

**UNIVERSIDADE ALTO VALE DO RIO DO PEIXE – UNIARP**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**GIOVANI MACARI**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE UMA PLACA ARDUINO® PARA ANÁLISE  
DE SINAIS EM UM SISTEMA INDUSTRIAL**

**CAÇADOR**

**2012**

**GIOVANI MACARI**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE UMA PLACA ARDUINO® PARA ANÁLISE  
DE SINAIS EM UM SISTEMA INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia e Controle de Automação, ministrado pela Universidade Alto Vale do Rio do Peixe – UNIARP, sob orientação do professor Herculano de Biasi

**CAÇADOR**

**2012**

# ESTUDO DA APLICAÇÃO DE UMA PLACA ARDUINO® PARA ANÁLISE DE SINAIS EM UM SISTEMA INDUSTRIAL

**GIOVANI MACARI**

Este trabalho de Conclusão de Curso foi submetido ao processo de avaliação pela Banca Examinadora para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação – Mecatrônica.

Aprovado na sua versão final em 11 de dezembro de 2012, com a nota \_\_\_\_, atendendo as normas da legislação vigente da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe e Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação – Mecatrônica.



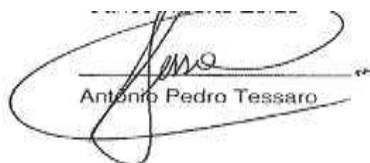
Everaldo Cesar de Castro

Coordenador do Curso de Engenharia de Controle e Automação

BANCA EXAMINADORA



Herculano De Biasi



Antonio Pedro Tessaro



Alisson Luiz Agusti

## DECLARAÇÃO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Declaro, para todos os fins de direito, que assumo total responsabilidade pelo aporte ideológico, não violando nenhum direito de propriedade intelectual, sob pena de responder civil, criminal, ética e profissionalmente por meus atos. Neste momento, ficam isentos de responsabilidade a Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, a Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação, a Banca Examinadora, o Professor Orientador e o Professor de TCC, de toda e qualquer responsabilidade acerca do mesmo.

Caçador (SC), 11 de dezembro de 2012.

  
Giovanni Macari

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a minha esposa e meu filho pela compreensão da ausência nos momentos reservados aos estudos, meus pais que não mediram esforços para dar condições de prosseguir nos momentos difíceis, e a todos que apoiaram e criticaram, dando-me mais forças para acreditar na minha capacidade.

## **Agradecimento**

Agradeço primeiramente ao mestre divino, que me deu forças espirituais nesta jornada, a toda minha família pelo auxílio, incentivo e amor dedicado, para chegar ao fim desta caminhada com coragem e uma enorme bagagem de conhecimento que levarei como exemplo para a vida toda.

Aos amigos da universidade, também aos colegas do local de trabalho pelo apoio, ao Sr. Hugo Echer que sempre me incentivou a crescer tecnicamente e profissionalmente, contribuindo para agregar cada vez mais valor a este trabalho acadêmico.

O apoio dos docentes, que não mediram esforços para ministrarem seus conhecimentos, em especial ao professor Herculano de Biasi, pela dedicação e disponibilidade em orientar-me nesta jornada, a todos os funcionários da instituição, que de uma forma ou outra disponibilizaram seu tempo e trabalho, para que universidade e o meio acadêmico caminhem rumo ao sucesso.

## **Resumo**

Este trabalho baseia-se no estudo da viabilidade e compatibilidade da integração da placa de circuito impresso Arduino®, para coleta de dados como sinais digitais e analógicos em um controle industrial, através de suas entradas lógicas, onde se realizarão testes em equipamentos similares a um sistema de controle industrial por Dancer, que serão processados em uma bancada eletrônica, pela placa Arduino®, monitorados e analisados através de forma gráfica em softwares supervisores pela comunicação serial do Arduino® com auxílio de um computador.

**Palavras chave:** Controle industrial, Arduino®, Comunicação Serial.

## **Abstract**

This work is based on the study of the feasibility and compatibility of integrating printed circuit board Arduino®, for data collection as digital and analog signals in industrial control, through its logic inputs, where tests will be conducted on similar equipment to a industrial control system by Dancer, which will be processed on a workbench electronics, the Arduino® board, monitored and analyzed graphically by the supervisors in software serial communication Arduino® with the aid of a computer.

**Keywords:** Industrial control, Arduino ®, Serial Communication



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 01 – Esquema de controle por <i>Dancer</i> .....                 | 18 |
| Figura 02 – Circuito de potencia inversor.....                          | 20 |
| Figura 03 – Características técnicas potenciômetro linear.....          | 21 |
| Figura 04 – Encoder incremental.....                                    | 22 |
| Figura 05 – Sensor indutivo.....  | 23 |
| Figura 06 – Chave fim de curso.....                                     | 24 |
| Figura 07 – Placa Arduino® UNO.....                                     | 25 |
| Figura 08– Gráfico de sinal analógico.....                              | 28 |
| Figura 09 – Gráfico de sinal digital.....                               | 29 |
| Figura 10 – Acoplador de sinal analógico.....                           | 31 |
| Figura 11 – Acoplador de sinal digital.....                             | 31 |
| Figura 12 – Acoplador de sinal digital.....                             | 33 |
| Figura13 – Equipamento industrial para controle por <i>Dancer</i> ..... | 37 |
| Figura14 – Diagrama do controle por <i>Dancer</i> com bobinador.....    | 38 |
| Figura 15 – Opto acoplador 4N25.....                                    | 39 |
| Figura 16 – Circuito divisor de tensão.....                             | 41 |
| Figura 17 – Circuito transdutor de sinal com divisor de tensão.....     | 42 |
| Figura 18 – Exemplo de programa no Arduino®.....                        | 46 |
| Figura 19 – Exemplo de programa no <i>Processing</i> .....              | 48 |
| Figura 20 – Gráfico de simulação no <i>Processing</i> .....             | 49 |
| Figura 21 – Montagem física do sistema em bancada.....                  | 50 |
| Figura 22 – Teste de sobre tensão no sinal de encoder em bancada.....   | 51 |
| Figura 23 – Teste de sub tensão no sinal encoder em bancada.....        | 52 |
| Figura 24 – Teste de sobre tensão sinal analógico em bancada.....       | 53 |
| Figura 25 – Teste de sub tensão sinal analógico em bancada.....         | 54 |
| Figura 26 – Teste de sobre tensão sinal digital em bancada.....         | 55 |
| Figura 27 – Teste de sub tensão sinal digital em bancada.....           | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 01 – Características técnicas Arduino® UNO..... | 25 |
| Tabela 02 – Acoplador a relé.....                      | 31 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D – Analógico/Digital  
CLP – Controlador Lógico Programável  
D/A – Digital/Analógico  
GBT – Transistor Bipolar de Porta Isolada  
I/O – *Input/Output* ou Entrada/Saída  
KB – Kilo Bytes  
NPN – Negativo Positivo Negativo  
PC – *Programa Controle*  
PNP – Positivo Negativo Positivo  
PWM – Modulação por Largura de Pulso  
USB – *Universal Serial Bus*

