Dispõe de periféricos adicionais, tais como um A/D de 12bits. Mas o ponto fundamental da escolha é o módulo RTCC (*Real-Time Clock/Calendar*) interno com cristal exclusivo e os dois módulos de USART, além de porta para comunicação serial SPI para a comunicação com o SD Card. A Tabela 3 demonstra as características gerais do microcontrolador utilizado.

Tabela 3. Características do PIC18F87K22.

Função	Característica Elétrica
Modos de operação	- Run: CPU ligado, periféricos ligados - Idle: CPU desligado, periféricos ligados - Sleep: CPU desligado, periféricos desligados
Características Especiais	Tensão de operação: 1.8V até 5.5V Velocidade de operação 64 MHz Dois módulos Master Synchronous Serial Port (MSSP) - 3/4-wire SPI (supports all four SPI modes) Dois módulos USART Conversor A/D de 12-Bit com até 24 canais
Consumo	- Run 5.5 $\mu$ A - Idle 1.7 $\mu$ A - Sleep 20 nA - RTCC 700 nA

Fonte: Datasheet do sensor SCA100T.

## 2.9 Comunicação serial

A comunicação serial é a forma atualmente mais difundida para a troca de informações entre módulos ou circuitos eletrônicos. Para a realização da comunicação do microprocessador e o cartão de memória é necessário utilizar a comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*), já para a comunicação do *Data Logger* com a sonda, utilizou-se da comunicação USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*).

A SPI é uma porta de entrada ou saída serial de alta velocidade síncrona que envia ou recebe um conjunto de bits de comprimento definido e velocidade programável entre dispositivos. A SPI é normalmente utilizada para comunicações entre o dispositivo e os periféricos. Tipicamente as aplicações incluem interfaces externas de entradas e saídas ou expansões como, *shift registers*, display drivers, SPI, EPROMS e A/D (Texas Instruments, 2012).

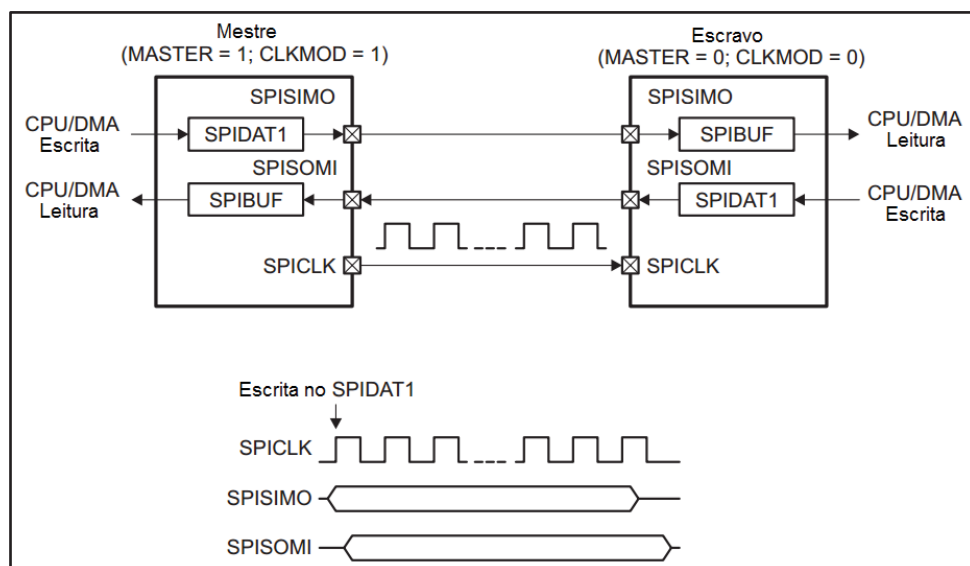
Conforme Pereira (2004), o SPI foi desenvolvido originalmente pela Motorola e adotado por diversos fabricantes ao longo do tempo e conta com uma interface física constituída pelas seguintes linhas:



- CS ou SS: *Chip Select* (Seleção de Dispositivo): é utilizada para selecionar ou habilitar o dispositivo com o qual se deseja comunicar e também para encerrar a execução dos comandos transmitidos pelo dispositivo mestre;
- Clock ou SCLK: utilizada para sincronização entre o dispositivo mestre (aquele que gera o sinal de *clock*) e o dispositivo escravo (o que recebe o *clock*). O protocolo especifica que esse sinal deve ser simétrico (tempo igual ao tempo baixo), devendo a informação de saída estar disponível no mínimo 30ns antes da borda de subida do *clock* e lida até 30ns antes da borda de descida do *clock*;
- SI ou MOSI: *Serial In* (Entrada Serial): linha de recepção de dados;
- SO ou MISO: *Serial Out* (Saída Serial): saída de dados dos dispositivos.

A transmissão dos dados entre os componentes que utilizam da comunicação serial SPI, segue o princípio de que existe um mestre e no mínimo um escravo, sendo possível adicionar vários escravos. Para tal existe o pino SS disponível para a seleção de qual escravo a comunicação estará ativa. Os demais pinos são ligados em paralelo entre todos os escravos da rede. Na Figura 20, pode-se verificar a necessidade de uma linha de *clock* e duas de dados, uma de envio e outra de retorno.

Figura 20. Conexão entre Mestre e Escravo



Fonte: Adaptada do modelo Datasheet.

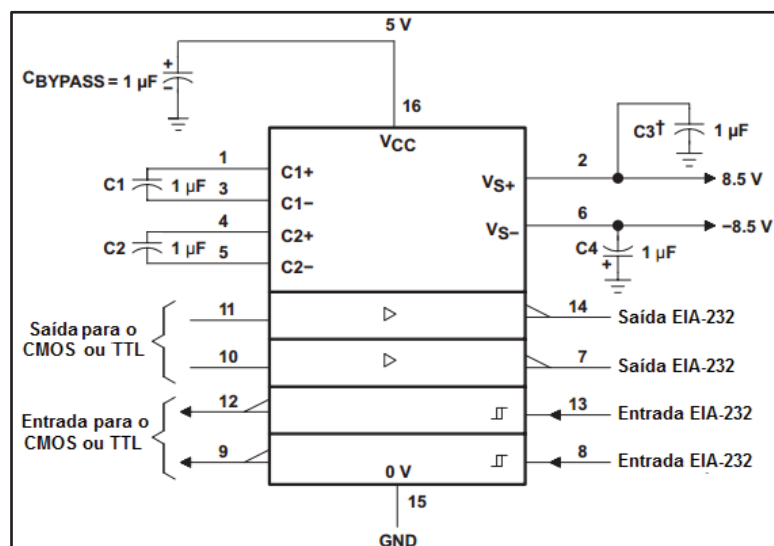
A maioria dos protocolos de comunicação não especifica os padrões elétricos dos sinais. Por este motivo os órgãos internacionais de padronização, tais como ANSI, EIA e ITU, desenvolveram protocolos ou padrões elétricos de comunicação, que foram e continuam sendo adotados para as tarefas de comunicação de dados (PEREIRA, 2004).

A interface escolhida para a comunicação do *Data Logger* desenvolvido com a placa de controle da sonda de Penz é a TIA/EIA-232-F. Assim a USART – formato mais tradicional de comunicação serial de dados – é a base para que o circuito integrado MAX232 possa realizar a padronização do sinal elétrico entre os equipamentos e desta forma minimizando os riscos de erros na comunicação gerados por ruídos induzidos e ou conduzidos.

O TIA/EIA-232-F revisão 2.8 tem como padrão aceitar sinais de comunicação de entrada variando de  $\pm 30V$ . Entretanto os sinais de envio e recebimento dos dados via MAX232 estão entre  $-15V$  para nível lógico baixo, e  $+15V$  para sinais de nível lógico alto.

Desta forma, a USART tem como característica principal a necessidade de apenas dois fios para realizar a comunicação, onde se utiliza dois pinos, um TX que representa a saída ou transmissão dos dados, e outro RX que representa a entrada ou recebimento dos dados, por se tratar de uma comunicação serial que comumente é configurada na forma assíncrona. O circuito básico comumente utilizado pode ser visualizado na Figura 21.

Figura 21. Circuito base MAX232



Fonte: Adaptada do modelo Datasheet.

## 2.10 Sistema de Comunicação sem Fio entre as Sondas

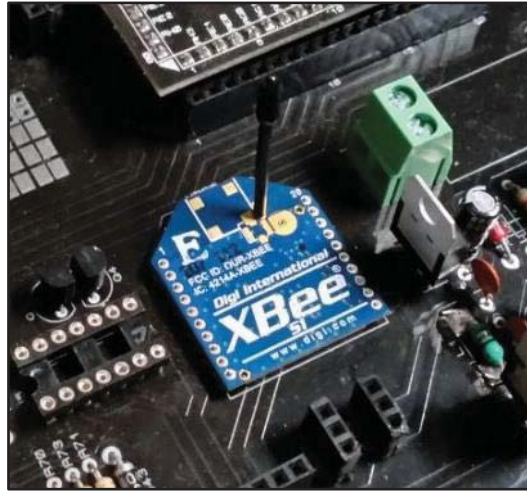
Com o avanço na área dos microprocessadores, novos materiais de sensoriamento, MEMS e comunicação sem fio têm estimulado o desenvolvimento e uso de sensores mais automatizados.

As redes de sensores sem fio (RSSFs) diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente essas redes possuem um grande número de nodos (componentes da rede) distribuídos, têm restrições de energia, e devem possuir mecanismos para autoconfiguração e adaptação devido a problemas como falha de comunicação e perda de nodos. (LOUREIRO et al, s.d.)

As RSSFs podem ser vistas como um tipo especial de rede móvel *ad hoc* (*MANET – Mobile Ad Hoc Network*). Numa rede tradicional, a comunicação entre os elementos computacionais é feita através de estações base, que constituem uma infraestrutura de comunicação, esse é o caso da Internet. Por outro lado, numa rede móvel *ad hoc* os elementos computacionais trocam dados diretamente entre si. (LOUREIRO, et al, s.d.)

Existem alguns tipos de hardware para a transmissão de dados sem fio que foram estudados verificando alguns pontos como consumo, alcance, quantidade de nodos, velocidade na transmissão dos dados. Alguns dos hardwares mais tradicionais são: *ZigBee*, *Bluetooth* e *ShockBurst*.

A seleção da rede conhecida como *ZigBee*, mostrada na Figura 22, para a intercomunicação das sondas e o *Data Logger* decorre pelo fato de disponibilizar uma rede de baixíssima potência de operação, ocasionando um baixo consumo de energia nos dispositivos, estendendo assim, a vida útil de suas baterias. Dessa forma a rede tem como principais casos de uso, dispositivos que não necessitem de taxas de transmissão de dados tão altas quanto às permitidas pelo *Bluetooth*, e querem se aproveitar das características de baixo consumo. Algumas características são ressaltadas na Tabela 4.

Figura 22. Módulo de comunicação serial *ZigBee*.

Fonte: Própria.

Tabela 4. Características do Módulo *ZigBee* (*XBee*).

Função	Característica Elétrica
Frequência de Transmissão	2.4 GHz
Potência de Transmissão	1,25 mW
Sensibilidade do Receptor	-96 dBm
Alcance Máximo Estimado	Até 120m (+1 dBm)
Topologias de Rede	P-to-P, P-to-M, ZigBee/Mesh
Consumo em modo <i>Sleep</i>	< 1 $\mu$ A
Atualização Remota	Firmware e Parametrização.
Velocidade de Transmissão e Recepção	RF Data Rate 250 Kbps
Modo de Segurança	128-bit AES
Protocolo de Comunicação com Dispositivos	UART ( <i>Universal asynchronous receiver or transmitter</i> )
Número de Dispositivos	No máximo de 65535 dispositivos por cada dispositivo coordenador

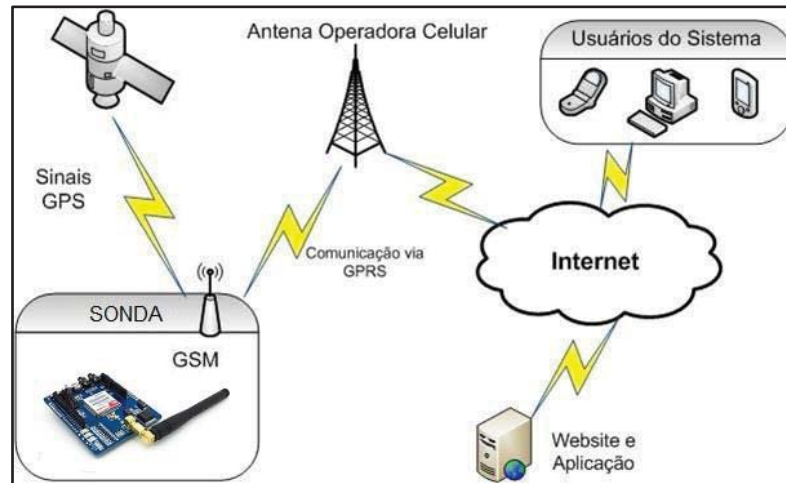
Fonte: Datasheet do *XBee*.

## 2.11 Transmissão dos Dados via GPRS

Com o benefício da aplicação do GPRS, pode-se enviar os dados armazenados no SD Card em qualquer local que disponha de um sinal de Internet. Na Figura 23 é possível verificar o diagrama que representa a arquitetura da rede de dados GPRS, da qual utiliza a

mesma infraestrutura básica utilizadas nas redes GSM comuns, realizando a inclusão de novos elementos de rede e interfaces e modificando alguns componentes já existentes. Essas alterações tornam possível a transmissão de dados a uma taxa de 9,6 a 171 kbits/s (valor teórico) (OLIVEIRA, 2009).

Figura 23. Rede de dados GPRS.



Fonte: <http://www.bitabit.eng.br/wp-content/uploads/2010/11/Picture1.jpg>. Acesso em 6 nov. 2013 e posteriormente adaptada.

As características técnicas relacionadas ao módulo SIM900 podem ser visualizadas na Tabela 5.

Tabela 5. Características do módulo GPRS (SIM900)

Funções	Características Elétricas Necessárias
Banda de Atuação	Quad-Band GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz
Encapsulamento	SMT ( <i>Surfaced Mount Technology</i> )
Pilha TCP/IP	Sim
Tipo de Antena	Externa
Cartão GSM	Externo
Sensibilidade	- 161 dBm
GPRS multi-slot	Class 10/8
GPRS mobile station	Class B
Controle	Via comandos AT (GSM 07.07, 07.05, mais os comandos AT da SIMCom)
Nível	LVTTL
Tensão de Entrada	3.2V ~ 4.8V
Corrente de Consumo	Máximo 500uA

Fonte: Datasheet módulo GPRS SIM900.

Existe uma ampla variedade de módulos GPRS. O módulo SIM900, mostrado na Figura 24 está entre os disponíveis, por ser um módulo GSM/GPRS *quadband* com pilha TCP/IP embutida e é do tipo *board-to-board*, pode transmitir voz, SMS ou pacote de dados e consome pouca energia. Esse módulo é o substituto do SIM340DZ que foi descontinuado pela SIMCOM um dos módulos mais comuns com relação à aplicabilidade.

Figura 24. Módulo GPRS SIM900.



Fonte: Própria.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 Tipo da Pesquisa

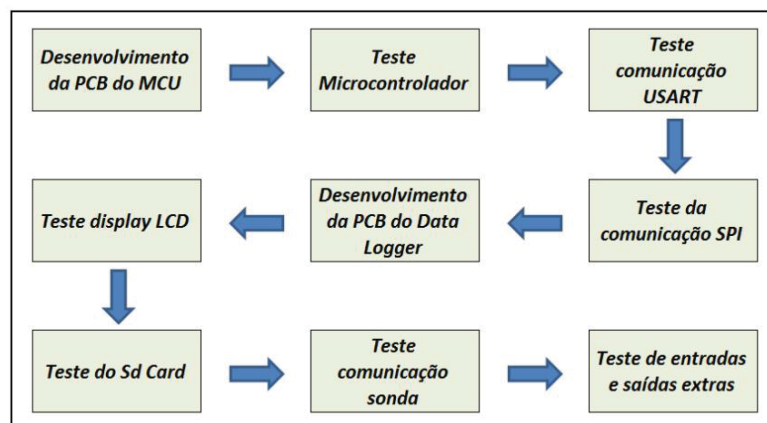
O presente trabalho baseia-se em uma pesquisa bibliográfica, experimental e aplicada. Durante o processo, direcionou-se para um modelo em aplicação, onde primeiramente foram realizados estudos e análises de materiais referenciais, direcionados à aplicação de um sistema de monitoramento de obras geotécnicas, através do uso de inclinômetro MEMS conectado a um sistema *Data Logger*.

Agregado a esta bibliografia, realizou-se estudos sobre as topologias de transmissão de dados digitais para a comunicação entre o *Data Logger* e a sonda e da comunicação entre o processador e o SD Card.

#### 3.2 Metodologia da Pesquisa

A metodologia para este projeto seguiu o desenvolvimento individualizado de cada um dos módulos eletrônicos conforme mostrado no diagrama de blocos da Figura 25. Essa figura demonstra as nove etapas macro para melhor compreensão e controle no momento da realização das medições, além da análise das características necessárias para a efetivação do trabalho.

Figura 25. Diagrama de blocos da execução do projeto.



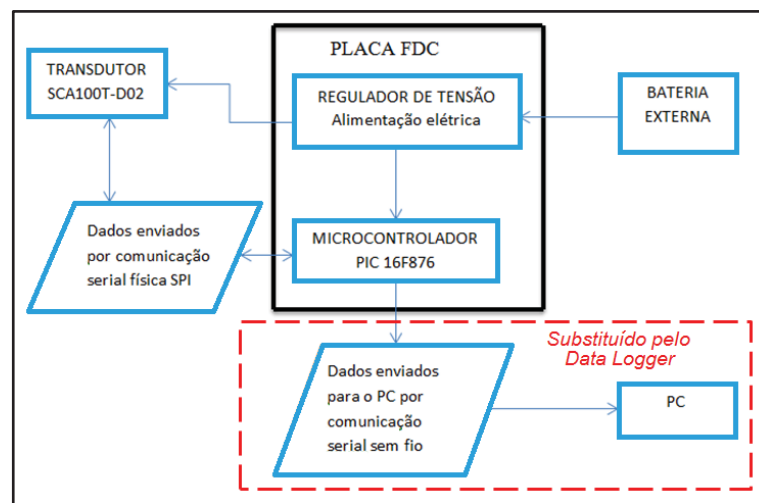
Fonte: Própria.