## SÚMARIO

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | Erro! Indicador não definido.        |
| 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA .....   | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 1.2 PROBLEMA.....  | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 1.3 JUSTIFICATIVA.....   | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 1.4 OBJETIVOS.....   | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 1.4.1 Objetivo geral.....  | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....  | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| 1.6 MÉTODO .....   | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....   | Erro! Indicador não definido.        |
| 2.1 FUNCIONAMENTO DO CONTROLE COM SISTEMA DE <i>DANCER</i> .....                                       | 17                                   |
| 2.1.1 Equipamentos Aplicados no Sistema de Controle por <i>Dancer</i> .....                            | 18                                   |
| 2.1.2 Arduino® .....   | 24                                   |
| 2.1.2.1 Modelo da placa Arduino®.....  | 25                                   |
| 2.1.2.2 Dados técnicos da placa Arduino® UNO.....  | 25                                   |
| 2.1.3 Tipos de Sinais Analógicos.....  | 27                                   |
| 2.1.4 Tipos de Sinais Digitais.....  | 28                                   |
| 2.1.5 Acopladores de Sinais.....   | 29                                   |
| 2.1.5.1 Acopladores de Sinais Analógicos.....  | 30                                   |
| 2.1.5.2 Acopladores de Sinais Digitais.....  | 31                                   |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....   | <b>33</b>                            |
| 3.1 Levantamentos de Dados do Processo de Um Controle por <i>Dancer</i> , em Sistemas Industriais..... | 33                                   |
| 3.2 Especificação de Equipamentos para Análise de Sinais.....  | 34                                   |
| 3.3 Escolha do Modelo da Placa Arduino®.....   | 34                                   |
| 3.4 Apresentação de um Modelo de Programação para Interface Gráfica.....                               | 34                                   |
| 3.5 Realização dos Testes em Bancada Eletrônica.....   | 35                                   |
| 3.6 Apresentação de resultados.....  | 35                                   |
| <b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....  | <b>36</b>                            |
| 4.1 Levantamentos de Dados do Processo de Um Controle por <i>Dancer</i> , em Sistemas Industriais..... | 36                                   |
| 4.2 Especificação de Equipamentos para Análise de Sinais.....  | 38                                   |
| 4.3 Escolha do Modelo da Placa Arduino®.....   | 43                                   |
| 4.4 Apresentação de um Modelo de Programação para Interface Gráfica.....                               | 44                                   |
| 4.5 Realização dos Testes em Bancada Eletrônica.....   | 49                                   |

4.6 Apresentação de resultados.....50

**CONCLUSÃO.....56**

**REFERÊNCIAS.....58**

## 1. INTRODUÇÃO

O uso das tecnologias de automação e controle, em sinais industriais, tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, em especial na área de automação com sistemas de alta complexidade, que desempenham papéis de confiança e precisão.

A expressão de confiabilidade e qualidade nos processos automáticos como sistemas elétricos eletrônicos, supervisionados ou comandados por um sistema específico de programação em software, utiliza linguagem específica de cada fabricante, a qual muitas vezes deixa o sistema atrelado ao fornecedor dificultando melhorias e ajustes a realidade do processo em questão.

Somente aplicar sistemas de controles não garante competitividade às indústrias, é também necessário que os sistemas sejam ágeis, rápidos, sem falhas nas tomadas de decisões e principalmente tenham flexibilidade de se integrarem a outros sistemas.

A grande competição industrial em larga escala requisita cada vez mais, profissionais que atendam necessidades de produção rápida com eficiência e retorno financeiro. Mas, algumas vantagens passam a se tornar problemas após algum tempo de trabalho, à medida que os anos passam todo e qualquer sistema tem sua vida útil diminuída agregando desgastes mecânicos, saturação de componentes eletrônicos e interferências eletromagnéticas de novos equipamentos que surgem no contexto da automação industrial.

Uma função muito importante da automação industrial não está somente em produzir, mas também em manter o parque industrial em sua capacidade máxima de disponibilidade, máquinas e equipamentos em pleno funcionamento, mediante de manutenções eficientes e eficazes, corretivas quando necessárias rápidas e ágeis.

O estudo das matérias de sinais e sistemas, integrado com robótica e outras matérias vinculadas acarretaram no interesse do desenvolvimento de um meio de integrar a aplicação de uma placa Arduino® para análise de sinais em um sistema industrial, na qual o usuário consegue registrar e monitorar as variáveis que atuam no sistema, podendo assim identificar e reparar defeitos mais facilmente, ágil e

precisamente, falhas ou distúrbios que venham a desequilibrá-lo e impossibilitar o bom funcionamento do controle.

O desenvolvimento da pesquisa tem como fundamento o estudo da construção e da arquitetura da placa de controle Arduino®, das condições físicas de *hardware* para conexões de sinais digitais e analógicos, as limitações do micro controlador, capacidade de processamento e integração de interfaces com outros *softwares*.

Com um sistema independente de análise de uma cadeia de sinais e defeitos, o usuário em um sistema industrial, pode identificar mais rapidamente e precisamente, defeitos, deixando de ficar atrelado ao fabricante do equipamento ou *softwares* que necessitam de licenças pagas, já que isso caracteriza um custo mais alto de manutenção e assistência técnica

## 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Estudo específico e dedicado a uma placa do tipo Arduino® para captura, processamento e registros de sinais, em sistemas industriais.

## 1.2 PROBLEMA

Como aplicar uma placa do tipo Arduino® para captura, processamento e registros de sinais, analógicos de digitais, por meio de simulações em bancada em sistemas industriais?

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Com o avanço da tecnologia de controle e automação em máquinas, o aperfeiçoamento e a utilização de equipamentos industriais cada vez mais rápidos,

dinâmicos e precisos, a integração de sinais digitais e analógicos para controle é indispensável para o bom funcionamento e a confiabilidade nos processos industriais.

A garantia do bom funcionamento de um sistema de controle é fundamental para o bom desempenho de produtividade em um sistema. Quanto menos tempo um equipamento industrial ficar indisponível por motivos de falhas ou defeitos, maior será o tempo dedicado do equipamento ao processo produtivo. Destacam-se principalmente as condições de manutenções do tipo corretivas, as quais a equipe de manutenção muitas vezes necessita localizar a causa do defeito, para posteriormente atuar na correção, o que demanda disponibilidade de tempo extra da equipe, em alguns casos testes inválidos de tentativa e erro e troca de peças e equipamentos desnecessários, que aumentam ainda mais o tempo necessário para de fato corrigir o problema.

Com base na análise de sinais, surge a necessidade de estudar um sistema de monitoramento, simples e prático que possa ser utilizado em várias aplicações de controle que geram falhas imprevisíveis, da qual a origem da causa do defeito possa ser encontrada com mais facilidade e no menor tempo possível.

Devido ao surgimento de falhas ou perda de sinais digitais e analógicos na aplicação do controle em um sistema industrial, poderá ocorrer o mau funcionamento do equipamento, fato que acarretará diminuição da disponibilidade do equipamento, requerendo pessoal e mão de obra especializada para reparos, além do risco de efetuar possíveis execuções de manutenções corretivas inadequadas.

#### 1.4 OBJETIVOS

Aplicar uma placa do tipo Arduino® para captura, processamento e registros de sinais, analógicos de digitais, por meio de simulações em bancada em sistemas industriais.



#### 1.4.1 Objetivo Geral

Verificar se é possível utilizar uma placa micro processada Arduino®, para análise e captura de sinais digitais e analógicos de processos, em sistemas industriais.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar revisão bibliográfica sobre placa Arduino® e equipamentos de controle industrial;
- b) Estudar a aplicação de sensores e atuadores de um controle por *Dancer*, em sistemas industriais, e os tipos de sinais que são gerados;
- c) Verificar as características técnicas e compatibilidade de sinais entre a placa Arduino® e os sinais de controle indústrias;
- d) Verificar as possibilidades de integrar o Arduino® com um computador.

#### 1.5 MÉTODO

- a) Levantamento de dados do processo atual de um controle por *Dancer*, em sistemas industriais;
- b) Fazer estudo do processo a ser aplicada a placa Arduino®:
  - 1. Especificação de análise de sinais;
  - 2. Escolha do modelo da placa Arduino®;
  - 3. Apresentação de um modelo de programação para interface gráfica;
  - 4. Realizar testes em bancada eletrônica;
  - 5. Apresentação de resultados.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

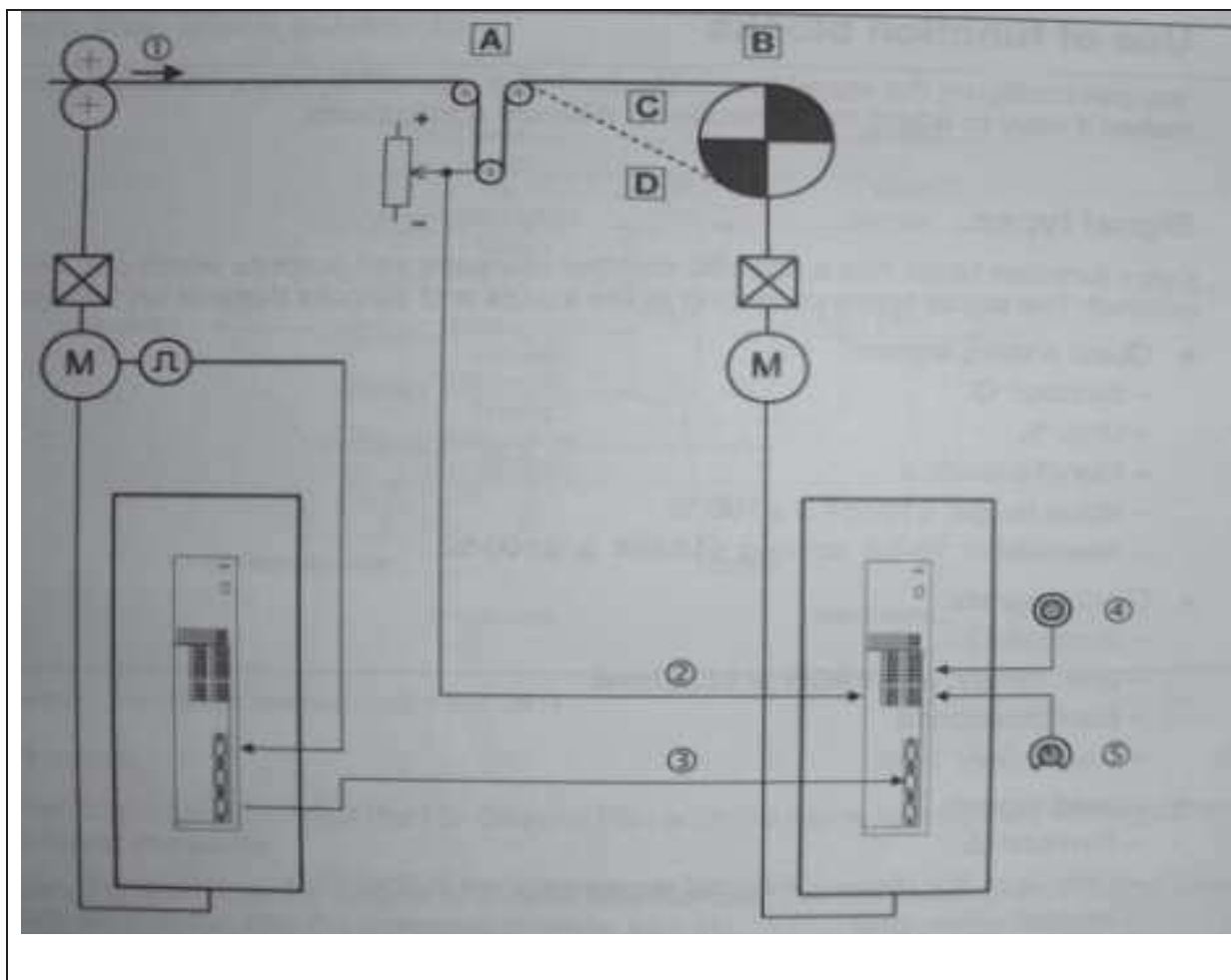
Na descrição do enunciado referencial será abordado estudo do controle com sistema de *Dancer* em sistemas industriais, seus equipamentos, além de explicar o assunto da placa Arduino®, que é o motivo do estudo, sua aplicação para análise e processamento dos sinais no sistema de controle industrial, tipos e formas de sinais que o sistema gera e equipamentos que podem ser utilizados para monitorar e converter dados.