Cada uma das etapas teve seu embasamento teórico individualizado por se tratar de sistemas não complementares entre si, ou seja, não houve a necessidade do desenvolvimento

paralelo das fases indicadas no fluxograma. Após a validação dos resultados obtidos em cada um dos módulos desenvolvidos, esse serviu de gerador dos sinais para o circuito posterior. Assim, quando o último módulo foi finalizado o projeto final foi completamente testado e validado.

Cabe ressaltar que a sonda utilizada bem como a eletrônica que a controla, não foi alterada apenas removido o módulo *Bluetooth* e ligado ao sistema via comunicação USART, conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26. Diagrama de blocos dos módulos da sonda.



Fonte: Própria.

Pelo fato desse projeto ser direcionado à construção de um equipamento que seja capaz de realizar leituras relacionadas ao monitoramento de estruturas geotécnicas, a verificação das teorias passa obrigatoriamente pela construção de um sistema protótipo. Assim esse sistema será utilizado para verificar e validar os métodos construtivos teoricamente pré-estabelecidos tornando o sistema construído confiável.

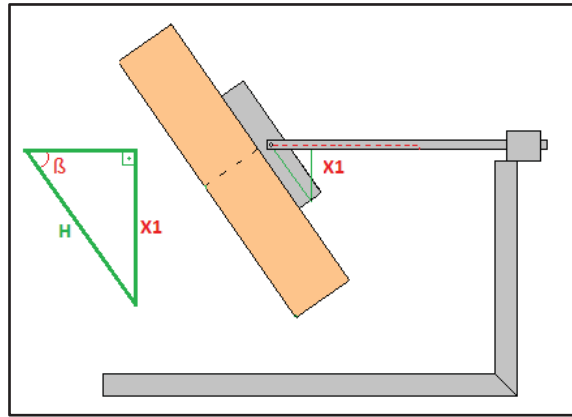
Outra função importante da montagem de um sistema protótipo é a validação do sistema eletrônico, podendo assim ser alterado para contornar os possíveis desacordos gerados pela inserção de ruídos elétricos induzidos e/ou conduzidos no sistema oriundos das longas distâncias de cabos, da utilização de motores elétricos, dos sistemas de radiofrequência entre outros.

Para simular as inclinações da sonda utilizou-se de um suporte para auxiliar na simulação dos ângulos. Com a sonda inserida no tubo guia e o suporte perfeitamente nivelado, pode-se selecionar o ângulo necessário com apoio do nível digital, juntamente com o ajuste



fino realizado através do uso de um paquímetro. Na Figura 27 pode-se verificar um triângulo retângulo simbolizado na cor verde, logo a lei dos senos pode ser aplicada.

Figura 27. Esboço do teste realizado.



Fonte: Própria.

Assim, pela lei dos senos, pode-se calcular o ângulo  $\beta$ , visto que a hipotenusa (H) tem tamanho fixo em 129,2mm. Desta forma, basta medir com um paquímetro a distância X1. Logo poderemos utilizar a Equação 2 para calcular o ângulo em que o tubo se encontra.

$$\frac{H}{\sin 90^\circ} = \frac{X1}{\sin \beta} \quad (2)$$

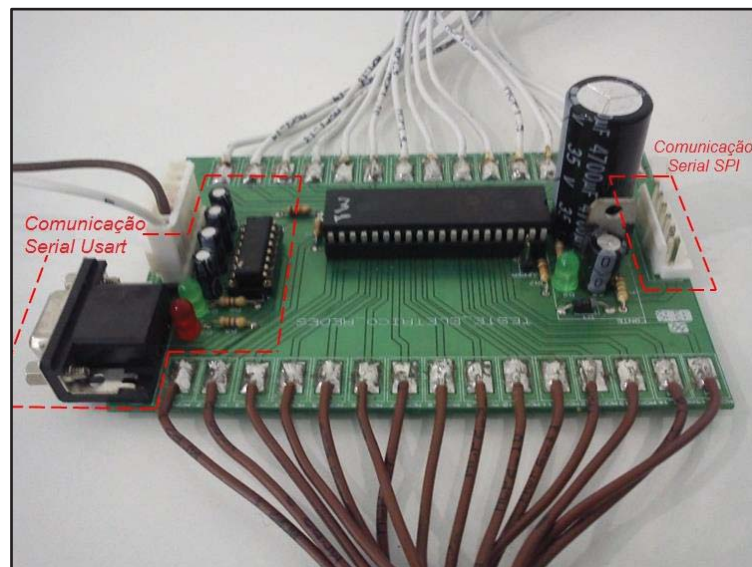
Entretanto, o ângulo informado pela sonda é referenciado a partir do posicionamento da sonda perpendicular com o plano da base do suporte, assim, quando o ângulo  $\beta < 90^\circ$  a sonda representará digitalmente o complemento de  $90^\circ$ .

## 4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

### 4.1 Montagem experimental do MCU

O MCU é o componente onde se encontra todas as estratégias das rotinas necessárias para o funcionamento do sistema, assim, este deve ter algumas características distintas como dispor de hardware para comunicação SPI e USART. Tais características principais levaram a possibilidade de utilização do MCU PIC6F1939 o qual já dispunha. Portanto, o desenvolvimento da placa de testes deste foi realizado a fim de testar a comunicação SPI, além da comunicação serial. A placa protótipo utilizada pode ser visualizada na Figura 28.

Figura 28. Placa para teste elétrico do MCU e comunicação serial.



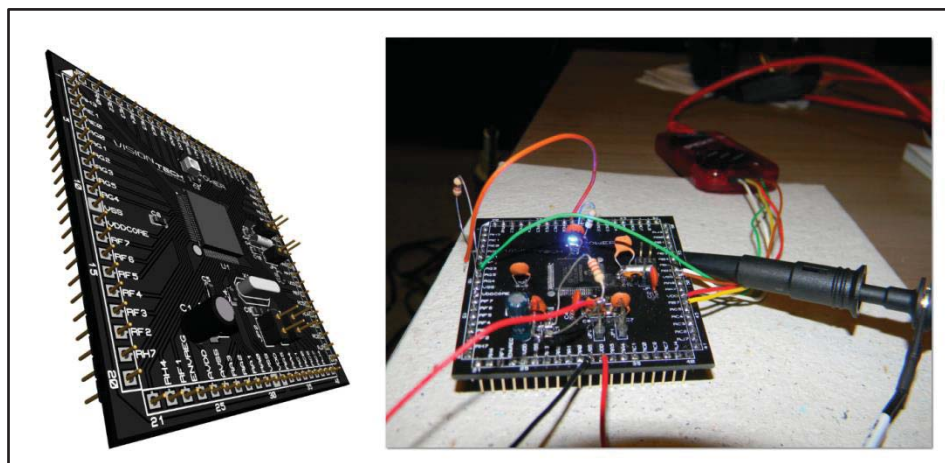
Fonte: Própria.

De posse desta placa, iniciaram-se os testes, os quais demonstraram o funcionamento satisfatório. Entretanto, algumas particularidades chamaram a atenção, como a utilização de apenas uma porta serial USART que demandaria na necessidade da multiplexação da mesma e a necessidade de adicionar um relógio de tempo real (RTCC) externos tornou a aquisição de um MCU mais moderno a ser considerada. Portanto, com estas novas características sendo elas: de baixo consumo de energia, mais de uma porta USART, com RTCC interno e com uma velocidade de processamentos superior, visto que a escrita e leitura do SD Card demanda

um tempo considerável, adquiriu-se o PIC18F87K22 que dispõem de todas as necessidades do projeto além de possibilitar algumas atualizações futuras caso seja necessário.

Como o sistema foi desenvolvido em caráter de protótipo e o PIC18F87K22 selecionado dispôr de um encapsulamento muito pequeno (*fine pitch*), este foi inserido em uma placa menor, a fim de facilitar a montagem de forma manual. A placa menor foi denominada CPU (unidade central de processamento), justamente por conter o microcontrolador como pode ser verificado na Figura 29.

Figura 29. Projeto e teste da placa CPU.



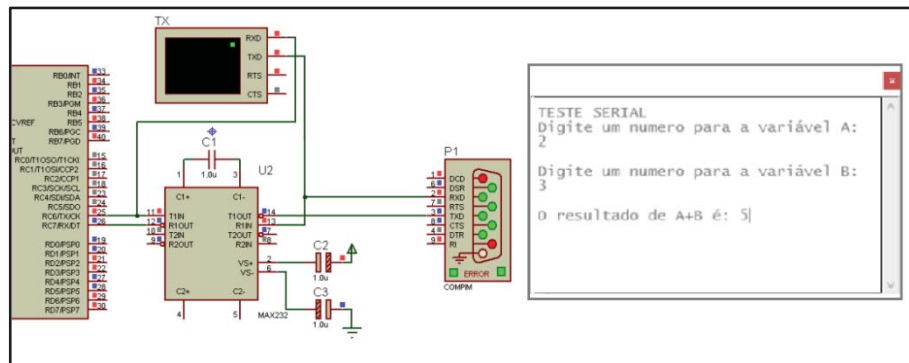
Fonte: Própria.

A placa CPU foi desenvolvida com a possibilidade de acessar todos os pinos facilmente. Assim, pode-se verificar o funcionamento dos pinos de entrada e saída e realizar os testes relacionados ao funcionamento dos osciladores internos e externos.

## 4.2 Comunicação serial USART

Previamente à construção do módulo de aquisição de sinais foram realizadas simulações dos circuitos eletrônicos. Para tal utilizou-se a plataforma do PC para acessar uma porta serial virtualizada a fim de simular a existência desta porta física. Com esse artifício foi possível certificar o funcionamento das rotinas escritas para o MCU. No circuito simulado da Figura 30 verifica-se que o MCU envia e recebe informações serialmente com o auxílio do circuito integrado MAX232, este é o responsável por converter o sinal TTL (*Transistor Transistor Logical*) aos padrões TIA/EIA-232-F. Posteriormente à simulação, o circuito foi aplicado na PCB (*Printed Circuit Board*) como é mostrado na Figura 31.

Figura 30. Simulação do circuito USART.



Fonte: Própria.

Figura 31. Montagem do circuito USART na PCB.



Fonte: Própria.

Para realizar a configuração do hardware USART interno do MCU, alguns registradores internos devem ser configurados. Um dos principais registradores é o SPBRG (*Baud Rate Generator*) que representa um valor calculado para a velocidade da transmissão dos dados entre os equipamentos.

Por se tratar de uma comunicação assíncrona, a velocidade estipulada para a comunicação foi definida em 9600bps (bits por segundo), velocidade essa, comumente utilizada entre equipamentos que utilizam comunicação USART. Desta forma, o valor do SPBRG foi calculado pela Equação 3.

$$SPBRG = \frac{\_XTAL\_FREQ}{USART\_BAUD \div 64} - 1 \quad (3)$$

Onde `_XTAL_FREQ` representa a velocidade em que o MCU foi solicitado a operar, nesse caso igual a 64MHz. Já a variável `USART_BAUD` recebe o valor correspondente a velocidade da comunicação serial ao qual objetiva-se, conforme definição anterior 9600bps. Assim, o valor encontrado para o registrador `SPBRG` é 104, visto que este é um registrador de 8bits apenas o valor inteiro é validado.

O erro esperado para a velocidade determinada pode ser calculado com a aplicação do valor encontrado em `SPBRG` na Equação 3. Assim, o valor de `USART_BAUD` é 9523. Assim, a Equação 4 demonstra que o Erro fica em 0,8%. Valor este aceito pelos padrões definidos pela TIA/EIA-232-F.

$$Erro = \frac{(SPBRG \text{ calculado} - USART\_BAUD \text{ desejado})}{USART\_BAUD \text{ desejado}} \quad (4)$$

### 4.3 Mídia de armazenagem de dados (SD Card)

Para a armazenagem das informações obtidas através da interpretação dos valores gerados pelos sensores aplicados no projeto, escolheu-se a utilização de cartão de memória padrão SD Card (*Secure Digital Memory Card*), o qual pode ser facilmente adquirido e por apresentarem uma boa relação entre custo e capacidade de armazenamento. Esses cartões são compostos basicamente por uma matriz de memórias Flash e um microcontrolador interno que gerencia as funções solicitadas. Os controles básicos da memória Flash como apagar, ler e escrever, estão padronizados no microcontrolador internamente ao cartão de memória, sendo necessária apenas a solicitação de cada uma das funções via comunicação serial SPI (*Serial Peripheral Interface*). A transferência de dados deve ocorrer entre o SD Card e o microcontrolador via blocos de 512 bytes por se tratar de uma padronização atualmente aplicada. Os sistemas mais utilizados para a formatação destes cartões de memória são os FAT12, FAT16 e o mais recente FAT32.

Por se tratar de um sistema que não tem uma demanda muito grande na armazenagem dos dados, e considerando a dificuldade e capacidade do microcontrolador gerenciar esta tarefa além do restante do sistema, optou-se pela utilização, o sistema de memória FAT16. Nesse caso o máximo do tamanho do SD Card possível de ser utilizado pelo sistema em valores inferiores a 4GB.

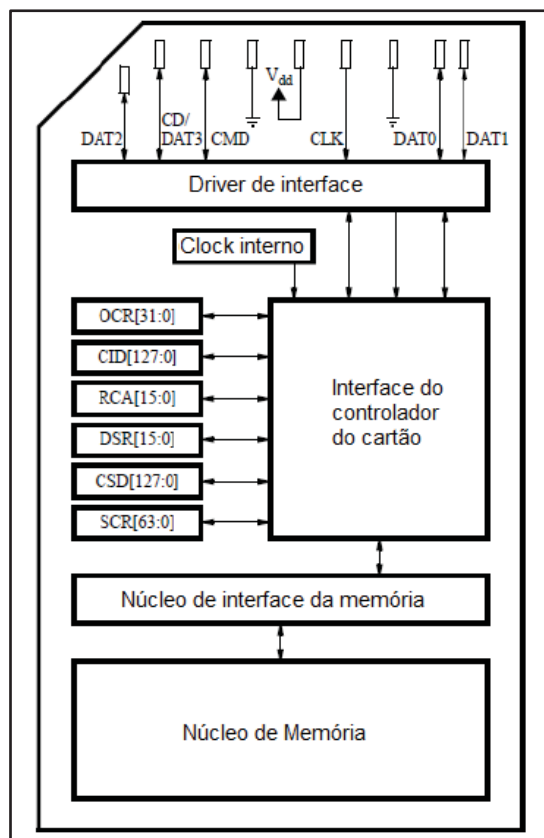
Para que o SD Card tenha a possibilidade de ser removido do sistema e possa ser inserido em qualquer computador a fim de disponibilizar a avaliação dos dados salvos, é

necessário realizar a programação do microcontrolador conforme as configurações que os sistemas operacionais (Windows / Linux / MAC) utilizam. Esse formato possui algumas características importantes que serão detalhadas na sequência.

#### 4.3.1 Características eletrônicas do SD Card

O SD Card tem como padrão nove pinos para sua utilização (interface) além de registradores para acesso das funções que devem ser acessados via comunicação serial que podem ser verificados no diagrama em blocos mostrado na Figura 32.

Figura 32. Diagrama em blocos SD Card.



Fonte: Adaptada do modelo do Datasheet.

O controlador pode ler e/ou escrever um dado da memória (*Memory Core*) via comando enviados ao controlador (*Card Interface Controller*) o qual acionará o gerenciador de memória (*Memory Core Interface*). Para que essas funções sejam interpretadas, os registradores internos (OCR, CID, RCA, DSR, CSD e SCR) devem ser definidos ou

verificados informando o estado do SD Card. O controlador pode operar em dois modos: modo de controle ou de dados.

O modo de controle define o modo de setup, como o SD Card deve operar bem como os comandos de posicionamento do dado a ser lido ou escrito. Já o modo de dados, refere-se apenas ao valor que deverá ser salvo no SD Card.

Para o barramento de comunicação serial SPI funcionar adequadamente, este deve ser ajustado para operar com níveis de tensão e corrente conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Condições de operação do barramento SPI.

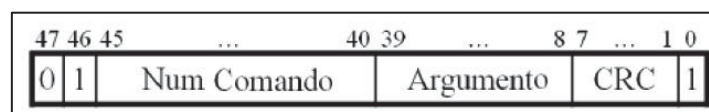
Parâmetro	Símbolo	Mínimo	Máximo	Unidade	Observações
Pico de tensão em todas as linhas	---	-0,3	Vdd + 0,3	V	
Corrente de saída	---	-10	10	uA	
Tensão de alimentação	Vdd	2,0	3,6	V	Comandos CMD0, 15, 55 ACMD41
	Vdd	2,7	3,6	V	Exeto comandos CMD0, 15, 55, ACMD41
Tensão diferencial (Vss1, Vss2)	---	-0,3	0,3	V	
Tempo para inicializar	---	---	250	ms	De 0V até Vdd (min)

Fonte: Lecture 12: SPI and SD cards, Cristinel Ababei, March 2013, adaptada.

#### 4.3.2 Comunicação entre o SD Card e o microcontrolador

A comunicação deve seguir um padrão de 48 bits conforme a Figura 33, a fim de realizar os acionamentos conforme os registradores forem configurados. Os registradores seguem uma linha de nomenclatura denominado CMD. Para exemplificar, ao iniciar deve-se enviar o comando CMD0, o que corresponde 0x40 em hexadecimal para o primeiro byte a ser enviado. Após enviar o CMD0 deve-se enviar o CMD1 o que corresponde 0x41 em hexadecimal para o primeiro byte a ser enviado. Portanto o CMDXX, nada mais é que adicionar o valor do CMD em decimal ao valor 0x40 em hexadecimal. Assim, CMD12 significa 0x4C em hexadecimal.