### 2.1. FUNCIONAMENTO DO CONTROLE COM SISTEMA DE *DANCER*

O sistema de *Dancer* é um equipamento mecânico industrial com a capacidade de armazenar e estabilizar um determinado tipo de produto como se fosse um reservatório, juntamente com a aplicação de sensores e equipamentos eletrônicos têm a função de controlar um segundo processo de manufatura. Um exemplo desta aplicação encontra-se no manual de conversor estático indireto de frequência *Lenze*® 9300 *vector* onde o enunciado se refere da seguinte forma, controle de posição por *Dancer* com detecção de diâmetro interno:

*A digital frequency signal is sent for precontrolling the drive with the system/material speed. On the basis of the actual position of the dancer, the dancer position controller generate a correction signal which is added to the precontrol signal. This results in a circumferential speed set point which, when multiplied by 1/D, provides the speed set point. The real diameter is calculated using the signal for de line speed end the winding speed. Each time the real changes, the new initial diameter cam be loader. (©2006 Lenze)*

A figura representada abaixo do enunciado apresenta o esquema do funcionamento do sistema de controle por *Dancer* com detecção de diâmetro interno encontrado no manual da *Lenze*®.



**Figura 01 – Esquema de controle por *Dancer***

Fonte: (Lenze Drive Systems GmbH, 2006, p.85)

### 2.1.1. Equipamentos Aplicados no Sistema de Controle por *Dancer*

Alguns itens são primordiais para o funcionamento do controle por *Dancer* entre eles se destacam conversores estáticos indireto de frequência, motores assíncronos de corrente alternada, potenciômetros lineares ou outros modelos especiais, *encoders*, sensores indutivos, fim de cursos, os quais nos parágrafos seguintes são apresentados.

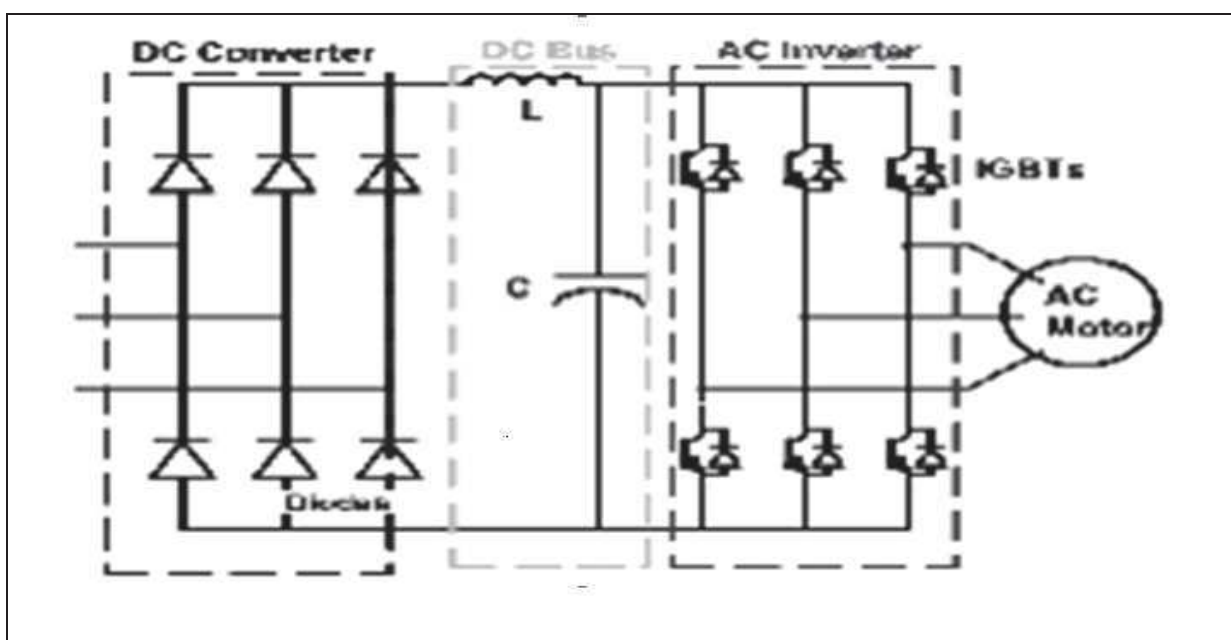
Conversores estáticos indireto de frequência são equipamentos que controla a velocidade de motores trifásicos gaiola de esquilo assíncrono, convertendo a

tensão de rede alternada em outra forma de onda modula Modulação por Largura de Pulso (PWM) controlando assim a frequência e a tensão entregue para o motor.

O avanço da Eletrônica de Potência permitiu o desenvolvimento de conversores estáticos indiretos de frequência, com dispositivos de estado sólido, inicialmente com tiristores, e atualmente apresentam-se na fase dos transistores, mais especificamente Transistor Bipolar de Porta isolada (IGBT), onde o ciclo conversor antecedeu de certa forma os atuais conversores estáticos indireto de frequência, eles eram utilizados para converter 60Hz da rede em uma frequência mais baixa, era uma conversão CA-CA, já os conversores estáticos indireto de frequência utilizam a conversão CA-CC e por fim em CA novamente.

Os conversores estáticos indireto de frequência podem ser classificados pela sua topologia, esta por sua vez é dividida em três partes, sendo a primeira para o tipo de retificação de entrada, a segunda para o tipo de controle do circuito intermediário e a terceira para a saída.

Independente da topologia utilizada, uma tensão CC no circuito intermediário deve se transformar em tensão CA para acionar o motor AC. A figura abaixo apresenta um circuito em blocos de um conversor estático indireto de frequência com a topologia tipo PWM, esta topologia é a mais utilizada nos conversores estáticos indireto de frequência atualmente. (INVERSORES DE FREQUENCIA, 2012)



**Figura 02 – Circuito de potência inversor**

Fonte: (Inversores de frequência, 2012, web)

Motor assíncrono é a forma de motor mais aplicada industrialmente por ter características construtivas muito simples e de baixo custo de manutenção. O motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combinam as vantagens da utilização de energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos

São os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Seu princípio de funcionamento é baseado no campo girante, que surge quando um sistema de correntes alternadas trifásico é aplicado em bobinas de pólos defasados fisicamente de  $120^\circ$ . Dessa forma, como as correntes são defasadas  $120^\circ$  elétricos, em cada instante, um par de pólos possui o campo de maior intensidade, causando a associação vetorial desse efeito o campo girante. (ELETRICIDADE INDUSTRIAL, 2011)

Potenciômetros lineares também conhecidos como transdutores potenciométricos para o monitoramento, medição e controle de movimentos mecânicos, aplicado em situações tais como, controles industriais, robótica, sistemas de processo, com as características técnica do corpo em alumínio anodizado, haste em aço inoxidável, resolução infinita, onde os dados de trabalho estão empregados na figura a seguir. ( metaltex, 2012)

|  |              |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--|--------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Séne RTC / RTC series  |              | 75  | 100  | 130  | 150  | 175  | 200  | 225  | 250  | 300  | 350  | 375  | 400  | 450  | 500  | 525  | 600  | 650  | 700  | 750  | 800  | 850  | 900  | 1000 | 1250 | 1500 |  |
| Curso elétrico ativo (A.E.)<br>Active electrical travel (A.E.) | mm           | 75  | 100  | 130  | 150  | 177  | 203  | 226  | 253  | 302  | 353  | 378  | 403  | 455  | 503  | 531  | 607  | 653  | 703  | 759  | 803  | 853  | 912  | 1013 | 1263 | 1513 |  |
| Resistência ± 20%<br>Resistance ± 20%                          | K $\Omega$   | 2,5   | 3,4  | 4,3  | 5,0  | 5,8  | 6,8  | 2,4  | 2,6  | 3,2  | 3,7  | 4,0  | 4,3  | 4,8  | 5,3  | 5,6  | 6,4  | 6,9  | 7,5  | 8,0  | 8,5  | 9,1  | 9,6  | 10,7 | 13,3 | 16,0 |  |
| Linearidade independente<br>Independent linearity              | ± %          | 0,07  | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,05   | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |  |
| Curso Mecânico (M.T.)<br>Mechanical travel (M.T.)              | mm           | 79  | 104  | 135  | 155  | 181  | 207  | 231  | 258  | 307  | 358  | 384  | 409  | 460  | 508  | 536  | 612  | 658  | 709  | 765  | 809  | 859  | 917  | 1019 | 1269 | 1519 |  |
| Resolução / Resolution   |              | Infinita / Infinite                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Corrente recomendada no cursor<br>Recommended cursor current   | $\mu$ A      | < 1   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Faixa de temperatura<br>Temperature range                      | $^{\circ}$ C | -55 ~ +125                                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| Dimensão A / Dimensions A                                      | mm           | 139   | 164  | 195  | 215  | 240  | 266  | 291  | 317  | 367  | 418  | 444  | 469  | 520  | 571  | 596  | 672  | 723  | 774  | 825  | 875  | 926  | 977  | 1078 | 1330 | 1582 |  |
| Accessórios incluídos<br>Included accessories                  |              | 2 suportes de montagem<br>1 conector de 4 polos |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | / Two mounting brackets<br>/ One 4 poles connector |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |

**Figura 03 – Características técnicas potenciômetro linear**

Fonte: (Metaltext, 2012, web)

Encoder é um transmissor de pulso digital, também pode ser encontrados modelos com sinais analógicos, utilizado para informar, por exemplo, a velocidade de um motor. O encoder é utilizado em aplicações nas quais for necessária uma grande precisão de controle da velocidade. (Danfuss, 2005).

Segundo o fabricante de encoders incrementais *BEI industrial encoders*, descreve o princípio de funcionamento e o modo de operação deste equipamento industrial na citação pela seguinte forma, também podemos ter uma idéia da forma construtiva representada na figura que segue:

*Incremental encoder produces a series of square waves as it rotates. The number of square wave cycles produced per one turn of the shaft is called the encoder resolution. Incremental encoders work by rotating a code disc in the path of a light source, with the code disc acting like a shutter to alternately shut off or transmit the light to a photodetector. Thus, the resolution of the encoder is the same as the number of lines on the code disc. A resolution of 360 means that the encoder code disc will have 360 lines on it and one turn of the encoder shaft will produce 360 complete square wave cycles, each cycle indicating one degree of shaft rotation. (BEI Industrial encoders 2012)*



**Figura 04 – Encoder incremental**

Fonte: (BEI industrial encoders, 2012, web)

A aplicação de sensores indutivos na área de automação e controle abrange uma grande gama em diversos seguimentos, podendo ser sensores de sinais digitais bem como sensores de sinais analógicos. Sensores de sinais digitais são os sensores que assumem a lógica, ligado ou desligado, podem ser sensores indutivos, capacitivos, fotoelétricos de pressão entre outros modelos existentes comercialmente. Sensor de sinais analógico, é um tipo de sensor que seu sinal gerado para o controle do processo, varia em uma escala no decorrer do tempo, podem ser estes sinais de tensão ou corrente, a figura a seguir representa três modelos de sensor indutivo de sinal digital.



**Figura 05 – Sensor indutivo**

Fonte: (Fonseca, 2012)





**Figura 06 – Chave fim de curso**

Fonte: (Fonseca, 2012)

### 2.1.2. Arduino®

A placa de circuito impresso Arduino® é uma plataforma *open source*, com a capacidade de processar sinais analógicos e digitais, uma vês conectados em suas entradas e saídas. Tem a capacidade de converter esses dados em sinais digitais, que podem ser enviados para um computador em forma de comunicação serial pela porta USB.

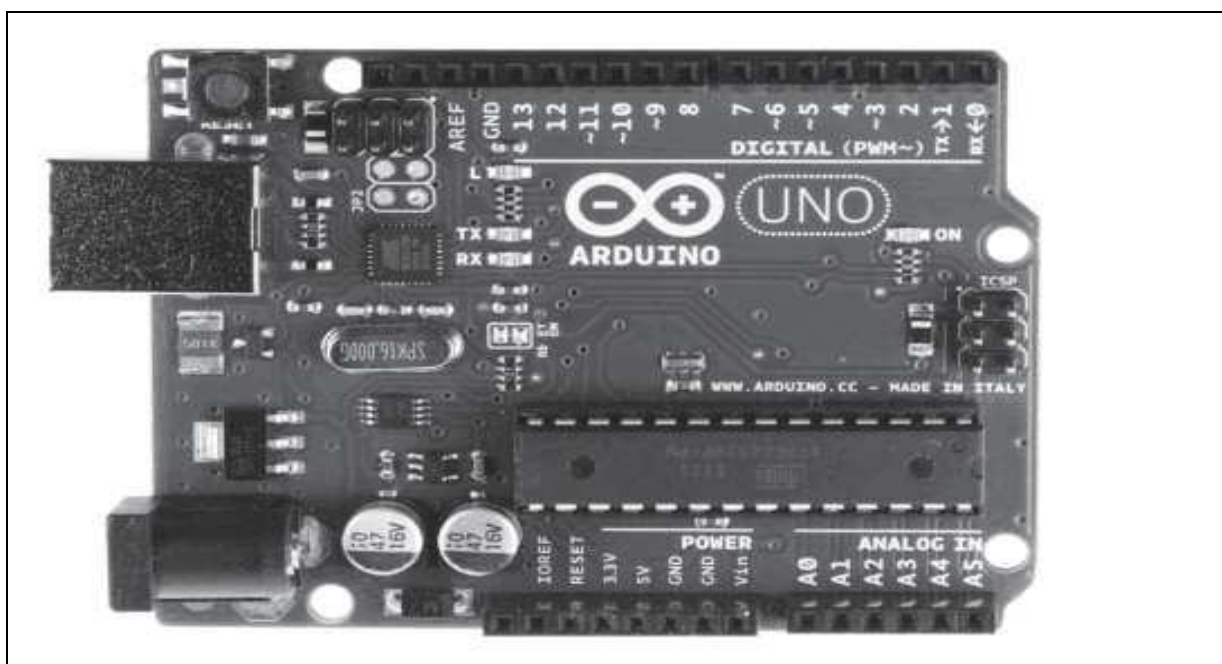
Engenheiro de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense Niterói/RJ, conceitua basicamente o Arduino® pela definição de um projeto que engloba *software* e *hardware* com objetivo de fornecer uma plataforma fácil para prototipagem de projetos interativos, utilizando um micro controlador. Faz parte da computação física, que integra a área da computação em que o *software* interage diretamente com o *hardware*, tornando possível a integração fácil com sensores, motores e outros dispositivos eletrônicos. (Justem, 2011)