Figura 33. Formato dos 48 bits para o SD Card.



Fonte: Lecture 12: SPI and SD cards, Cristinel Ababei, March 2013

Sabendo como se deve enviar e receber dados ou comandos ao SD Card, pode-se partir ao controle, a ponto de formatar o SD Card no padrão FAT16. Para tal, devem-se entender as divisões dos setores.

O SD Card, para trabalhar com o padrão de formatação FAT16, utiliza 512 bits como tamanho de cada *cluster* (espaço de memória mínimo). Desta forma, partindo da posição zero da memória, inicia-se o primeiro setor, o qual é denominado *Boot Sector*. Este tem como função primordial a inicialização do SD Card, onde se pode encontrar o nome da empresa fabricante, o modo de formatação, o nome do volume, a quantidade de espaço livre, ocupado e total do SD Card. Este setor dispõe então de 512bits, ou seja, finaliza em 0x01FF em hexa decimal. A Figura 34 demonstra um *template*, gerado via o software winhex, que facilita a interpretação dos dados no *Boot Sector*.

Figura 34. Template Boot Sector.

Offset	Title	Value
0	JMP instruction	EB 3C 90
3	OEM	MSDOS5.0
BIOS Parameter Block		
11	Bytes per sector	512
13	Sectors per cluster	64
14	Reserved sectors	8
16	Number of FATs	2
17	Root entries	512
19	Sectors (under 32 MB)	0
21	Media descriptor (hex)	F8
22	Sectors per FAT	236
24	Sectors per track	63
26	Heads	255
28	Hidden sectors	8.199
32	Sectors (over 32 MB)	3.854.329
36	BIOS drive (hex, HD=8x)	80
37	(Unused)	0
38	Ext. boot signature (29h)	29
39	Volume serial number (decimal)	2.089.810.005
39	Volume serial number (hex)	55 F8 8F 7C
43	Volume label	NO NAME
54	File system	FAT16
510	Signature (55 AA)	55 AA

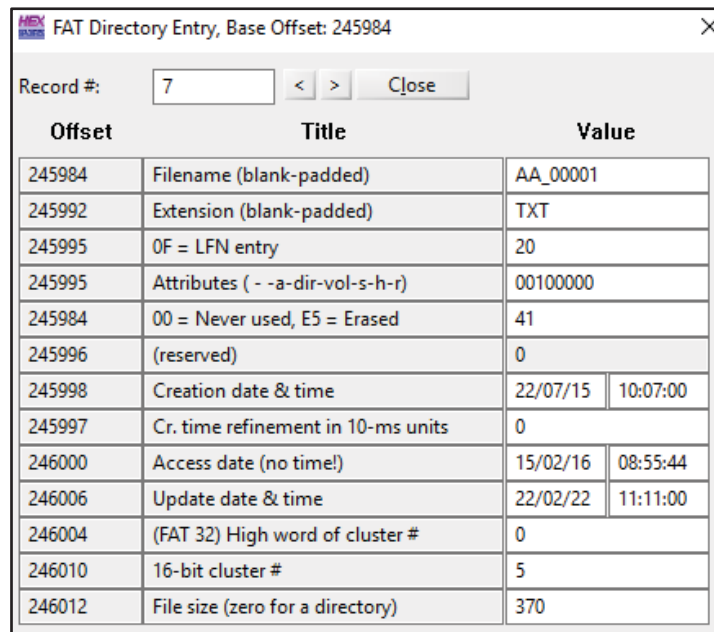
Fonte: Software Winhex.



Logo após o Boot Sector, encontra-se a tabela FAT1. Esta contém marcações com o cunho de informar os setores de memória já ocupados. Seguindo, encontra-se a FAT2 que nada mais é que um espelho da tabela FAT1. Assim, ao ser escrito em uma posição da memória, deve-se sinalizar na tabela FAT1 e repetir os valores na tabela FAT2 para confirmar a escrita de um dado na memória do SD Card.

O setor mais importante, além do espaço disponível para armazenar os dados, é o *Root Directory*, este contém as informações sobre nome do documento salvo, extensão do documento, data de criação, data de modificação, último acesso além do tamanho do arquivo, demonstrado na Figura 35.

Figura 35. Template Root Directory.



Offset	Title	Value
245984	Filename (blank-padded)	AA_00001
245992	Extension (blank-padded)	TXT
245995	OF = LFN entry	20
245995	Attributes ( - -a-dir-vol-s-h-r)	00100000
245984	00 = Never used, E5 = Erased	41
245996	(reserved)	0
245998	Creation date & time	22/07/15   10:07:00
245997	Cr. time refinement in 10-ms units	0
246000	Access date (no time!)	15/02/16   08:55:44
246006	Update date & time	22/02/22   11:11:00
246004	(FAT 32) High word of cluster #	0
246010	16-bit cluster #	5
246012	File size (zero for a directory)	370

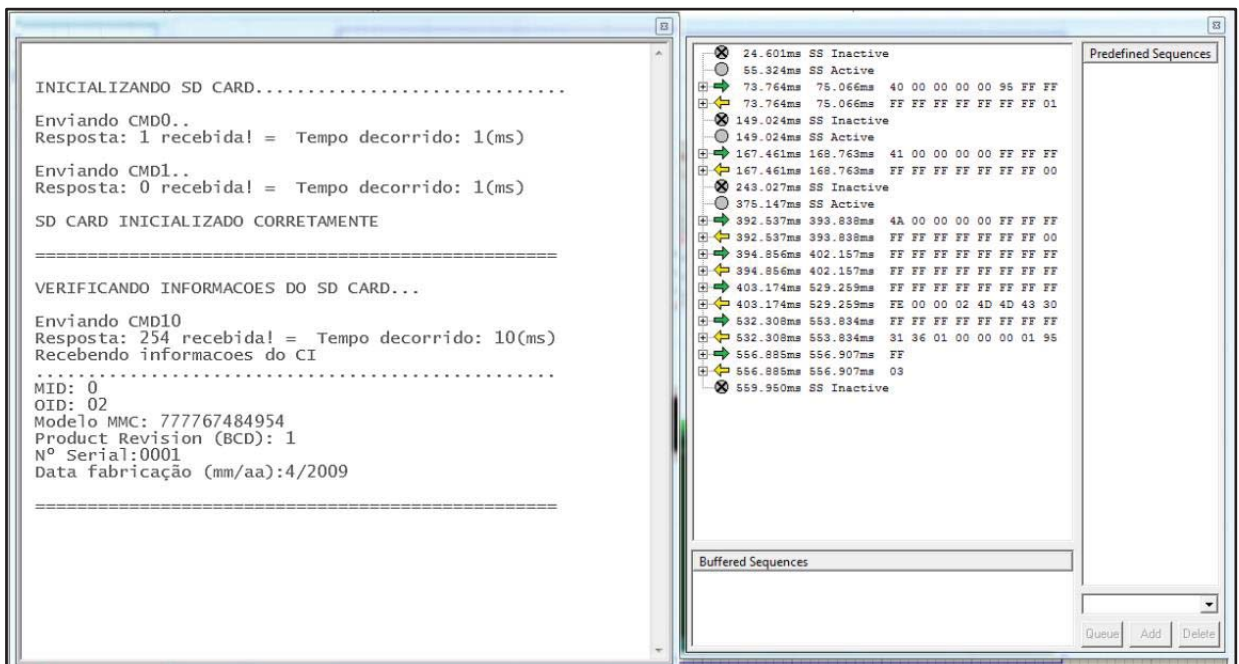
Fonte: Software Winhex.

Posteriormente, tem-se o espaço disponível para guardar os dados propriamente ditos, este é denominado de *Free Space*, justamente por tratar-se de um espaço livre disponível para armazenagem dos dados.

#### 4.4 Comunicação serial SPI entre o MCU e o SD Card

O padrão determinado para armazenar os dados adquiridos da sonda, o SD Card tem como padrão de comunicação SPI. Para tal, realizou-se inicialmente, os testes assim como com a USART, conforme mostrado na Figura 36.

Figura 36. Simulação da comunicação serial SPI do SD Card.

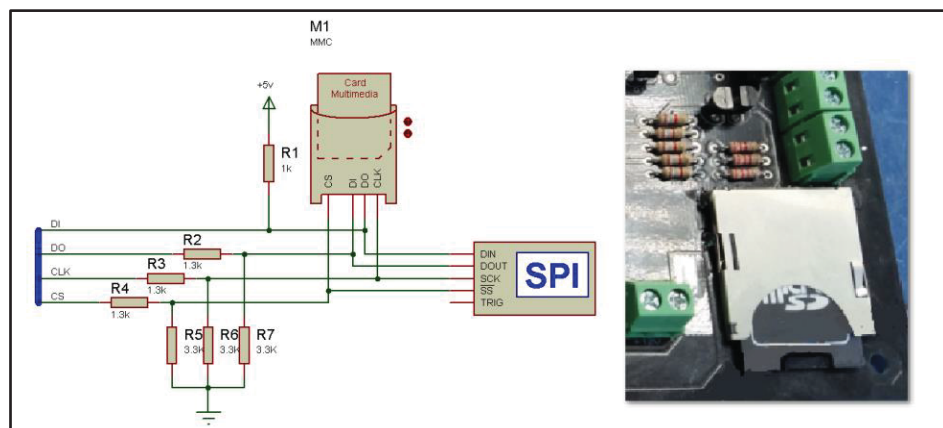


Fonte: Própria.

Percebe-se ao lado direito da Figura 36 a comunicação sendo realizada, simbolicamente e numericamente. Já ao lado esquerdo, pode-se observar o terminal sendo simulado, demonstrando o avanço das etapas do código desenvolvido.

A validação deste código foi possível apenas após a construção da placa com o conector para o SD Card seguindo o circuito desenvolvido previamente conforme a Figura 37.

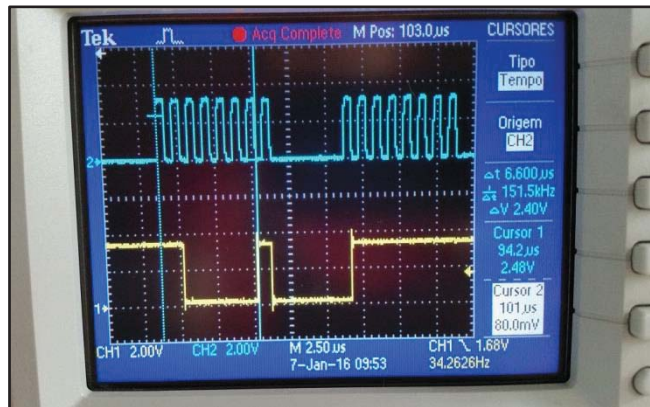
Figura 37. Circuito teste simulado e circuito realizado do SD Card.



Fonte: Própria.

Após a montagem, ocorreu a confirmação do funcionamento das rotinas. Com o uso do osciloscópio pode-se verificar as respostas aos comandos iniciais para a comunicação do SD Card. A Figura 38 mostra em azul o sinal de *clock* enviado pelo MCU e em amarelo a resposta do SD Card.

Figura 38. Verificação da comunicação entre o MCU e o SD Card.



Fonte: Própria.

Para realizar a configuração do hardware SPI interno do MCU, alguns registradores internos devem ser configurados. Por se tratar de uma comunicação síncrona, que depende de sincronismo, a velocidade da transmissão não é um ponto crítico. Assim, dois dos principais registradores são o CKP (*Clock Polarity*) que define a polarização do clock, ou seja, se este deve operar por borda de subida ou borda de descida e o SSPM (*Master Synchronous Serial Port Mode*), registrador este que define o modo de funcionamento conforme as especificações técnicas informadas pelo fabricante do MCU, listado abaixo:

- SSPM = 10, SPI Master mode: clock = FOSC/8
- SSPM = 5, SPI Slave mode: clock = SCKx pin; SSx pin control disabled; SSx can be used as I/O pin
- SSPM = 4, SPI Slave mode: clock = SCKx pin; SSx pin control enabled
- SSPM = 3, SPI Master mode: clock = TMR2 output/2
- SSPM = 2, SPI Master mode: clock = FOSC/64
- SSPM = 1, SPI Master mode: clock = FOSC/16
- SSPM = 0, SPI Master mode: clock = FOSC/4

Portanto, o valor 0 foi definido para o registrador CKP, configurando o MCU para interpretar o nível baixo como sendo o valor para o período de espera. Para o registrador SSPM definiu-se como 2, onde o módulo SPI fica configurado como *Master Mode* com *clock* igual a frequência dividido por 64.

#### 4.5 Desenvolvimento da PCB do *Data Logger*

Para que a CPU consiga realizar as tarefas necessárias para o sistema, foi necessário o desenvolvimento de uma placa auxiliar, esta maior, contendo todo o hardware de interface, entradas e saídas, dispositivo de armazenamento de dados, além da fonte de alimentação. A Figura 39 demonstra a placa CPU já acoplada à placa auxiliar, compondo o *Data Logger* desenvolvido.

Figura 39. Placa auxiliar com CPU inserida.



Fonte: Própria.

Para o desenvolvimento desta PCB levou-se como premissa:

- Adicionar entradas e saídas extras
- Disponibilizar todos os pinos via conector para posterior ligação
- Conter uma fonte de alimentação específica
- Soquete para inserção de SD Card com comunicação SPI
- Dispor de uma porta USART - padrão TIA/EIA-232-F
- Adicionar a adição de um display alfanumérico
- Disponibilizar uma área para realizar a prototipagem para inserção de componentes PTH (*Pin Through Hole*) e SMD (*Surface Mount Device*)

Para que o sistema funcione adequadamente, é necessário a utilização de uma fonte, tanto chaveada quanto linear que disponha de no mínimo 10V e no máximo 19V em corrente contínua. Essa fonte deve ser capaz de suprir um consumo de 150mA para manter o sistema em funcionamento quando da utilização do display para acompanhamento e monitoramento do funcionamento do sistema.

A fonte deve ser capaz de drenar tal corrente adicionado ao valor da tensão de pico necessário para o acionamento do somatório das cargas, evitando o mau funcionamento do sistema, principalmente quando das leituras das tensões dos sinais de entradas analógicas que dependem de uma fonte de alimentação estabilizada para uma leitura precisa.

A placa auxiliar disponibiliza ainda a possibilidade da adição de uma pequena bateria, ou banco de pilhas que servem de reforço ao sistema, principalmente mantendo o microcontrolador ativo sem perder as configurações predefinidas além de ser possível informar quando a fonte principal de energia está prestes a ser esgotada.

#### 4.6 Display LCD

Para que o usuário possa ajustar os parâmetros de referência do sistema e verificar as ações que o sistema está executando, foi adicionado um display LCD de 2 linhas por 16 colunas como mostrado na Figura 40.

Figura 40. Teste do LCD.



Fonte: Própria.

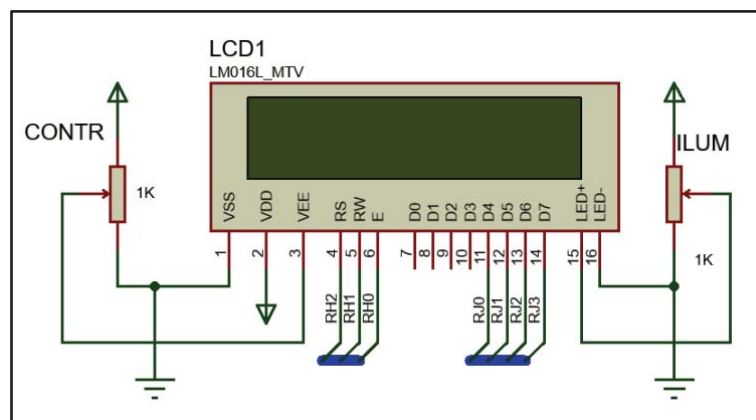
Através dessa interface, são ajustados a hora e os minutos para posteriormente ajustar a data. Tais informações são passadas ao módulo RTCC para acesso futuro, com intuito de registrar o momento em que as aquisições dos dados ocorreram.

A placa auxiliar está preparada para receber apenas displays com a relação das funções de cada pino conforme a Figura 41. Esta figura demonstra ainda que o display está conectado

no modo *nibble*, onde apenas os 4bits menos significativos do conector de dados do display é utilizado para a comunicação com o MCU.

Cabe ressaltar que o código escrito para realizar a comunicação com o display, foi baseado no controlador LM016, controlador muito comum quando se trata de display. Displays com maior número de caracteres utilizando esse controlador também são aceitos pelo hardware desenvolvido, necessitando apenas pequenos ajustes no código para adequar as informações conforme a necessidade de estas serem mostradas.

Figura 41. Circuito utilizado para acionamento do LCD.



Fonte: Própria.

#### 4.7 Método para armazenagem dos dados em cartão de memória – *Data Logger*

A forma mais segura atualmente de arquivar dados, é no formato digital. Portanto, o sistema do *Data Logger* tem como objetivo principal armazenar os dados coletados por ele, sendo definido a utilização do SD Card, por se tratar de um sistema de memória removível de fácil aquisição.

Este necessita ser formatado no padrão FAT16 o qual possibilitará o arquivamento dos dados gerenciados pelo *Data Logger*. Para que os arquivos estejam disponíveis para serem avaliados, foi necessário escolher a extensão do arquivo (tipo). Foi escolhido como padrão para o sistema da sonda, o arquivo CSV. Este arquivo tem como principal ponto positivo, a possibilidade de ser avaliado via softwares comuns ao nosso meio como o Excel® da Microsoft.

A estruturação pretendida foi baseada nas informações capazes de serem avaliadas pelo sistema desenvolvido. Assim, para obter-se o modelo proposto na Figura 42 foi

necessário o desenvolvimento de um código para que o microcontrolador pudesse realizar a montagem deste documento.