A escolha pela aplicação da placa Arduino®, baseou-se devido sua simplicidade, por ser um circuito eletrônico compacto e micro processado, fácil de manusear, programar e disponibilidade da comunicação serial. Como a interface do Arduino® com outros dispositivos está mais perto do meio físico que a de um *Programe Control* (PC), pode ler dados de sensores de temperatura, luz, pressão etc. e controlar outros circuitos lâmpadas, motores, eletrodomésticos etc. dentre outras coisas que não aplicaria diretamente com um PC. A grande diferença com

relação ao uso desses dispositivos, no caso do Arduino®, é que, na maior parte das vezes, o usuário mesmo constrói os circuitos que são utilizados, ou seja, não fica limitado apenas a produtos existentes no mercado, (Justem, 2011)

#### 2.1.2.1. Modelo da placa Arduino®

A disponibilidade de placas Arduino® é muito variada vai desde modelos super compactos até dispositivos de alta capacidade interação com o ambiente ao seu redor. O modelo Arduino® UNO, com um microprocessador ATmega 328, e conexões de entradas e saídas digitais e entradas analógicas está representada na figura abaixo.



**Figura 07 – Placa Arduino® UNO**

Fonte: (Arduino®, 2012, web)

#### 2.1.2.2. Dados técnicos da placa Arduino® UNO

O Arduino® Uno contém uma placa de circuito impresso com um controlador ATmega 328, quatorze pinos de entrada digital programáveis podendo ser entradas

ou saídas, onde seis delas pode ser configurada como saídas PWM, seis entradas analógicas, o oscilador do micro controlado e é de 16MHz, controlador Universal Serial Bus (USB), a alimentação pode ser por baterias, adaptador AC/DC, ou pela própria USB. As principais características do Arduino® uno podem ser observadas na tabela 1 abaixo. (Morgolis, 2011)

**Tabela 01 – Características técnicas Arduino® UNO**

| Microcontrolador                    | ATmega 328 ou ATmega 168                            |
|-------------------------------------|---|
| Tensão operacional                  | 5V  |
| Tensão de alimentação (recomendada) | 7 – 12V   |
| Tensão de alimentação (limites)     | 6 – 20V   |
| Pinos entrada e saída digitais      | 14 (dos quais 6 podem ser PWM)                      |
| Pinos de entrada analógica          | 6   |
| Corrente contínua por pino          | 40mA  |
| Corrente contínua para o pino 3.3V  | 50mA  |
| Memória <i>flash</i>                | 32KB (2KB usados para o <i>bootloader</i> )<br>16KB |
| SRAM                                | 2 KB  |
| EEPROM                              | 1 KB  |
| Frequência de <i>clock</i>          | 16 MHz  |

Fonte: (Arduino®,2012, web)

O Arduino® UNO possui várias opções de alimentação uma delas pode ser pela própria conexão USB ou por uma fonte de alimentação externa, tomando os cuidados para que se mantenha o range estipulado pelo fabricante. A fonte de alimentação é selecionada automaticamente pela própria placa Arduino®, a alimentação externa pode ser tanto de uma fonte AC/DC, ou de uma bateria.

A fonte AC/DC pode ser conectada com um *plug* de 2mm centro positivo no conector de alimentação da placa, a alimentação que provém de uma bateria pode ser inserida nos pinos (terra) GND e (entrada de tensão) *Vin* do conector de alimentação.

A placa Arduino® UNO pode trabalhar com uma alimentação externa de 6 à (Volt corrente contínua) 20Vcc, mas se a alimentação for inferior a 7V o pino 5V pode fornecer menos de 5V e a placa pode gerar instabilidades. Quando se aplica tensões de alimentação superior a 12V o regulador de tensão pode superaquecer e danificar a placa.

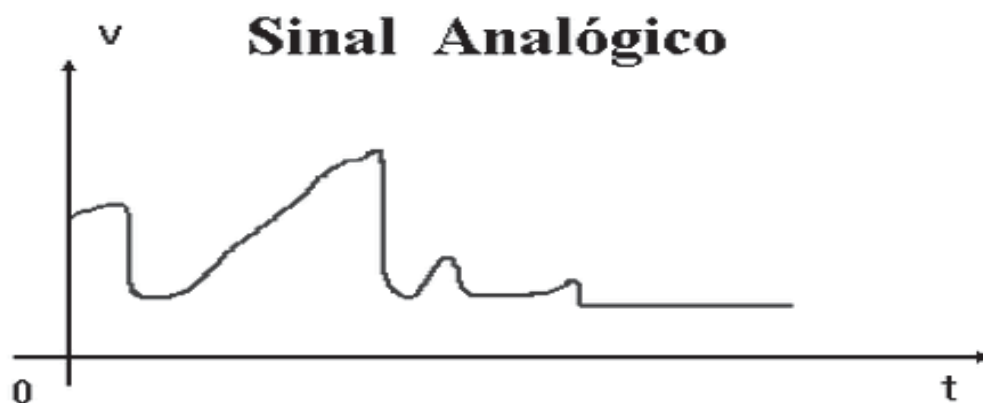
A alimentação recomendada para a placa Arduino® UNO é de 7 a 12Vcc, na seqüência é apresentado um esquema eletrônico da placa Arduino® UNO. Os pinos de alimentação estão dispostos da seguinte forma:

- a) *Vin*: entrada de alimentação para a placa Arduino® UNO quando se utiliza de uma fonte externa, que pode ser conectada a esse pino ou pelo conector de alimentação;
- b) 5V: é a fonte que alimenta o micro controlador, e também serve para outros componentes eletrônicos da placa. Pode ser proveniente do pino *Vin* através de um regulado de tensão, ou ser fornecida pelo USB ou outra fonte de 5 Vcc;
- c) 3,3V: a alimentação de 3,3 V é fornecida pelo circuito integrado FTDI (circuito integrado controlador USB). Deve-se tomar cuidado para que a corrente máxima não ultrapasse os de 50mA para evita danos ao circuito;
- d) GND (*ground*): ou pino terra. O Arduino® UNO tem um polifusível para a proteção da porta USB do seu computador contra curto-circuito e sobre corrente. Apesar da maioria dos computadores possuírem proteção interna própria, o fusível proporciona uma proteção extra.