Figura 42. Modelo do arquivo salvo em CSV aberto via Excel®.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	=====							
2	Sistema de monitoramento de encostas							
3	Data:	22/07/2015				DOC:	Aa_00001	
4	=====							
5								
6	HORA	MIN	SEG	PROFUND	INC_X	INC_Y	N_AGUA	PRECIPIIT
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Própria.

Esta formatação só é possível visto o trabalho realizado pelo microcontrolador, o qual na verdade salva na memória do SD Card as informações em um formato de baixo nível e de difícil compreensão visual conforme é mostrado na Figura 43. Este formato de arquivo é interpretado pelo Excel® o qual gera graficamente uma melhor disposição destes dados, facilitando a interpretação visual, conforme visto anteriormente.

Figura 43. Arquivo padrão no formato \*CSV.

```
=====;
;Sistema de monitoramento de encostas;
;Data;;22/07/2015;;DOC;;Aa_00001;
=====;
;
;
HORA;MIN;SEG;PROFUND;INC_X;INC_Y;N_AGUA;PRECIPIIT
0;0;0;0;0;0;0;0
0;0;0;0;0;0;0;0
0;0;0;0;0;0;0;0
```

Fonte: Própria.

Uma vez padronizado, o código sempre seguirá a mesma sequência de dados como visto na Figura 43, o que possibilitará o arquivamento e posterior avaliação sem maiores complicações.

Cabe ressaltar que ao realizar uma varredura, o sistema automaticamente cria um novo documento com o nome estruturado da seguinte maneira:

Xy\_00000

Onde, “X” é definido pela sequência alfabética que corresponde o ano em que o sistema realizou a avaliação dos sensores em uma excursão da sonda. Assim, a letra “A” que pela tabela ASCII corresponde a 0x41 em hexadecimal, representará 2016. Seguindo esta lógica, a letra “Z”, a qual tem sua correspondência em hexadecimal como 0x5A representa o ano de 2041. Disponibilizando assim a possibilidade de o sistema executar suas atividades, sem intervenção ao código, durante 26 anos.

Assim, o “y” corresponde ao mês do ano em que foi realizada a avaliação dos sensores. Onde, a letra “a” que baseado na tabela ASCII tem seu valor definido como 0x61 em hexadecimal, representará o primeiro mês do ano, janeiro. O último mês do ano, dezembro, será representado pela letra “l”, o qual tem como referência o valor de 0x6C em hexadecimal.

Para diferenciar os documentos dentro de um mesmo mês, de um mesmo ano, vislumbrando uma quantidade muito grande de excursões mensais da sonda, optou-se na composição de cinco caracteres dispostos entre 0 e 9, desta forma, será possível ter a primeira leitura do mês como 00000 e a última leitura sendo 99999, o que corresponde a uma quantidade de 100.000 leituras mensais, que por sua vez representa em 3.225 excursões diárias considerando um período de 31 dias, corroborando o fato de que o sistema possui condições técnicas suficientes para realizar diversas leituras em um único dia.

#### **4.8 Comunicação entre a sonda e o *Data Logger***

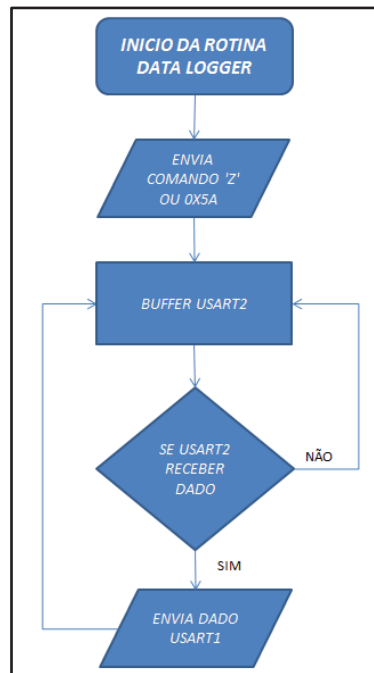
A sonda utilizada dispõe de uma placa eletrônica que é encarregada de receber as informações do inclinômetro lá inserido, realizar a interpretação dos dados da inclinação e aplicar os filtros necessários para posteriormente enviar estes dados via USART ao *Data Logger*.

A sonda contém ainda, no seu código, um filtro para minimizar as variações discrepantes quando da excursão da sonda com a aplicação de uma média móvel. Esta mantém ou descarta o dado lido do sensor caso este não estiver dentro de um valor máximo e mínimo que varia com relação das médias anteriores.

Portanto, inicialmente foi desenvolvido um código simples com o intuito de realizar a comunicação com a sonda, disponibilizando os dados enviados e recebidos via terminal, possibilitando assim a validação do seu funcionamento. O fluxograma apresentado na Figura 44 permite a compreensão das dependências e ações que o código executa.



Figura 44. Fluxograma do código teste.



Fonte: Própria.

Desta forma, o código inicializa enviando um comando em hexadecimal (0X5A) correspondente ao caractere Z. Este comando zera a variável que controla a quantidade de vezes que o *encoder* enviou pulsos, assim, inicializando o processo de medição entre as leituras. A cada 150mm que a sonda se mover, o *encoder* envia 148 pulsos, assim quando este valor é atingido o MCU da sonda envia a média dos valores medidos nesse intervalo de tempo pela porta serial USART.

Quando o Buffer da USART2 do *Data Logger* receber um dado, este é imediatamente enviado para a USART1 que realiza a comunicação com o computador. Finalmente é possível verificar os valores dos ângulos recebidos. O formato dos dados enviados pela sonda segue um padrão definido como:

- Inicialmente são enviados os caracteres \$I para informar que este é o início dos dados enviados.
- Posteriormente a sonda envia uma vírgula seguida do ângulo do eixo x, com sua magnitude, multiplicado por 100, a fim de possibilitar o envio de casas decimais
- Na sequência envia outra vírgula seguida do ângulo de y, com sua magnitude, multiplicado por 100, a fim de possibilitar o envio de casas decimais.

- Para finalizar a sonda envia o comando /n que significa nova linha para alguns terminais.

A Figura 45 demonstra os dados recebidos após um ensaio para verificação do funcionamento da comunicação serial USART.

Assim, para converter os dados recebidos serialmente deveremos excluir os caracteres de inicialização e de término da transmissão. Os valores restantes correspondem ao ângulo de X e de Y. Entretanto, para que o ângulo seja interpretado corretamente, o código escrito converte os caracteres referentes em número decimal.

De posse deste valor é necessário realizar a divisão do valor do ângulo por 100, assim obtemos o valor real lido pela sonda.

Figura 45. Terminal contendo os dados recebidos da sonda.

```

Monitor * <no name>
File Edit Serial Logfile ?
Courier New 10 B I O
TTY Hex
00000000: 50 49 43 20 54 58 31 21 0A 0D 3D 3D 3D 3D 3D 3D PIC TX! . .-----
00000010: 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D 3D =====
00000020: 3D 0A 0D 24 49 2C 2D 34 31 36 35 2C 2D 35 30 37 =.$.I,-4165,-507
00000030: 36 2A 0A 24 49 2C 2D 33 39 34 32 2C 2D 34 38 37 6*$.I,-3942,-487
00000040: 35 2A 0A 24 49 2C 2D 33 36 39 30 2C 2D 34 36 35 5*$.I,-3690,-465
00000050: 31 2A 0A 24 49 2C 2D 33 34 31 31 2C 2D 34 33 39 1*$.I,-3411,-439
00000060: 38 2A 0A 24 49 2C 2D 33 31 33 32 2C 2D 34 31 34 8*$.I,-3132,-414
00000070: 35 2A 0A 24 49 2C 2D 32 38 38 35 2C 2D 33 39 32 5*$.I,-2885,-392
00000080: 38 2A 0A 24 49 2C 2D 32 35 36 34 2C 2D 33 36 34 8*$.I,-2564,-364
00000090: 37 2A 0A 24 49 2C 2D 32 32 39 38 2C 2D 33 34 31 7*$.I,-2298,-341
000000A0: 38 2A 0A 24 49 2C 2D 31 39 32 32 2C 2D 33 30 39 8*$.I,-1922,-309
000000B0: 36 2A 0A 24 49 2C 2D 31 33 36 38 2C 2D 32 36 31 6*$.I,-1368,-261
000000C0: 39 2A 0A 24 49 2C 2D 37 31 30 2C 2D 32 30 36 38 9*$.I,-710,-2068
000000D0: 2A 0A 24 49 2C 31 39 30 2C 2D 31 33 31 34 2A 0A *$.I,190,-1314*.
000000E0: 24 49 2C 38 36 35 2C 31 34 31 34 2A 0A 24 49 2C $.I,865,1414*$.I,
000000F0: 38 36 35 2C 31 34 31 34 2A 0A 24 49 2C 38 36 35 865,1414*$.I,865
00000100: 2C 31 34 31 34 2A 0A 24 49 2C 38 36 35 2C 31 34 ,1414*$.I,865,14
00000110: 31 34 2A 0A 24 49 2C 38 36 35 2C 31 34 32 31 2A 14*$.I,865,1421*
00000120: 0A |
Control lines: RTS: [x] DTR: [x] BREAK: [x] Status lines: CTS: [x] DSR: [x] RING: [x] DCD: [x] Output queue: 0
Errors: 0 Log: <none> 0 Total: 289 Moni-2.20

```

Fonte: Própria.

#### 4.9 Interface de entradas e saídas digitais e analógicas

Por se tratar de um sistema protótipo definiu-se que seria importante deixar disponíveis algumas entradas digitais e analógicas, bem como saídas digitais para futuras expansões do sistema. Exemplos destas expansões podem ser citados como, adição de campainhas para aviso de colapso eminente, leituras de sensores de umidade do solo, nível de precipitação entre outros que por ventura surjam como auxiliares na avaliação do local onde a sonda será instalada.

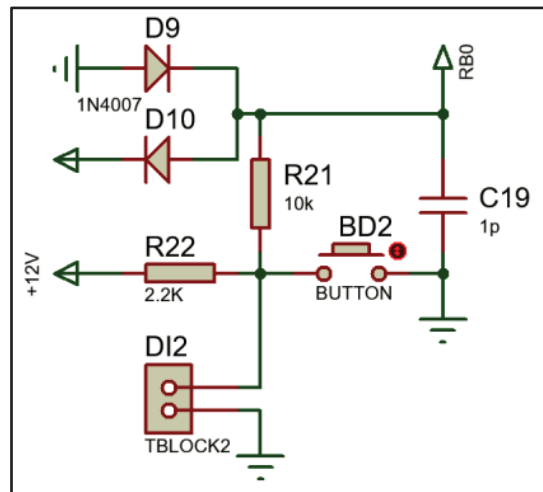
Portanto, a placa dispõe de seis entradas digitais, sendo dois botões que estão ligados paralelamente a bornes de saída para fios. Caso seja necessário para definir as configurações do sistema, estes já estão dispostos na placa, necessitando apenas a programação dos mesmos.

Este circuito tem como característica principal trabalhar com tensão superior ao padrão TTL (*Transistor-Transistor Logic*), pois neste padrão, 0V representa nível lógico zero e 5V representam nível lógico alto. Na configuração desenvolvida, pode-se verificar a presença de um botão (BD2) em paralelo ao borne de saída (DI2).

Enquanto BD2 está aberto, a saída (RB0) que está conectado diretamente ao microcontrolador, tem como tensão fixada em aproximadamente 5,7V. Este resultado indefere da tensão de alimentação aplicada, pois a tensão no pino do microcontrolador é oriunda da soma da fonte regulada em 5V e da queda de tensão do diodo (D10), que é aproximadamente 0,7V pois trata-se de um diodo de silício.

Em contraposição, ao momento em que BD2 estiver fechado, RB0 estará em paralelo com o diodo (D9) e o resistor (R21) que estarão conectados ao terra do sistema, levando RB0 a nível lógico zero. Esta configuração utilizada deve-se à eliminação de possíveis interferências e ruídos que causariam leituras errôneas das entradas digitais em questão. O circuito utilizado pode ser visualizado na Figura 46.

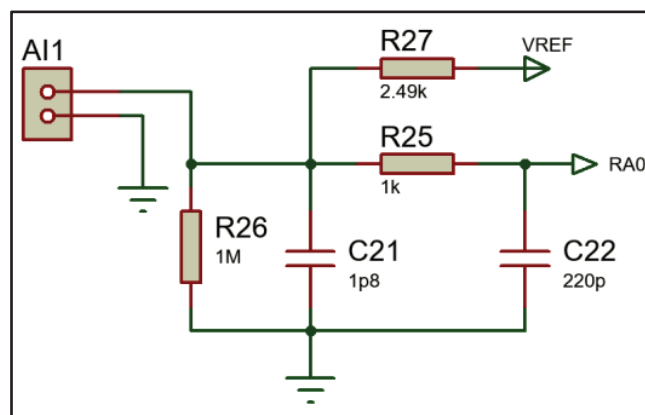
Figura 46. Circuito de entrada digital.



Fonte: Própria.

Já para a realização da leitura de sinais analógicos, existe a demanda de um circuito diferenciado, onde devem-se ter em mente a frequência com que os valores se alteram. Desta forma, existe no circuito desenvolvido na Figura 47, um filtro RC simples, composto por um resistor (R25) e um capacitor (C22). Entretanto estes valores poderão ser facilmente alterados caso exista a necessidade de realizar um ajuste fino na frequência de corte do filtro passa-baixa construído.

Figura 47. Circuito de entrada analógica.



Fonte: Própria.

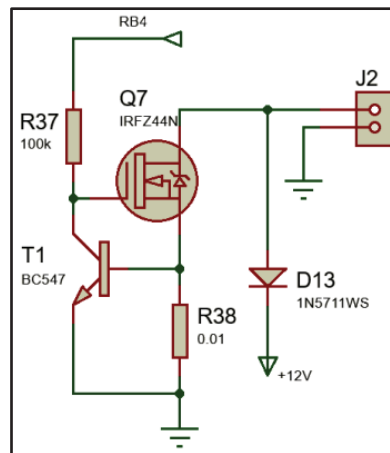
No sistema desenvolvido, existem quatro entradas analógicas de 12-bit disponíveis para serem utilizadas para diversos tipos de sensores. Existe ainda uma entrada analógica fixada na fonte de alimentação, onde esta tem como objetivo principal a verificação do nível de tensão da fonte de alimentação. Caso esta fonte de alimentação opere abaixo de 8V, o

sistema entra em modo de redução de energia denominado de MODO ECO. Em qualquer momento ao detectar uma tensão superior a 8,5V o MODO ECO é desativado e a CPU volta ao seu funcionamento no MODO NORMAL.

Assim, para que o sistema funcione adequadamente no MODO NORMAL, é necessário a utilização de uma fonte, tanto chaveada quanto linear, que disponha de no mínimo 8,5V e no máximo 19V em corrente contínua. Esta fonte deve ser capaz de suprir um consumo de 150mA para manter o sistema em funcionamento quando da utilização do display para acompanhamento e monitoramento do funcionamento do sistema.

Cabe ressaltar que a placa auxiliar contém oito saídas configuradas conforme a Figura 48. Com a utilização destas saídas disponibilizadas, o valor da corrente da fonte deve ser equalizado, pois a fonte deve ser capaz de drenar o somatório das correntes de pico, bem como do consumo padrão da placa auxiliar, para que não resulte funcionamento incorreto do sistema, principalmente quando das leituras das tensões dos sinais de entradas analógicas que dependem de uma fonte de alimentação estabilizada para uma leitura precisa.

Figura 48. Circuito de saída com controle de corrente.



Fonte: Própria.

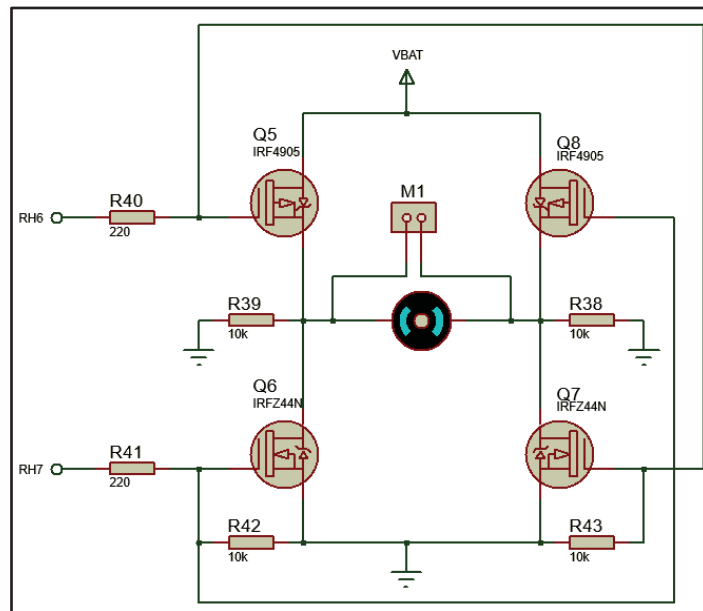
Portanto, o circuito definido para o acionamento das saídas segue a premissa de utilização de um transistor (Q7) *Power Mosfet* de fácil aquisição e que disponha de um *Gate Threshold Voltage* (VGS(th)) em padrões TTL, para que houvesse a necessidade de um *Gate Drive* para acionamento deste. O circuito utilizado tem ainda um transistor bipolar (T1) configurado via o resistor (R38) com o intuito de funcionar como um limitador de corrente. Quando a corrente ultrapassar o valor estabelecido T1 e Q7 entram em regime de corte, evitando maiores problemas com a placa auxiliar.

#### 4.10 Hardware para a movimentação automática da sonda

Previendo a necessidade de a sonda ser excursionada automaticamente, a PCB auxiliar dispõe de uma saída exclusiva para a movimentação de um motor para que o movimento seja possível. O motor deverá girar tanto no sentido horário quanto no anti-horário, desta forma, como todo o sistema é alimentado por uma fonte de corrente contínua aliado à sua necessidade de giro nos dois sentidos, favorece a utilização de um motor alimentado por corrente contínua.