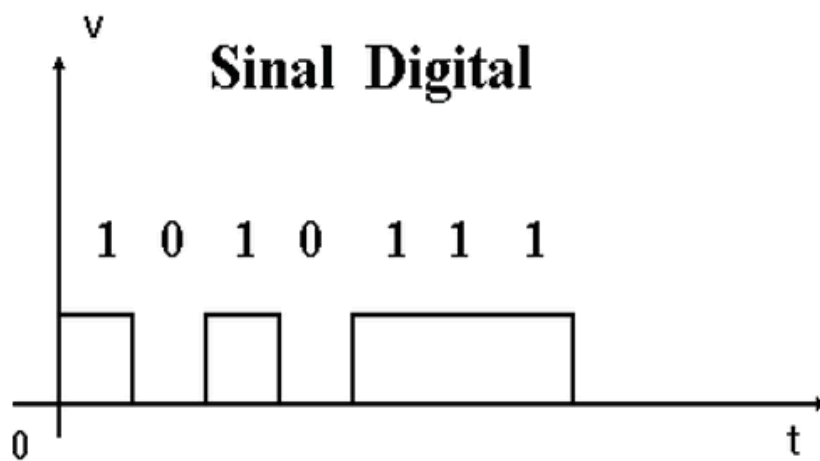
Se mais de 500mA forem aplicados na porta USB, o fusível interrompe automaticamente a conexão até que o curto circuito ou a sobrecarga seja removido. (Wheat, 2011)

Pode-se observar nas palavras da citação a seguir o princípio do funcionamento do sinal analógico descrito.

*Um sinal analógico varia no tempo de um modo análogo ao da propriedade física que esteve na sua origem. Estes sinais são contínuos e podem assumir qualquer valor entre dois limites. Um exemplo de sinal analógico é a tensão gerada por um microfone, já que é proporcional ao gráfico do deslocamento em função do tempo, das moléculas do ar que se encontra à sua frente. (Faculdade de engenharia da universidade do porto FEUP,*



*codificada da informação original. Um exemplo de sinal digital é a seqüência de altas e baixas voltagens produzida durante uma chamada telefônica*



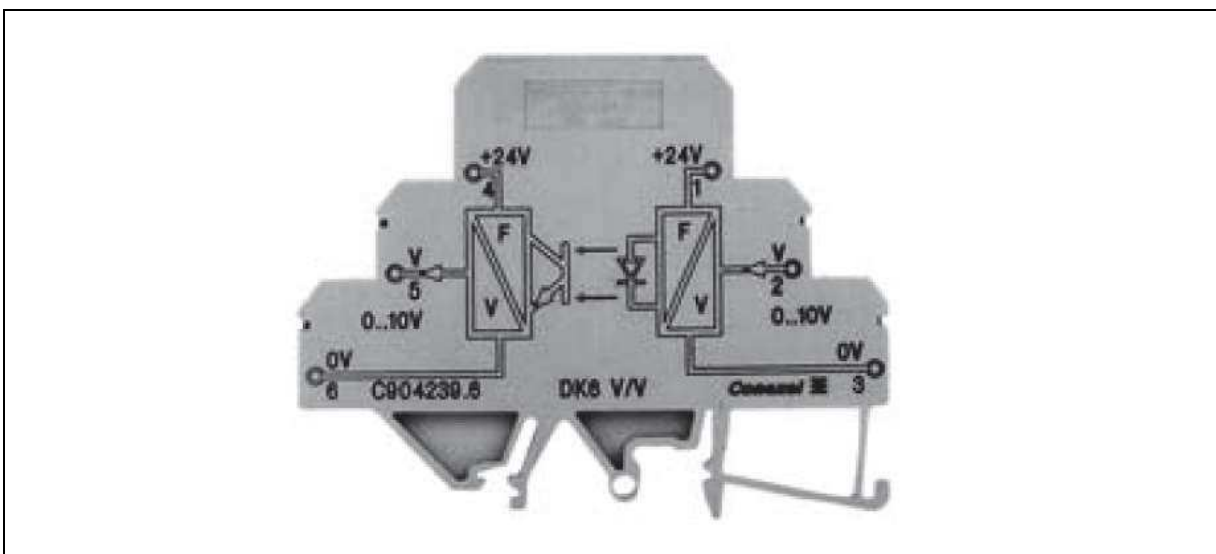
### 2.1.5.1. Acopladores de Sinais Analógicos

Conforme a fabricante Conexel os acopladores de sinais analógicos podem ser divididos em várias categorias:

- a) Condicionadores/isoladores de sinais (tensão/corrente CC e temperatura);
- b) Condicionadores analógicos / freqüências (tensão/corrente CC, temperatura - RTD e termopar);
- c) Condicionadores freqüências /analógico;
- d) Conversor CC/CC;
- e) Repetidores de sinais;
- f) Conversores A/D e D/A;
- g) Transdutores de corrente CC/CA.

Um modelo de acoplador mais utilizado na conversão de sinal analógico é o que se aplica a um sinal de entrada de Tensão, Corrente ou Temperatura, e o resultado na saída é de freqüências. Convertem e isolam um sinal padronizado de tensão/corrente CC ou temperatura (PT100 ou termopar), aplicado em sua entrada, para um correspondente valor em freqüências disponível em sua saída. São dispositivos ideais para aplicações onde se deseja ler um sinal analógico utilizando-se um CLP que possui apenas sinais digitais.

Outro modelo possui a entrada de freqüência, e origina a saída Tensão/Corrente CC, convertem e isola um sinal de freqüências, aplicado em sua entrada, para um correspondente valor em tensão/corrente CC disponível em sua saída. Abaixo a figura de um modelo de acoplador analógicos tensão/freqüência para freqüência/tensão



**Figura 10 – Acoplador de sinal Analógico**

Fonte: Conexel (2005 p. 6.2).