Assim, definiu-se a utilização de uma configuração bastante comum para o acionamento do motor, denominada ponte H que pode ser verificada na Figura 49.

Figura 49. Circuito da Ponte H.



Fonte: Própria.

No circuito percebe-se dois pinos de entrada: o pino RH6 e o pino RH7. Esses pinos são selecionados pelo MCU a fim de acionar os transistores que, por sua vez, realizam a seleção do sentido de giro do motor. Quando selecionado o pino RH6 os transistores Q5 e Q7 são acionados, possibilitando o giro do motor. Para o movimento oposto do motor, é necessário acionar o pino RH7, visto que esse aciona os transistores Q6 e Q8, invertendo o sentido da tensão que alimenta o motor.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

Para a validação do sistema desenvolvido foram determinados cinco ensaios listados abaixo:

- Controle de limitação de corrente nas saídas de potência
- Comunicação serial USART entre a sonda e o *Data Logger*
- Resultados dos ângulos direto e transversal da sonda
- Comunicação serial SPI entre o SD Card e o *Data Logger*
- Arquivamento dos ângulos recebidos da sonda em arquivo \*CSV.

### 5.1 Ensaio do circuito de entradas digitais e analógicas

Nas entradas digitais testadas, realizou-se um curto-circuito nos bornes de cada entrada, simulando um acionamento de tecla ou mesmo de um circuito dedicado de sensores externos à placa. Os acionamentos são interpretados como quantidades de interrupções, desta forma, um sensor, como o pluviômetro basculante, mostrado na Figura 50, envia um sinal elétrico quando o volume de água é extrapolado em uma de suas câmaras, podendo assim ser conectado ao sistema, visto que a soma dos valores registrados equivalem à quantidade total pluviométrica.

Figura 50. Modelo de pluviômetro basculante.



Fonte: [http://www.watec.it/product.php?id\\_product=46](http://www.watec.it/product.php?id_product=46). Acesso em 10 abr 2016.

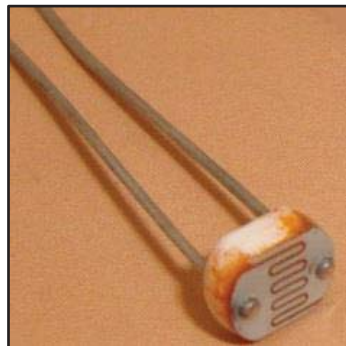
Para as entradas analógicas os testes foram realizados com a inserção de um potenciômetro a fim de simular os sensores analógicos resistivos como sensores de temperatura, luminosidade, umidade do solo, mostrados nas Figura 51, Figura 52 e Figura 53. Assim, com a resistência tendendo a zero, o circuito detecta o menor valor possível para o potenciômetro o que corresponde a 0000|0000|0000 em binário, ou 0 em decimal. Quando a resistência tende ao valor máximo descrito na especificação do potenciômetro, o circuito interpreta essa resistência como 1111|1111|1111 em binário, ou 4095.

Figura 51. Sensor de temperatura NTC.



Fonte: Manual Técnico Addtherm.

Figura 52. Sensor de luminosidade LDR.



Fonte: Catálogo Sunrom.

Figura 53. Sensor de umidade do solo.



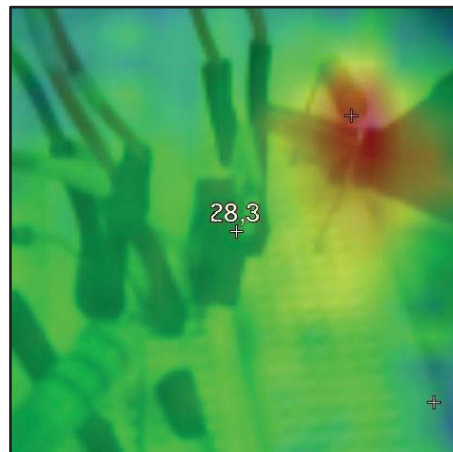
Fonte: Catálogo Sigmasensors.



## 5.2 Ensaio do circuito de limitação de corrente nas saídas de potência

Para realizar os testes de limitação de corrente, o circuito foi montado em *protoboard* e posteriormente deu-se início aos ensaios de corrente e temperatura máxima. A primeira situação testada teve a saída acionada constantemente com carga para 7A, ou seja, um resistor de  $1,5\Omega$  foi ligado à saída do circuito. O resultado desse ensaio indicou que o circuito é capaz de suprir tal corrente para sem a necessidade da adição de dissipador de calor no transistor IRFZ44N, visto que a temperatura do encapsulamento TO-220 ficou na faixa de  $38,1^{\circ}\text{C}$  medidos com a câmera térmica Fluke VT02 sendo  $12,1^{\circ}\text{C}$  mais quente que a temperatura ambiente. A Figura 54 mostra o resultado do ensaio para o ensaio de corrente máxima sem acionamento da proteção.

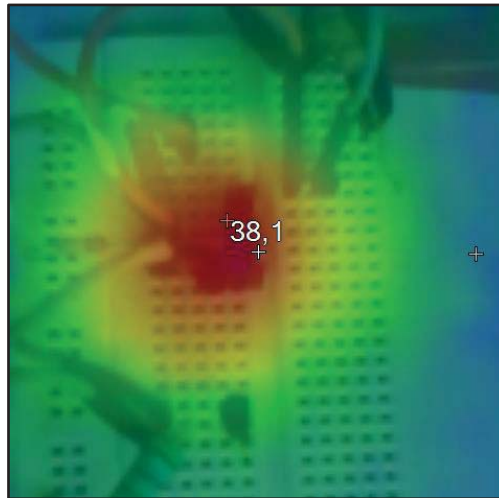
Figura 54. Imagem térmica com carga resistiva.



Fonte: Própria.

O segundo ensaio utilizou-se de um fio de cobre para promover um curto-circuito com o objetivo de testar o controle de corrente desenvolvido. A resultante deste ensaio foi satisfatória, conforme o esperado, onde a corrente ficou limitada em 7A e a temperatura do *Mosfet* não ultrapassou  $27^{\circ}\text{C}$ , não sendo necessária a adição de um dissipador de calor. A Figura 55 mostra o resultado para o ensaio de corrente máxima, na condição de curto circuito, acionando o circuito de proteção em teste.

Figura 55. Imagem térmica com carga em curto-circuito



Fonte: Própria.

Desta forma o circuito apresentou-se bem robusto, atendendo a premissa de projeto de evitar que o *Mosfet* sofra qualquer tipo de dano por um curto ocasionado nos bornes de saída da placa auxiliar.

### 5.3 Ensaio da comunicação serial USART entre a sonda e o *Data Logger*

O ensaio da comunicação serial entre a sonda e o *Data Logger*, foi dividido em etapas, sendo a primeira no momento do desenvolvimento das rotinas para o controle do MCU e somente posterior ao teste da comunicação ter sido validado, deu-se início a leitura dos ângulos da sonda conforme posicionamento previamente definido. Assim, realizou-se a formatação de uma tabela contendo ângulos de  $-30^{\circ}$  até  $+30^{\circ}$  com incremento de  $2,5^{\circ}$  para cada eixo individualmente. Esse procedimento foi repetido dez vezes para cada eixo como pode ser verificado nas Figura 56 e Figura 57.

Figura 56. Dados ensaiados para o eixo X.

Ângulo Nivel Digital	Ângulo Esperado	Dado Eixo X LEITURA 1	Dado Eixo X LEITURA 2	Dado Eixo X LEITURA 3	Dado Eixo X LEITURA 4	Dado Eixo X LEITURA 5	Dado Eixo X LEITURA 6	Dado Eixo X LEITURA 7	Dado Eixo X LEITURA 8	Dado Eixo X LEITURA 9	Dado Eixo X LEITURA 10
-60°	-30°	-27,1	-27,08	-27,11	-27,08	-27,09	-27,08	-27,11	-27,09	-27,08	-27,09
-62,5°	-27,5°	-24,65	-24,67	-24,65	-24,67	-24,65	-24,67	-24,64	-24,67	-24,65	-24,64
-65°	-25°	-22,11	-22,1	-22,11	-22,1	-22,09	-22,12	-22,12	-22,1	-22,12	-22,13
-67,5°	-22,5°	-19,53	-19,51	-19,54	-19,52	-19,52	-19,54	-19,53	-19,5	-19,52	-19,52
-70°	-20°	-16,95	-16,93	-16,93	-16,93	-16,92	-16,94	-16,94	-16,96	-16,95	-16,95
-72,5°	-17,5°	-14,39	-14,37	-14,36	-14,38	-14,37	-14,38	-14,37	-14,36	-14,4	-14,37
-75°	-15°	-11,84	-11,82	-11,82	-11,85	-11,83	-11,84	-11,83	-11,85	-11,85	-11,85
-77,5°	-12,5°	-9,1	-9,09	-9,09	-9,07	-9,08	-9,08	-9,1	-9,07	-9,07	-9,1
-80°	-10°	-6,75	-6,75	-6,74	-6,76	-6,74	-6,72	-6,73	-6,73	-6,75	-6,73
-82,5°	-7,5°	-4,01	-4	-4	-4,02	-4,02	-4,02	-3,99	-3,99	-4,02	-4
-85°	-5°	-1,82	-1,8	-1,79	-1,8	-1,79	-1,82	-1,8	-1,8	-1,82	-1,8
-87,5°	-2,5°	0,39	0,42	0,42	0,41	0,41	0,39	0,42	0,42	0,4	0,4
-90°	0°	2,81	2,81	2,83	2,83	2,82	2,82	2,84	2,8	2,83	2,83
90°	0°	2,81	2,81	2,83	2,83	2,82	2,82	2,84	2,8	2,83	2,83
87,5°	2,5°	5,18	5,19	5,19	5,19	5,21	5,19	5,19	5,17	5,21	5,2
85°	5°	7,65	7,65	7,66	7,68	7,68	7,67	7,66	7,65	7,66	7,66
82,5°	7,5°	10,02	10,03	10,04	10,04	10,05	10,04	10,05	10,04	10,04	10,01
80°	10°	12,47	12,45	12,45	12,48	12,48	12,48	12,47	12,48	12,47	12,46
77,5°	12,5°	15	15,02	15,02	15,02	15,02	15	15,01	15,01	14,99	14,99
75°	15°	17,59	17,61	17,61	17,61	17,59	17,58	17,58	17,58	17,59	17,59
72,5°	17,5°	20,1	20,11	20,1	20,08	20,08	20,11	20,11	20,1	20,08	20,09
70°	20°	22,65	22,68	22,65	22,67	22,67	22,67	22,65	22,67	22,65	22,65
67,5°	22,5°	25,26	25,24	25,25	25,25	25,27	25,24	25,24	25,27	25,26	25,27
65°	25°	28,07	28,06	28,07	28,07	28,06	28,04	28,06	28,07	28,04	28,06
62,5°	27,5°	30,39	30,39	30,42	30,4	30,39	30,41	30,39	30,39	30,42	30,39
60°	30°	33,03	33,03	33,01	33,02	33,02	33	33	33,01	33	33,02

Fonte: Própria.

Figura 57. Dados ensaiados para o eixo Y.

Ângulo Nivel Digital	Ângulo Esperado	Dado Eixo Y LEITURA 1	Dado Eixo Y LEITURA 2	Dado Eixo Y LEITURA 3	Dado Eixo Y LEITURA 4	Dado Eixo Y LEITURA 5	Dado Eixo Y LEITURA 6	Dado Eixo Y LEITURA 7	Dado Eixo Y LEITURA 8	Dado Eixo Y LEITURA 9	Dado Eixo Y LEITURA 10
-60°	-30°	-27,93	-27,94	-27,92	-27,92	-27,94	-27,95	-27,95	-27,92	-27,93	-27,95
-62,5°	-27,5°	-25,54	-25,52	-25,52	-25,5	-25,53	-25,53	-25,53	-25,54	-25,54	-25,54
-65°	-25°	-23,12	-23,11	-23,1	-23,09	-23,09	-23,08	-23,09	-23,11	-23,09	-23,1
-67,5°	-22,5°	-20,68	-20,68	-20,66	-20,66	-20,68	-20,66	-20,66	-20,65	-20,68	-20,68
-70°	-20°	-18,22	-18,23	-18,2	-18,2	-18,21	-18,21	-18,23	-18,23	-18,21	-18,21
-72,5°	-17,5°	-15,67	-15,68	-15,7	-15,68	-15,69	-15,66	-15,69	-15,67	-15,69	-15,68
-75°	-15°	-13,21	-13,23	-13,2	-13,21	-13,21	-13,24	-13,21	-13,21	-13,21	-13,21
-77,5°	-12,5°	-10,17	-10,17	-10,17	-10,14	-10,15	-10,15	-10,16	-10,15	-10,17	-10,17
-80°	-10°	-8,2	-8,2	-8,18	-8,18	-8,18	-8,17	-8,17	-8,2	-8,18	-8,2
-82,5°	-7,5°	-5,86	-5,86	-5,83	-5,83	-5,84	-5,84	-5,86	-5,83	-5,84	-5,85
-85°	-5°	-3,2	-3,21	-3,21	-3,19	-3,22	-3,19	-3,19	-3,19	-3,18	-3,19
-87,5°	-2,5°	-0,81	-0,79	-0,8	-0,81	-0,79	-0,79	-0,81	-0,78	-0,78	-0,78
-90°	0°	1,53	1,54	1,55	1,56	1,53	1,55	1,54	1,55	1,56	1,53
90°	0°	1,53	1,54	1,55	1,56	1,53	1,55	1,54	1,55	1,56	1,53
87,5°	2,5°	3,84	3,85	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,81	3,83	3,81
85°	5°	6,15	6,17	6,15	6,17	6,14	6,17	6,17	6,17	6,15	6,17
82,5°	7,5°	8,8	8,81	8,83	8,81	8,81	8,81	8,81	8,83	8,84	8,81
80°	10°	11,09	11,09	11,09	11,11	11,12	11,11	11,12	11,11	11,11	11,11
77,5°	12,5°	13,64	13,64	13,65	13,65	13,67	13,67	13,65	13,67	13,65	13,65
75°	15°	16,25	16,23	16,25	16,25	16,27	16,27	16,27	16,25	16,25	16,25
72,5°	17,5°	18,87	18,84	18,85	18,83	18,85	18,83	18,85	18,85	18,83	18,85
70°	20°	21,39	21,38	21,39	21,38	21,37	21,41	21,41	21,39	21,39	21,39
67,5°	22,5°	24,1	24,12	24,12	24,09	24,09	24,09	24,12	24,11	24,1	24,1
65°	25°	27,02	27,02	27,06	27,04	27,04	27,04	27,04	27,04	27,05	27,04
62,5°	27,5°	29,27	29,28	29,28	29,27	29,27	29,25	29,25	29,28	29,25	29,27
60°	30°	32	31,99	31,99	32	32,02	32,02	32,01	32	32	32,02

Fonte: Própria.

#### 5.4 Avaliação dos resultados dos ângulos direto e transversal da sonda

De posse dos valores recebidos pela sonda nas 10 repetições da simulação de excursão para o eixo X e para o eixo Y demonstradas nas Figura 58 e Figura 59, pode-se realizar a avaliação dos dados. Para tal, utilizou-se do cálculo do desvio padrão, da distribuição modelo t e do intervalo de confiança das amostras encontradas. Portanto, de posse dos valores

calculados, é possível estimar os ângulos, a sonda retornará para o ângulo específico com um nível de confiança definido tradicionalmente como 95%. Os valores calculados para as amostras futuras de cada ângulo para os limites inferior e superior, a margem de erro, os desvios padrão referenciados sobre a média dos 10 valores obtidos para cada ângulo da sonda posicionada no tubo são mostrados na Figura 58.

Figura 58. Cálculo do desvio padrão, da distribuição t e do intervalo de confiança do eixo X.

	MEDIÇÕES DO EIXO -X - COM NÍVEL MITUTOYO PR0360												
	-60°	-62,5°	-65°	-67,5°	-70°	-72,5°	-75°	-77,5°	-80°	-82,5°	-85°	-87,5°	-90°
<i>número amostras</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>Desvio Padrão</i>	0,012°	0,013°	0,012°	0,013°	0,012°	0,013°	0,012°	0,013°	0,012°	0,013°	0,012°	0,013°	0,012°
<i>Intervalo de Confiança</i>	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
<i>Nível de Confiança</i>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>Distribuição t (tabela)</i>	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228
<i>Margem de Erro</i>	0,008°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,008°	0,009°	0,009°
<i>Limite Inferior</i>	-27,099°	-24,665°	-22,119°	-19,532°	-16,949°	-14,384°	-11,847°	-9,094°	-6,749°	-4,016°	-1,812°	0,399°	2,813°
<i>Média</i>	-27,091°	-24,656°	-22,110°	-19,523°	-16,940°	-14,375°	-11,838°	-9,085°	-6,740°	-4,007°	-1,804°	0,408°	2,822°
<i>Limite Superior</i>	-27,083°	-24,647°	-22,101°	-19,514°	-16,931°	-14,366°	-11,829°	-9,076°	-6,731°	-3,998°	-1,796°	0,417°	2,831°

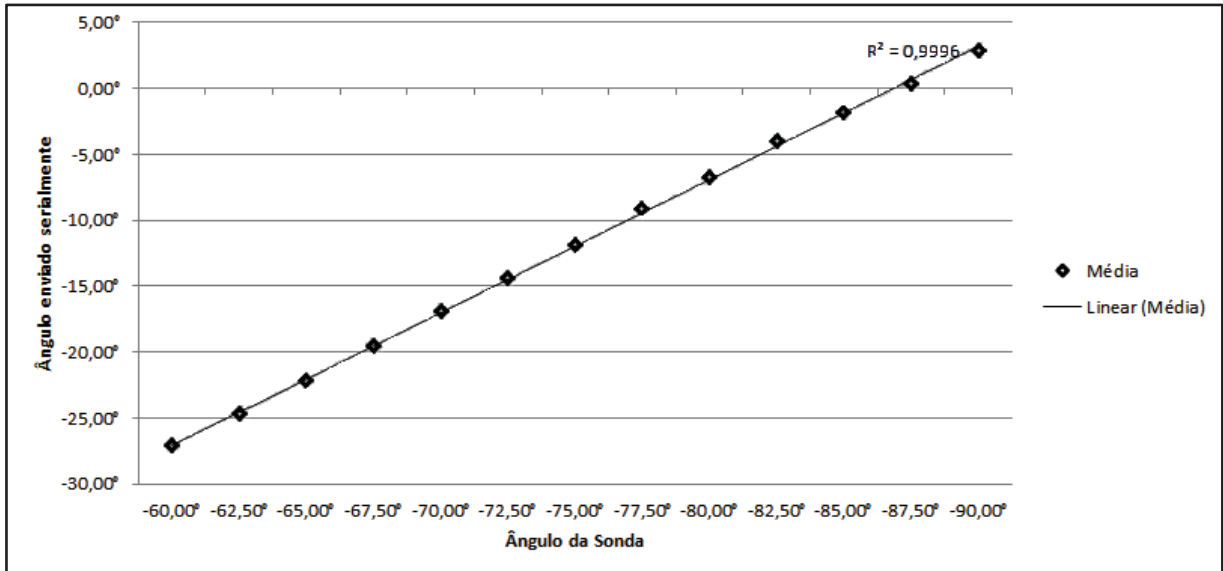
  

	MEDIÇÕES DO EIXO +X - COM NÍVEL MITUTOYO PR0360												
	90°	87,5°	85°	82,5°	80°	77,5°	75°	72,5°	70°	67,5°	65°	62,5°	60°
<i>número amostras</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>Desvio Padrão</i>	0,012°	0,012°	0,011°	0,013°	0,012°	0,012°	0,013°	0,013°	0,012°	0,013°	0,012°	0,013°	0,012°
<i>Intervalo de Confiança</i>	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
<i>Nível de Confiança</i>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>Distribuição t (tabela)</i>	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228
<i>Margem de Erro</i>	0,009°	0,009°	0,008°	0,009°	0,008°	0,009°	0,009°	0,009°	0,008°	0,009°	0,008°	0,009°	0,008°
<i>Limite Inferior</i>	2,813°	5,183°	7,654°	10,027°	12,461°	14,999°	17,584°	20,087°	22,653°	25,246°	28,052°	30,390°	33,006°
<i>Média</i>	2,822°	5,192°	7,662°	10,036°	12,469°	15,008°	17,593°	20,096°	22,661°	25,255°	28,060°	30,399°	33,014°
<i>Limite Superior</i>	2,831°	5,201°	7,670°	10,045°	12,477°	15,017°	17,602°	20,105°	22,669°	25,264°	28,068°	30,408°	33,022°

Fonte: Própria.

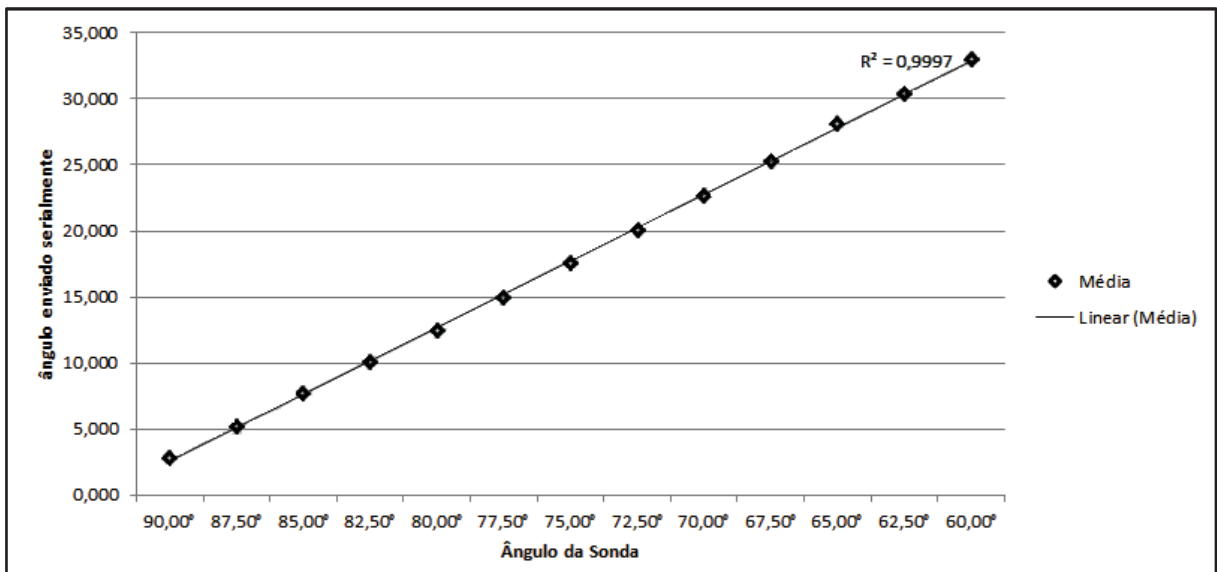
Na Figura 59 pode-se verificar a curva referente a média e a dispersão dos valores enviados pela sonda para o eixo X quando o ângulo é menor que 90 graus e para os ângulos maiores que 90 graus é representado na Figura 60.

Figura 59. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo X <90°.



Fonte: Própria.

Figura 60. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo X >90°.



Fonte: Própria.

O mesmo procedimento aplicado ao eixo X foi aplicado ao eixo Y. Desse modo a Figura 61 demonstra a mesma estrutura de cálculo utilizado, resultando assim em desvios padrão, referenciados sobre a média dos 10 valores obtidos para cada ângulo da sonda posicionada no tubo.

Assim como para o eixo X, foi possível estimar os valores em que a sonda retornará para o ângulo específico com um nível de confiança definido tradicionalmente como 95%. Os

valores calculados para os limites inferior e superior além da margem de erro calculada para as amostras futuras de cada ângulo Y são mostrados na Figura 61.

Figura 61. Cálculo do desvio padrão, da distribuição t e do intervalo de confiança do eixo Y.

	MEDIÇÕES DO EIXO -Y - COM NÍVEL MITUTOYO PR0360												
	-60°	-62,5°	-65°	-67,5°	-70°	-72,5°	-75°	-77,5°	-80°	-82,5°	-85°	-87,5°	-90°
<b>número amostras</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Desvio Padrão</b>	1,269°	1,287°	1,229°	1,197°	1,179°	1,197°	1,174°	1,155°	1,265°	1,265°	1,252°	1,265°	1,174°
<b>Intervalo de Confiança</b>	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
<b>Nível de Confiança</b>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<b>Distribuição t (tabela)</b>	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228
<b>Margem de Erro</b>	0,009°	0,009°	0,009°	0,008°	0,008°	0,008°	0,008°	0,008°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,008°
<b>Limite Inferior</b>	-27,944°	-25,538°	-23,107°	-20,677°	-18,223°	-15,689°	-13,222°	-10,168°	-8,195°	-5,853°	-3,206°	-0,803°	1,536°
<b>Média</b>	-27,935°	-25,529°	-23,098°	-20,669°	-18,215°	-15,681°	-13,214°	-10,160°	-8,186°	-5,844°	-3,197°	-0,794°	1,544°
<b>Limite Superior</b>	-27,926°	-25,520°	-23,089°	-20,661°	-18,207°	-15,673°	-13,206°	-10,152°	-8,177°	-5,835°	-3,188°	-0,785°	1,552°

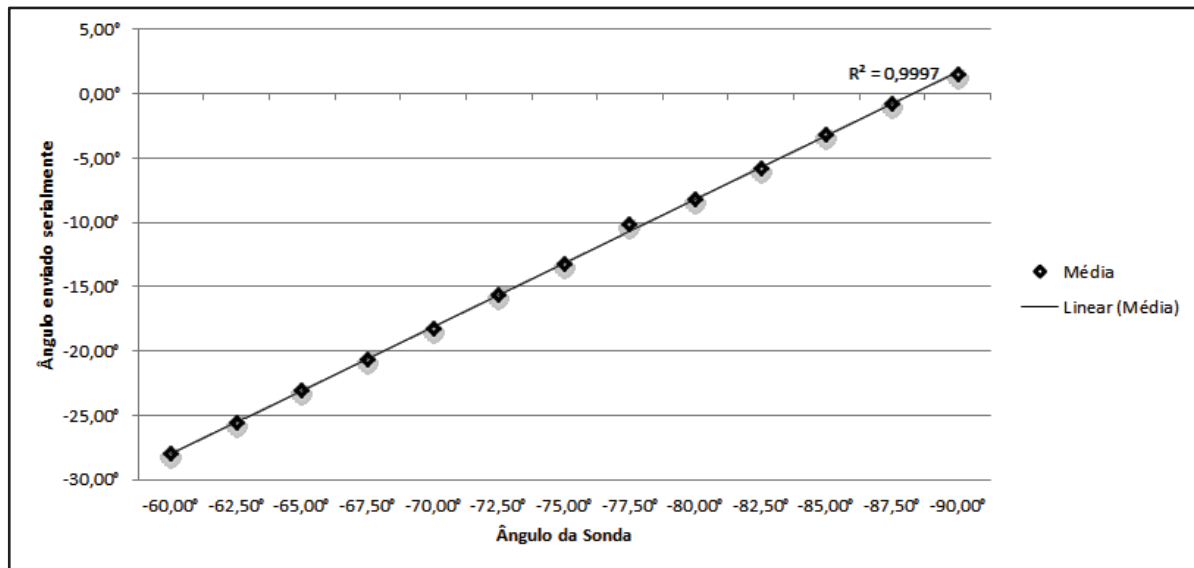
  

	MEDIÇÕES DO EIXO +Y - COM NÍVEL MITUTOYO PR0360												
	90°	87,5°	85°	82,5°	80°	77,5°	75°	72,5°	70°	67,5°	65°	62,5°	60°
<b>número amostras</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Desvio Padrão</b>	1,174°	1,197°	1,197°	1,265°	1,179°	1,174°	1,265°	1,269°	1,247°	1,265°	1,197°	1,252°	1,179°
<b>Intervalo de Confiança</b>	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
<b>Nível de Confiança</b>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<b>Distribuição t (tabela)</b>	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228	2,228
<b>Margem de Erro</b>	0,008°	0,008°	0,008°	0,009°	0,008°	0,008°	0,009°	0,009°	0,009°	0,009°	0,008°	0,009°	0,008°
<b>Limite Inferior</b>	1,536°	3,821°	6,153°	8,807°	11,097°	13,646°	16,245°	18,836°	21,381°	24,095°	27,031°	29,258°	31,997°
<b>Média</b>	1,544°	3,829°	6,161°	8,816°	11,105°	13,654°	16,254°	18,845°	21,390°	24,104°	27,039°	29,267°	32,005°
<b>Limite Superior</b>	1,552°	3,837°	6,169°	8,825°	11,113°	13,662°	16,263°	18,854°	21,399°	24,113°	27,047°	29,276°	32,013°

Fonte: Própria.

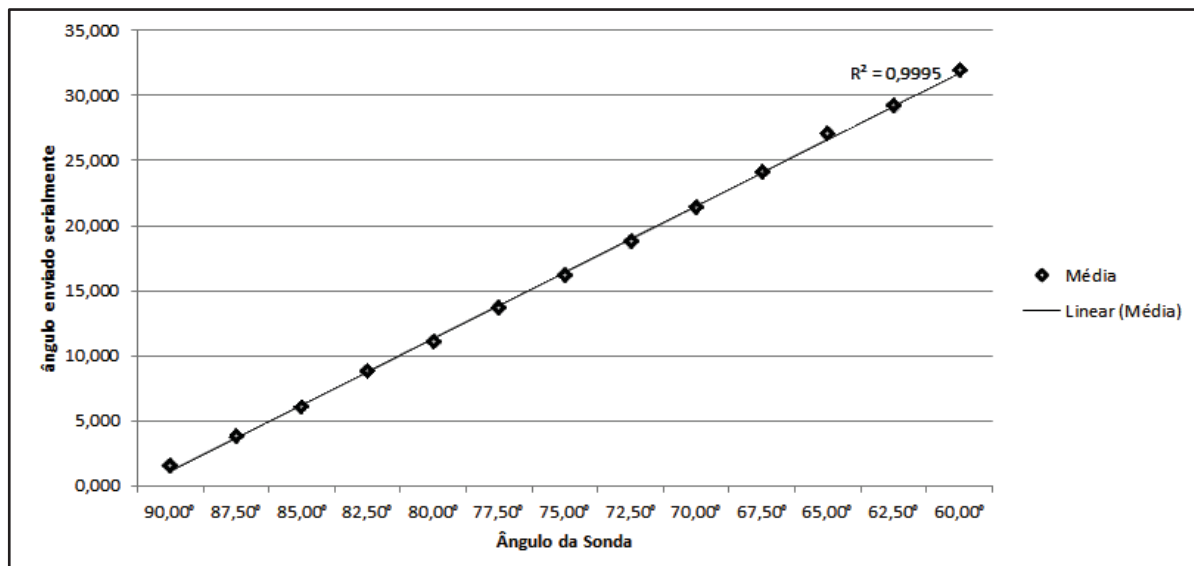
Na Figura 62 pode-se verificar a curva referente à média e a dispersão dos valores enviados pela sonda para o eixo Y quando o ângulo é menor que 90° e para os ângulos maiores que 90° é representado na Figura 63.

Figura 62. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo Y <90°.



Fonte: Própria.

Figura 63. Curva de resposta da média dos valores recebidos quando o eixo Y >90°.



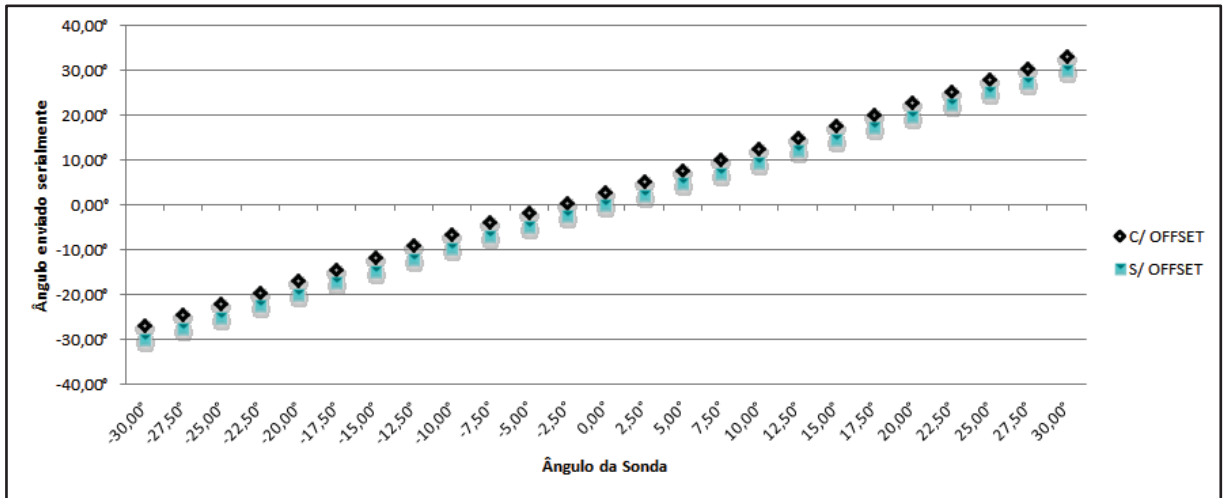
Fonte: Própria.

Percebe-se que tanto para os valores recebidos tanto no eixo X quanto no eixo Y, há existência de um *offset* quando do ângulo 90°. Portanto, para a correção desse *offset* os ângulos resultantes sofreram o ajuste proposto na Equação 5.

$$\hat{\text{Ângulo}} = \hat{\text{Ângulo}}_{\text{ant}} - \hat{\text{Ângulo}}_{\text{offset}} \quad (5)$$

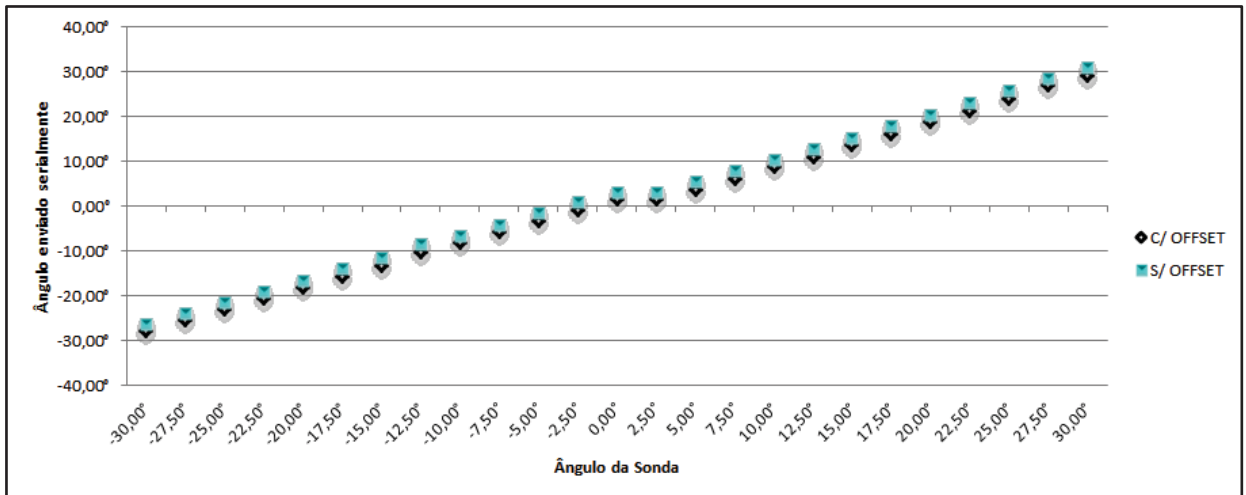
Desta forma a resposta para os ângulos lidos pela sonda resultou em novas tabelas com o ajuste relacionado ao  $\hat{\text{Ângulo}}_{\text{offset}}$  para o eixo X no valor de  $-2,897^\circ$ , demonstrado na Figura 64 e para o  $\hat{\text{Ângulo}}_{\text{offset}}$  do eixo Y o valor encontrado é de  $-1,655^\circ$ , demonstrado na Figura 65.

Figura 64. Resposta do ângulo com e sem ajuste de *offset* para o eixo X.



Fonte: Própria.

Figura 65. Resposta do ângulo com e sem ajuste de *offset* para o eixo Y.



Fonte: Própria.

Considerando que o cálculo do erro teve o valor máximo de  $0,009^\circ$ , que está dentro de um intervalo de confiança de 95% e considerando a superfície perpendicular ao furo onde a sonda excursiona, pode-se aplicar a lei dos senos para calcular o valor esperado para o escorregamento superficial baseado em um ângulo pré-determinado. Do mesmo modo, pode-



se estimar o escorregamento superficial para o ângulo acrescido do erro de  $0,009^\circ$ . Comparando o valor do ângulo esperado com o acrescido do erro foi possível montar a Tabela 7.

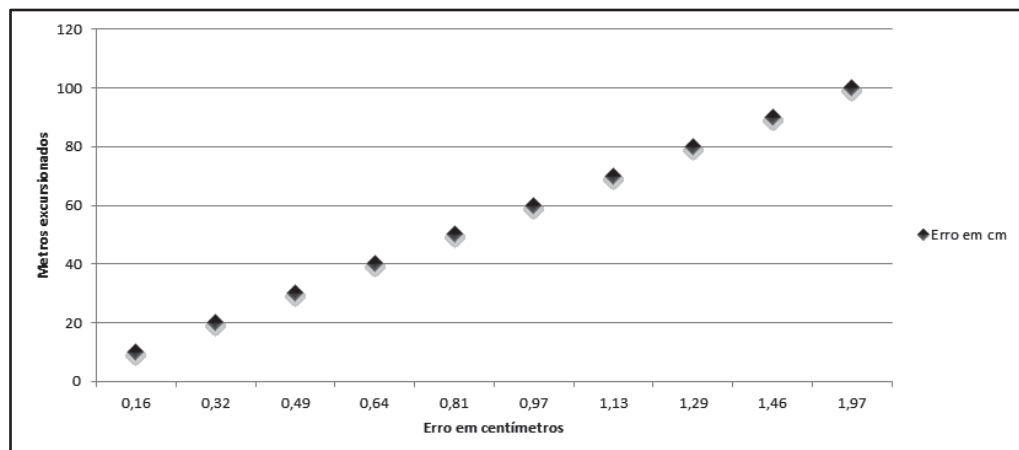
Tabela 7. Estimativa do deslocamento superficial.

<i>Quantidade excursionada em metros</i>	<i>Deslocamento esperado</i>	<i>Deslocamento com erro do ângulo</i>	<i>Erro em cm</i>
10	1,7632	1,7616	0,16
20	3,5265	3,5233	0,32
30	5,2898	5,2849	0,49
40	7,053	7,0466	0,64
50	8,8163	8,8082	0,81
60	10,5796	10,5699	0,97
70	12,3428	12,3315	1,13
80	14,1061	14,0932	1,29
90	15,8694	15,8548	1,46
100	17,6362	17,6165	1,97

Fonte: Própria

A Figura 66 demonstra os valores estimados do erro no decorrer da excursão da sonda.

Figura 66. Gráfico do erro por metro excursionado.



Fonte: Própria.

### 5.5 Ensaio do circuito de comunicação serial SPI entre o SD Card e o *Data Logger*

Para a realização do ensaio de comunicação com o SD Card e o *Data Logger*, inicialmente foi enviado os comandos de referência os quais retornam o nome da empresa fabricante, quantidade de memória, número de clusters entre outras informações.

Deste modo pode-se certificar que a comunicação entre os dois dispositivos ocorreu satisfatoriamente. Para a visualização da resposta dos dados foi utilizado o osciloscópio, assim pode-se diagnosticar o formato de onda enviado pelo MCU e a resposta do SD Card. A Figura 67 demonstra essa resposta posteriormente o envio da solicitação dos dados do cartão.

Figura 67. Forma de onda da comunicação do MCU com o SD Card.



Fonte: Própria.

Após a realização em um SD Card de 1GB, foi aplicado o mesmo procedimento em um SD Card de 2GB. Com as respostas destes dois testes foi possível montar uma tabela com as informações do fabricante de cada SD Card como apresentada na Figura 68.

Figura 68. Verificação manual do retorno ao comando CMD9.

<b>Retorno CMD9 Cartão Sandisk</b>							
Sequência	SD 2GB		SD 1GB		Registrador CSD		
	valor em Binário	Valor em Hexa	valor em Binário	Valor em Hexa	DADOS	SD 2GB	SD 1GB
Byte 1	00000000	00	00000000	00	BLOCK_LEN	1024	512
Byte 2	00100110	26	00100110	26	C_SIZE +1	3772	3875
Byte 3	00000000	00	00000000	00	MULT	512	512
Byte 4	00110010	32	00110010	32	BLOCKNR	1931264	1984000
Byte 5	01011111	5F	01011111	5F	Espaço total de memória	1977614336	1015808000
Byte 6	01011010	5A	01011001	59	TAAC		
Byte 7	10000011	83	10000011	83	Nº de Clusters	3862528	1984000
Byte 8	10101110	AE	11001000	C8	Nº de Clusters HEX	3AF000	1E4600
Byte 9	11111110	FE	10111110	BE			
Byte 10	11111011	FB	11111011	FB			
Byte 11	11001111	CF	11001111	CF			
Byte 12	11111111	FF	11111111	FF			
Byte 13	10010010	92	10010010	92			
Byte 14	10000000	80	01000000	40			
Byte 15	01000000	40	01000000	40			
Byte 16	11011111	DF	11010111	D7			
Byte 17	10011111	9F	00010100	14			
Byte 18	11000101	C5	10111101	BD			

Fonte: Própria.

Verificado os comandos e as respostas recebidas aceitas e validadas, realizou-se todo o processo de inicialização do SD Card para que este entre no modo de utilização com a formatação FAT16. Para interpretar e verificar o modo de formatação realizou-se um código para verificação de todos os setores disponíveis com o intuito de encontrar e detectar o formato padrão para o posicionamento dos dados referentes ao modo de formatação aplicada ao SD Card. A Figura 69 mostra como os dados salvos em cada cluster verificado foi visualizada via serial USART.

Figura 69. Terminal de visualização dos cluster.

```

Monitor "<no name>"
File Edit Serial Logfile ?
Courier New 10 B I U O
TTY Hex
00000000: EB 3C 90 4D 53 44 4F 53 35 2E 30 00 02 40 08 00  <.MSDOS5.0...@..
00000010: 02 00 02 00 00 F8 EC 00 3F 00 FF 00 07 20 00 00  .....?.....
00000020: F9 CF 3A 00 80 00 29 55 F8 8F 7C 4E 4F 20 4E 41  ...:..U..|NO NA
00000030: 4D 45 20 20 20 20 46 41 54 31 36 20 20 20 33 C9  ME  FAT16 3.
00000040: 8E D1 BC F0 7B 8E D9 B8 00 20 8E C0 FC BD 00 7C  ....{|.....|
00000050: 38 4E 24 7D 24 8B C1 99 E8 3C 01 72 1C 83 EB 3A  8NS)$....<r...:
00000060: 66 A1 1C 7C 26 66 3B 07 26 8A 57 FC 75 06 80 CA  f..|&f;.&W.u...
00000070: 02 88 56 02 80 C3 10 73 EB 33 C9 8A 46 10 98 F7  ..V...s.3.F...
00000080: 66 16 03 46 1C 13 56 1E 03 46 0E 13 D1 8B 76 11  f..F..V..F...v.
00000090: 60 89 46 FC 89 56 FE B8 20 00 F7 E6 8B SE 0B 03  ".F..V..|.....
000000A0: C3 48 F7 F3 01 46 FC 11 4E FE 61 BF 00 00 E8 E6  .H...F..N.a....
000000B0: 00 72 39 26 38 2D 74 17 60 B1 0B BE A1 7D F3 A6  .r9&8-t`.....|
000000C0: 61 74 32 4E 74 09 83 C7 20 3B FB 72 E6 EB DC A0  at2Nt...;r....
000000D0: FB 7D B4 7D 8B F0 AC 98 40 74 0C 48 74 13 B4 0E  .)|.....@t.Ht...
000000E0: BB 07 00 CD 10 EB EF A0 FD 7D EB E6 A0 FC 7D EB  .....}.....|
000000F0: E1 CD 16 CD 19 26 8B 55 1A 52 B0 01 BB 00 00 E8  ....&.U.R.....
00000100: 3B 00 72 E8 5B 8A 56 24 BE 0B 7C 8B FC C7 46 F0  ;.r.[.V$.|...F.
00000110: 3D 7D C7 46 F4 29 7D 8C D9 89 4E F2 89 4E F6 C6  =).F.)...N..N..
00000120: 06 96 7D CB EA 03 00 00 20 0F B6 C8 66 8B 46 F8  ..)|.....f.F.
00000130: 66 03 46 1C 66 8B D0 66 C1 EA 10 EB 5E 0F B6 C8  f.F.f.f.....^
00000140: 4A 4A 8A 46 0D 32 E4 F7 E2 03 46 FC 13 56 FE EB  JJ.F.2...F..V..
00000150: 4A 52 50 06 53 6A 01 6A 10 91 8B 46 18 96 92 33  JRP.Sj.j...F...3
00000160: D2 F7 F6 91 F7 F6 42 87 CA F7 76 1A 8A E2 8A 8E  ....B..v.....
00000170: C0 CC 02 0A CC B8 01 02 80 7E 02 0E 75 04 B4 42  .....~.u..B
00000180: 8B F4 8A 56 24 CD 13 61 61 72 0B 40 75 01 42 03  ...V$.aar.@u.B.
00000190: 5E 0B 49 75 06 F8 C3 41 BB 00 00 60 66 6A 00 EB  ^.Iu...A...`fj..
000001A0: B0 42 4F 4F 54 4D 47 52 20 20 20 0D 0A 52 65  .BOOTHGR ..Re
000001B0: 6D 6F 76 61 20 64 69 73 63 6F 73 20 6F 75 20 6D  mova discos ou m
000001C0: A1 64 69 61 2E FF 0D 0A 45 72 72 6F 2F 64 69 73  .dia....Erro/dis
000001D0: 63 6F FF 0D 0A 50 72 65 73 73 69 6F 6E 65 20 74  co...Pressione t
000001E0: 65 63 6C 61 20 70 2F 72 65 69 6E 69 63 69 61 72  ecla p/reiniciar
000001F0: 0D 0A 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 AC C6 D3 55 AA  .....U.
00000200:
Control lines: RTS: [green] DTR: [green] BREAK: [green] Status lines: CTS: [red] DSR: [red] RING: [green] DCD: [red] Output queue: 0
Errors: 0 Log: <none> 0 Total: 512 Moni-2.2

```

Fonte: Própria.

Como é possível verificar na Figura 69, o código esperava o retorno da seguinte sequência de caracteres, MSDOS5.0. Portanto, o código caso não encontre a sequência de caracteres, ele solicita que o SD Card retorne os dados salvos do próximo setor até o momento em que a sequência de caracteres seja completamente aceita. Nesse momento, o valor do setor é mostrado no display juntamente com a sequência de caracteres encontrado.

Desta forma determinou-se um método para a validação do modo de formatação aplicado ao SD Card inserido ao *Data Logger* desenvolvido.

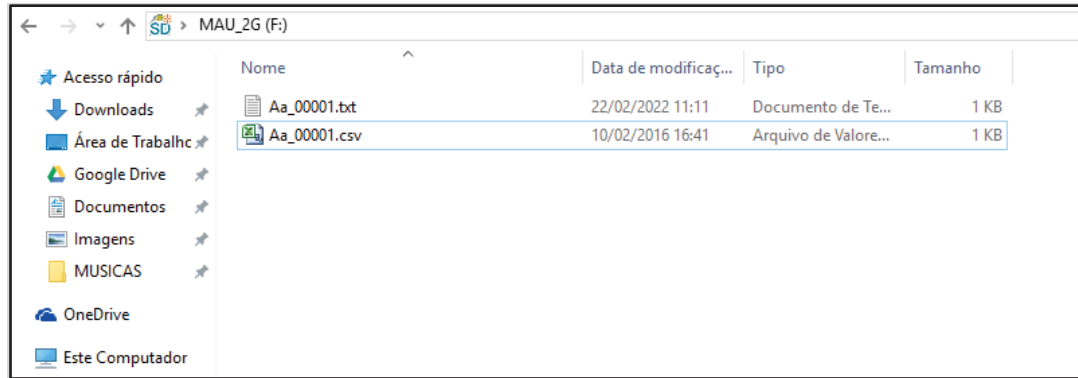
## 5.6 Verificação do arquivamento dos ângulos recebidos da sonda em arquivo CSV

Uma vez verificado o funcionamento da comunicação entre o *Data Logger* e o SD Card, iniciou-se o teste da rotina de arquivamento dos dados recebidos da sonda, contendo os ângulos e a data e hora em que ocorreram estas leituras.

Os resultados dos testes com as rotinas definitivas foram satisfatórios, pois o proposto conta com a criação de dois arquivos, um no formato “\*.CSV” e o outro “\*.TXT” e estes

foram verificados no SD Card após o sistema finalizar a rotina proposta. Assim, a Figura 70 mostra a imagem referente ao diretório raiz do SD Card utilizado no *Data Logger* contendo os dois arquivos conforme o esperado.

Figura 70. Imagem do SD Card inserido no PC.

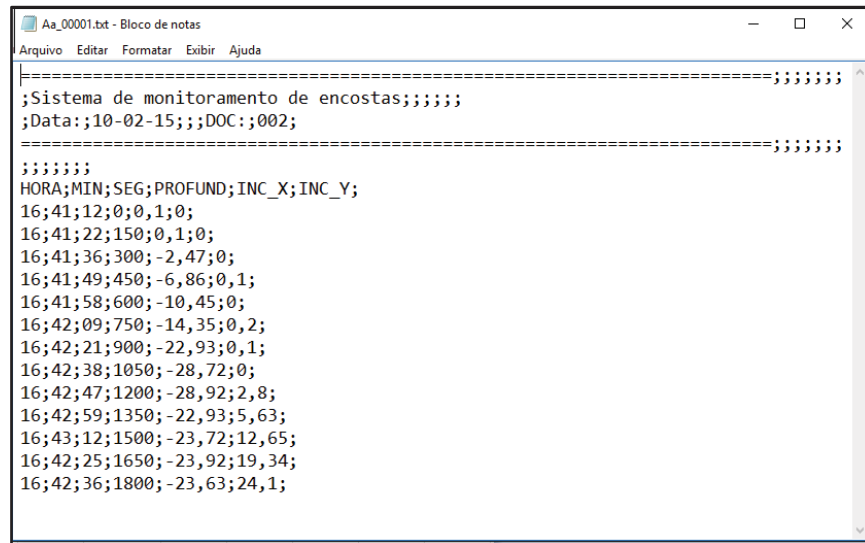


Fonte: Própria

A data e hora de criação e modificação dos arquivos também foram avaliadas, bem como todos os dados, inclusive o tamanho do arquivo e, funcionaram conforme previsto. Verifica-se na Figura 70 que a data de modificação do arquivo formatado com a extensão \*.TXT, foi definida para 22/02/2022 às 11:11, determinado apenas em caráter de teste. Já para o arquivo com a extensão \*.CSV foi utilizado a data correta cadastrada no *Data Logger*, 10/02/2016, data em que a imagem foi salva.

A Figura 71 representa o arquivo com a extensão \*.TXT contendo os dados recebidos pela sonda em uma simulação de variação de inclinação, assim, pode-se verificar o cabeçalho contendo as informações pertinentes ao momento da realização do ensaio. Nesse modo da extensão, verifica-se ainda um padrão específico correspondente a um arquivo com extensão \*.CSV mas aberto como um arquivo \*.TXT por um editor de textos comum.

Figura 71. Arquivo gerado pelo *Data Logger* com os dados recebidos pela sonda salvos em \*.TXT.



```

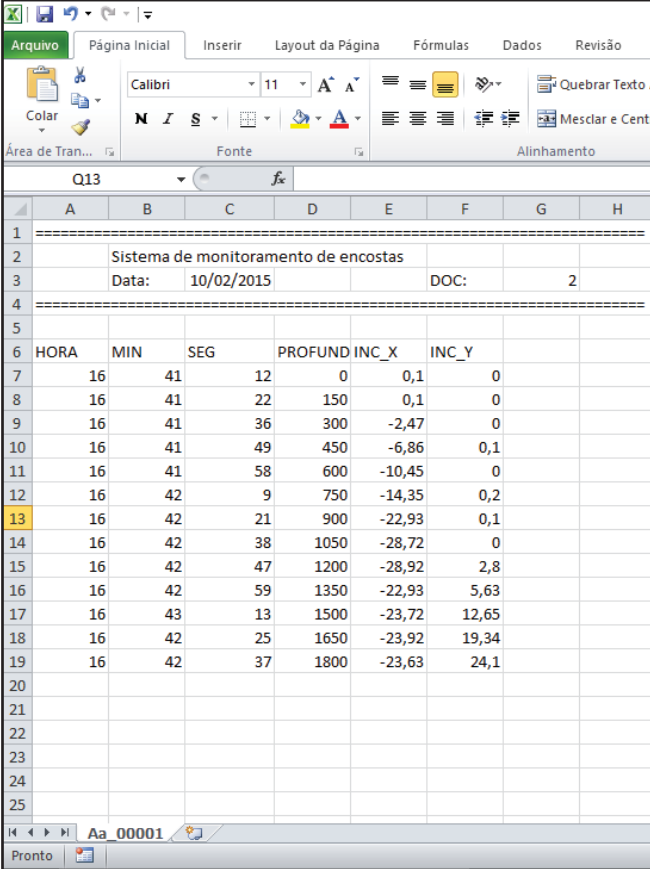
=====;
;Sistema de monitoramento de encostas;;;;;
;Data:;10-02-15;;;DOC:;002;
=====;
;;;;;
HORA;MIN;SEG;PROFUND;INC_X;INC_Y;
16;41;12;0;0,1;0;
16;41;22;150;0,1;0;
16;41;36;300;-2,47;0;
16;41;49;450;-6,86;0,1;
16;41;58;600;-10,45;0;
16;42;09;750;-14,35;0,2;
16;42;21;900;-22,93;0,1;
16;42;38;1050;-28,72;0;
16;42;47;1200;-28,92;2,8;
16;42;59;1350;-22,93;5,63;
16;43;12;1500;-23,72;12,65;
16;42;25;1650;-23,92;19,34;
16;42;36;1800;-23,63;24,1;

```

Fonte: Própria.

Entretanto, o formato \*.CSV nada mais é que o arquivo visto anteriormente na Figura 71, entretanto, com apenas a alteração na extensão do arquivo, a partir desse momento o arquivo \*.CSV pode ser aberto com o auxílio do Excel® o qual representará a tabulação e formatação dos valores de forma organizada como mostrado na Figura 72.

Figura 72. Arquivo gerado pelo *Data Logger* com os dados recebidos pela sonda salvos em \*.CSV abertos via Excel®.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Sistema de monitoramento de encostas							
3	Data:	10/02/2015				DOC:	2	
4								
5								
6	HORA	MIN	SEG	PROFUND	INC_X	INC_Y		
7	16	41	12	0	0,1	0		
8	16	41	22	150	0,1	0		
9	16	41	36	300	-2,47	0		
10	16	41	49	450	-6,86	0,1		
11	16	41	58	600	-10,45	0		
12	16	42	9	750	-14,35	0,2		
13	16	42	21	900	-22,93	0,1		
14	16	42	38	1050	-28,72	0		
15	16	42	47	1200	-28,92	2,8		
16	16	42	59	1350	-22,93	5,63		
17	16	43	13	1500	-23,72	12,65		
18	16	42	25	1650	-23,92	19,34		
19	16	42	37	1800	-23,63	24,1		
20								
21								
22								
23								
24								
25								

Fonte: Própria.

Fica assim validado o sistema do *Data Logger* proposto sendo possível a verificação e tratamento dos dados a qualquer momento. Entretanto, cabe ressaltar que o SD Card só é aceito nesse sistema se a formatação estiver com o padrão FAT16, sendo assim excluída a possibilidade de utilização de cartões formatados com o padrão de FAT32.

## 6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE CONTINUIDADE

Esse trabalho tratou do desenvolvimento de um sistema complementar para a sonda desenvolvida por Penz (2013), capturando os valores enviados da sonda e realizando uma estruturação e posterior arquivamento em uma mídia removível no formato de SD Card. Estes dados posteriormente são comparados com as medições anteriormente realizadas e assim, a diferença entre estas leituras são os valores a serem avaliados.

Foram realizados estudos sobre componentes eletrônicos para diminuição de consumo de energia elétrica, bem como diferenças entre os tipos de formatação de mídias removíveis e sistemas de comunicação serial tanto para a comunicação com a sonda quanto com os dispositivos eletrônicos inseridos na PCB compondo o *Data Logger* proposto.

O trabalho atingiu os objetivos propostos, como a possibilidade de avaliação das informações enviadas serialmente, arquivamento dos dados estruturados em uma mídia removível sem a necessidade da utilização de um PC. Foram adicionadas entradas digitais e analógicas para aquisição de informações extras como sensor de umidade do solo, pluviômetros digitais, sensores de umidade relativa, entre outros que disponham de sinais de saída tanto lógicos quanto analógicos.

### 6.1 Conclusão

Nas experimentações realizadas com relação à comunicação serial entre o *Data Logger* e a sonda desenvolvida por Penz (2013), os resultados obtidos na formatação do arquivo contendo os dados e a robustez do código escrito para o gerenciamento dessas informações torna este protótipo um equipamento com potencial em se tornar comercial. Tendo em vista que não existe até o momento sistemas similares comercialmente vendidos no Brasil, esse protótipo apresenta-se como uma alternativa de custo relativamente inferior e com desempenho equivalente aos mesmos dispositivos produzidos internacionalmente.

A escolha de desenvolver duas placas por conta do tipo de encapsulamento do microcontrolador PIC18F87K22 foi de grande valia, pois como esperado facilitou muito a sua inserção. O microcontrolador escolhido facilitou o desenvolvimento do sistema, pois muitos hardwares necessários já estavam incluídos, assim a quantidade de componentes necessários foi diminuída em relação às primeiras avaliações.



Para o hardware adotado, tanto para as entradas digitais, entradas analógicas quanto das saídas foram colocadas em prova resultando em um sistema muito confiável e de fácil ajuste diante de necessidades ao adicionar novos sensores ao sistema.

A comunicação com a sonda utilizou um dos dois canais USART disponível, e pode-se perceber que as variações nas leituras realizadas pela sonda, posteriormente enviado serialmente, estão sofrendo atenuações via filtro digital em tempo real, o que favoreceu a avaliação dos dados recebidos, pois os ângulos recebidos necessitaram apenas de um ajuste com relação ao posicionamento do inclinômetro da sonda.

Com a conclusão dos ensaios com relação à calibração verificou-se que o sistema é preciso, ou seja, depois de 10 repetições a variação entre as medições dos ângulos mantiveram-se entre uma margem de erro máxima de  $0,009^\circ$  para mais ou para menos com um intervalo de confiança de 95%. Assumindo esse erro e a sonda inserida em uma profundidade de 100m, pode-se estimar que o escorregamento superficial terá um erro de aproximadamente 1,97cm no eixo horizontal. Ocorreu ainda uma variação de *offset*, gerada pela fixação do inclinômetro na sonda, assim, o método escolhido para a correção deste foi via *software*, por se tratar de um método mais simples de ajuste.

## 6.2 Sugestões de continuidade

De acordo com o propósito desse projeto, a adição de um sistema de *Data Logger* favorece a aquisição e arquivamento dos dados oriundos da sonda. Entretanto, no decorrer do projeto, algumas melhorias no sistema da sonda foram verificadas, assim este projeto já contempla um *hardware* básico para a movimentação automática da sonda através da utilização de uma configuração bastante comum para o acionamento do motor, denominada ponte H.

Além da ponte H, foi adicionado um canal de comunicação serial para a utilização de módulo GPRS para envio remoto das informações coletadas. Existe ainda a possibilidade de utilizar um módulo de comunicação sem fio *ZigBee* para a realização de uma rede entre outros módulos da mesma família, afim de compor uma rede capaz de avaliar uma área geográfica superior.

Com relação ao dimensional, as PCB utilizadas foram desenvolvidas em caráter de protótipo, assim, esta necessita de intervenções principalmente alterando o modelo de encapsulamento dos componentes utilizados, a fim de diminuir a área tornando o equipamento bem-acabado e compacto.

Outra alteração que aparece, para que este sistema automático possa ser implementado, é a necessidade do desenvolvimento de uma placa eletrônica inserida na sonda e capaz de realizar três alterações do sistema atual:

- Alteração do padrão de comunicação SPI para USART a fim de minimizar os problemas gerados pela distância dos cabos que realizam a comunicação serial entre a sonda e o *Data Logger*
- Inserção de um detector de nível d'água a fim de adicionar mais uma informação relevante quando da excursão da sonda
- Alterar o modo de leitura do inclinômetro, pois a utilização do sinal analógico ao invés do sinal digital refere-se ao fato do conversor analógico para digital interno ser de apenas 11 bits ( $2^{11}$ ), o que corresponderia em uma amostragem de 2048 partes, ou seja, o menor valor do sinal (0V) corresponderia a 0 em decimal, já o maior valor do sinal (5V) corresponderia 2047. Assim, sugere-se a utilização das saídas analógicas do inclinômetro, mas com a utilização de um conversor externo de 16 bits ( $2^{16}$ ), o que corresponderá uma amostragem de 65536 partes, ou seja, uma resolução 32 vezes maior.

Assim, a sonda sugerida seria composta por um microcontrolador que receberá as informações oriundas do sensor de coluna d'água e do A/D, o qual converterá o sinal analógico, proporcional à inclinação, gerado pelo inclinômetro, aplicando os filtros atualmente utilizados. O modo físico de comunicação via cabo entre a sonda e o *Data Logger* também deverá ser alterado, reduzindo de 6 vias para apenas 4.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOUN et al. Advanced Sensing For Real-Time Monitoring of Geotechnical Systems. *Geotechnical Special Publication*. Austin: n.138, p.24-26, jan. 2005.

AFONSO, Sonia. **Estabilidade de Taludes**. Disponível em <http://soniaa.arq.prof.ufsc.br/maq1206/2003/Temba/EstabilidadedeTaludes.pdf>. Acesso em 3 nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro, 1991.

Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012** / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2013.

Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013** / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2014.

CARDOSO, Rafaela, et al. Estudo do comportamento de um aterro da autoestrada A10 construído com margas. *Revista Luso-Brasileira de Geotecnia*. Lisboa e São Paulo, n.123, p.3-27, nov. 2011.

CASTRO, Suelen de. **Sensores de Umidade: caracterização e desenvolvimento de dispositivo eletrônico**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Materiais para Engenharia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2011. Disponível em <http://juno.unifei.edu.br/bim/0038212.pdf>. Acesso em 3 nov. 2013.

COMUNICAÇÃO SERIAL SPI ENTRE MICROCONTROLADOR E SD CARD. Disponível em: <http://bikealive.nl/sd-v2-initialization.html>. Acesso em 20 dez. 2015.

ĆMIELEWSKI et al. Use Of Low-Cost Mems Technology In Early Warning System Against Landslide Threats. *Acta Geodyn. Geomater.* Wroclaw: v.10, p.485-490, 2013.

CRAIG, R. F. **CRAIG**: mecânica dos solos. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

DING, Xiaoli, et al. Automatic monitoring of slope deformations using geotechnical instruments. *Journal of Surveying Engineering.* s.l., v.126, p.57–68, 2000.

DUNNICLIFF, John; GREEN, Gordon E. **GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION FOR MONITORING FIELD PERFORMANCE.**

EISENBERGER, Cicero Nei. *Estudo do Comportamento de um Talude Coluvionar Urbano em Santa Cruz Do Sul -RS.* 2003. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

EXEMPLIFICAÇÃO DE THE MASTER BOOT RECORD. IBEX Electronic Product Design Specialists. **Secure Digital SD Card Source Code Drive Project.** Disponível em: <http://www.embedded-code.com/manuals/secure-digital-card-driver/layout-of-a-mmc-or-sd-card-with-fat/the-master-boot-record>. Acesso em 9 jul. 2015.

FILHO, Augusto O. e VIRGILLI J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Eds). *Geologia de Engenharia.* São Paulo: ABGE, 1998.

FRANÇA. José Alexandre de. **Sistema de Aquisição de Dados Baseados em Microcontrolador.** 1997. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1997. Disponível em <http://www.uel.br/pessoal/josealexandre/stuff/mestrado/mestrado.pdf>. Acesso em 3 nov. 2013.

FRIAS, Renato Nogueira. **Tutoriais Telefonia Celular.** Teleco Inteligência em Telecomunicações. Disponível em [http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina_2.asp). Acesso em 10 nov. 2013.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2 ed. São Paulo: Editora Usp/Edgar Blucher, 1984.

HIGUCHI et al. Application of New Landslide Monitoring Technique Using. *Works Research Institute*. Japão: p. 1074-1083, 2005.

OPTICAL FIBER SENSOR AT TAKISAKA LANDSLIDE, JAPAN

IBRAHIM, Dogan. **SD card projects using the PIC microcontroller**. Oxford: Newnes, 2010.

LAMBE, T. William; WHITMAN, Robert V. **Mecânica de Suelos**. México: Editorial Limusa S.A., 1974.

LIN, C. P; TANG H. Development and Calibration of aTDR Extensometer for Geotechnical Monitoring. *Geotechnical Testing Journal*. s1 v.8, n.5, p.1-8. s.d.

LOUREIRO, Antonio A.F., et al. **Redes de Sensores Sem Fio**. Disponível em <http://homepages.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/sbrc03.pdf>. Acesso em 3 nov. 2013.

MANUAL DATASHEET MAX232X DUAL EIA-232. Disponível em <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>. Acesso em 19 nov. 2015.

MANUAL DATASHEET PIC18F87K22. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39960d.pdf>. Acesso em 7 nov. 2013.

MANUAL DATASHEET SCA100T. Disponível em [http://www.murata.co.jp/products/sensor/pdf/sca100t\\_inclinometer.pdf](http://www.murata.co.jp/products/sensor/pdf/sca100t_inclinometer.pdf). Acesso em 7 nov. 2013.

MANUAL DATASHEET SIM900. Disponível em [http://www.simcom.us/act\\_admin/supportfile/SIM900\\_ATC\\_V1.00.pdf](http://www.simcom.us/act_admin/supportfile/SIM900_ATC_V1.00.pdf). Acesso em 16 nov. 2013.

MANUAL DATASHEET SPI. Disponível em <http://www.ti.com/lit/ug/sprugp2a/sprugp2a.pdf>. Acesso em 7 nov. 2013.

MATSUDA, H.; SHIMITZU, N. Assessment of rock slope stability based on the three-dimensional continuous displacement monitoring by Global Positioning System. **International Journal of the JCRM**. 2006.

MEHL, Ewaldo L. M. **Do Transistor ao Microprocessador**. 2006. Disponível em [http://stoa.usp.br/kblane/files/827/4714/historia\\_transistor.pdf](http://stoa.usp.br/kblane/files/827/4714/historia_transistor.pdf). Acesso em 3 nov. 2013.

MELO, Paulo Roberto de Sousa; RIOS, Evaristo Carlos Silva Duarte; GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais. COMPONENTES ELETRÔNICOS: perspectivas para o Brasil. **Complexo Eletrônico**. Rio de Janeiro, n.13, p.3-64. 2001. Disponível em [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1301.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1301.pdf). Acesso em 7 nov. 2013.

MIGÓN, P.: 2009, **Geomorphology** (Geomorfologia), PolishScientific Publishers PWN.

MISHRA, P. K., et al. Detection of Landslide Using Wireles Sensor Networks. *IEEE Explore*. Gurgaon, p.149-154, 21-22 fev. 2014.

MONTGOMERY, C.W. Environmental geology. 3ª ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1992.

NESCIERUK, P., RĄCZKOWSKI, W. Documentation of geological work performed for monitoring landslides in Hańczowa. *The Polish Geological Institute*. Kraków, 2007.

NOFERINI, Linhsia, et al. Using GB-SAR technique to monitor slow moving landslide. *Science Direct*, p.88-98, 29 set. 2007.

OLIVEIRA, Victor Hugo Freitas de. **Desenvolvimento De Um Sistema De Telemetria Remota**. 2009. 48f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Computação e Automação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009. Disponível em <http://www.engcomp.ufrn.br/publicacoes/TCC-2009-1-1.pdf>. Acesso em 6 nov.2013.

PADRÃO DE FORMATAÇÃO FAT. Disponível em: <http://nerdclub-uk.blogspot.com.br/2012/11/understanding-fat-tables.html>. Acesso em 9 jul. 2015.

PADRONIZAÇÃO DE CONFIGURAÇÃO SD CARD. Disponível em: <https://www.sdcard.org/downloads/pls/>. Acesso em 9 jul. 2015.

PENZ, Rodrigo Siqueira. **Desenvolvimento de um Inclinômetro com Tecnologia MEMS aplicado ao Monitoramento de Obras Geotécnicas**. 2014. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2014.

PEI, Hua-Fu, et al. A review of previous studies on the applications of optical fiber sensors in geotechnical health monitoring. *ScienceDirect Measurement* s.l., v.58, p.207–214, 2014.

SOLER, Luciana S., et al. Challenges and perspectives of innovative digital ecosystems designed to monitor and warn natural disasters in Brazil. New York, p.254-261, 2013.

PERRETTO, Eliane Cardoso Defendi; COSTA, Tatiane. **Inclinômetro Digital de Talude**. 2011.51f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia da Computação). Universidade Positivo. Curitiba, 2011. Disponível em <http://www.leandrohsouza.com.br/engcomp/attachments/article/113/Inclinometro%20Digital%20de%20Talude.pdf>. Acesso em 10 nov. 2013.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

RAHARDJO, Harianto, et al. Comprehensive Instrumentation for Real Time Monitoring of Flux Boundary Conditions in Slope. *Science Direct*. P. 23-43, 2014.

RIBAS, Renato P. **Microssistemas Integrados (MEMS)**. Disponível em <http://www.ccs.unicamp.br/cursos/fee107/download/cap14.pdf>. Acesso em 3 nov. 2013.

**SHT15 DIGITAL HUMIDITY SENSOR (RH&T)**. Sensirion The Sensor Company. Disponível em <http://www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature/humidity-sensor-sht15/>. Acesso em 10 nov. 2013.

VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.

VASQUES, Bruna Luisa Ramos Prado, et al. **ZIGBEE**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em [http://www.gta.ufrj.br/grad/10\\_1/zigbee/introducao.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/zigbee/introducao.html). Acesso em 10 nov. 2013.

WILSON, S. D. e MIKKELSEN, P. E. **Landslides, Analysis and Control**. Washington DC: National Academy of Sciences, 1978.