#### 2.1.5.2. Acopladores de Sinais Digitais

São encontrados alguns dispositivos para execução de acoplamento de sinais digitais, o mais comum é o relé de contato seco, e o foto transistores ou acopladores ópticos. Os acopladores a relé da Conexel® requerem alguns cuidados com a aplicação quanto à interrupção de circuitos com cargas indutivas como exemplo, bobinas de relés, eletroímãs, eletro válvulas, contatores, etc. Aparece uma sobre tensão nos contatos, causada pela auto-indução da carga, que pode ser um múltiplo da tensão empregada e que põe em perigo a isolação do circuito (Conexel 2005).



**Figura 11 – Acoplador de sinal digital**

Fonte: (Conexel 2005)



A tabela abaixo mostra os diferentes materiais utilizados nos contatos dos relés, suas características principais e suas aplicações.

**Tabela02 – Acoplador a relé**

| <b>MATERIAL</b>                              | <b>CARACTERÍSTICA</b>  | <b>APLICAÇÃO</b>  |
|--|--|---|
| Ag Ni 0,15                                   | Material atacado por enxofre e não oxidável. Grande estabilidade mecânica, baixa tendência para solda.   | Aplicável para cargas médias, com tensão $\geq 12V$ e corrente entre 10mA e 10A .                 |
| Ag Cd O                                      | Material atacado por enxofre e não oxidável. Alta resistência ao desgaste com cargas maiores.  | Uso apropriado para cargas indutivas, com tensão $\geq 12v$ e corrente $\geq 100mA$ .             |
| Ag Ni 10                                     | Material atacado por enxofre e não oxidável. Alta resistência ao desgaste do material, baixa susceptibilidade para solda, maior resistência ao contato.                            | Aplicável para cargas médias, ou altas, circuitos com tensão $\geq 12v$ e corrente $\geq 100mA$ . |
| Ag Pb 30                                     | Material não atacado por enxofre e não oxidável. Melhor resistência ao desgaste do material, baixa deposição de material nos contatos, baixa tendência para soldar e maior dureza. | Aplicável para cargas médias, com tensão $\geq 1V$ e corrente entre 1mA e 1A .                    |
| Ag Sn O <sup>2</sup>                         | Baixa tendência a solda, pequena transferência de material entre os contatos.  | Apropriado para chavear altas cargas em tensão continua.  |
| Ag Sn O <sup>2</sup><br>com flash<br>de ouro | Baixa tendência a solda, pequena transferência de material entre os contatos.  | Uso apropriado para chavear baixas correntes. Potencia nos contatos na ordem de $\mu w$ .         |

**Fonte:** (Conexel, 2005)

A família de acopladores óticos da Conexel® está dividida nos seguintes grupos, entrada CC e Saída CC, entrada CA e Saída CC, entrada CC e Saída CA (modelos SSR), entrada CA e Saída CA (modelos SSR). (Conexel 2005).



**Figura 12 – Acoplador de sinal digital**

Fonte:(Conexel 2006)

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo será abordado o modo a ser realizado o trabalho científico, quais os melhores caminhos e formas de se analisar, verificar, estudar, diagnosticar e interagir, o sistema de controle industrial, com a placa Arduino®, para análise de sinais.

#### 3.1 Levantamentos de Dados do Processo de Um Controle por *Dancer*, em Sistemas Industriais

Os dados do sistema de controle por *Dancer* serão analisados, catalogados e interpretados para a compreensão do seu funcionamento, e monitoramento.

Primeiramente que tipos de sinais de controle são encontrados no processo, sinais digitais, verificar a tensão de trabalho dos mesmos, se são sinais de altas ou baixas frequências, que lógica está sendo usada PNP ou NPN, em que tipo de equipamento originou-se o sinal, para que possa ser interpretado e sua disponibilidade de ser acoplado com a placa Arduino®.

Nos sinais analógicos deve-se inicialmente analisar se é um sinal de tensão ou de corrente, então registrar em que escala o sistema em questão está trabalhando, se é de 0 à 10Vcc, 0 à 5Vcc, 0 à 20mA, 4 à 20mA, ou outra escala menos usual tecnicamente, também se deve ainda verificar que tipo de equipamento esta originando este sinal analógico, para futuros acoplamentos de sinais entre o sistema e a placa Arduino®.

### 3.2 Especificação de Equipamentos para Análise de Sinais

Estudar os sensores e equipamento que geram os sinais de controle para o sistema, que tipos de sinais que eles emitem, e a possibilidade de integrá-los mediante de dispositivos eletrônicos, ou diretamente com a placa Arduino®. A partir destes dados coletados, definir os equipamentos e circuitos que melhor se adaptam a esta interface de sinais, podendo ser eles analógicos ou digitais.

### 3.3 Escolha do Modelo da Placa Arduino®

Como já foi mencionada anteriormente a escolha do modelo da placa Arduino® é um item de muita valia para o trabalho, pois é uma das ferramentas principais no estudo. Para ser definida com grande garantia de sucesso a análise, será efetuado o estudo das características técnicas da placa Arduino® UNO.

### 3.4 Apresentação de um Modelo de Programação para Interface Gráfica

Mediante do *software Processing* será elaborado uma programação dedicada para que os sinais capturados na placa Arduino® e enviados ao computador por comunicação serial possam ser representados graficamente. Estudando lógicas de

programação, e interpretando exemplos já descritos, será realizado um programa que apresente no *software Processing* um gráfico que indique variáveis de processo no decorrer do tempo e espaço.

### 3.5 Realização de Testes em Bancada Eletrônica

Após definido que tipos de sinais, a quantidade, o acoplamento e interface entre o sistema de controle que será monitorado e o Arduino®, serão construídos as linhas de programação no programa Arduino®\_1.0 para a captura dos sinais e refinamento destes, para transmitir através da comunicação serial os dados necessários recolhidos para um computador.

No programa *Processing* já com o *software* construído e a representação gráfica funcionando, serão acoplados em uma placa *protoboard* equipamentos que tem a capacidade de gerar sinais analógicos e digitais idênticos aos encontrados no sistema de controle por *Dancer*. Após todos os aparatos montados em bancada e o sistema de simulação funcionando, deve-se efetuar a execução dos ajustes dos equipamentos, circuitos eletrônicos e escalas de leituras, e também do *software*.

### 3.6 Apresentação de resultados

Depois de realizado o estudo e executado os testes em bancada, será apresentado gráficos no *processing* dos possíveis defeitos gerados nos equipamentos que o sistema de controle industrial por *Dancer*.

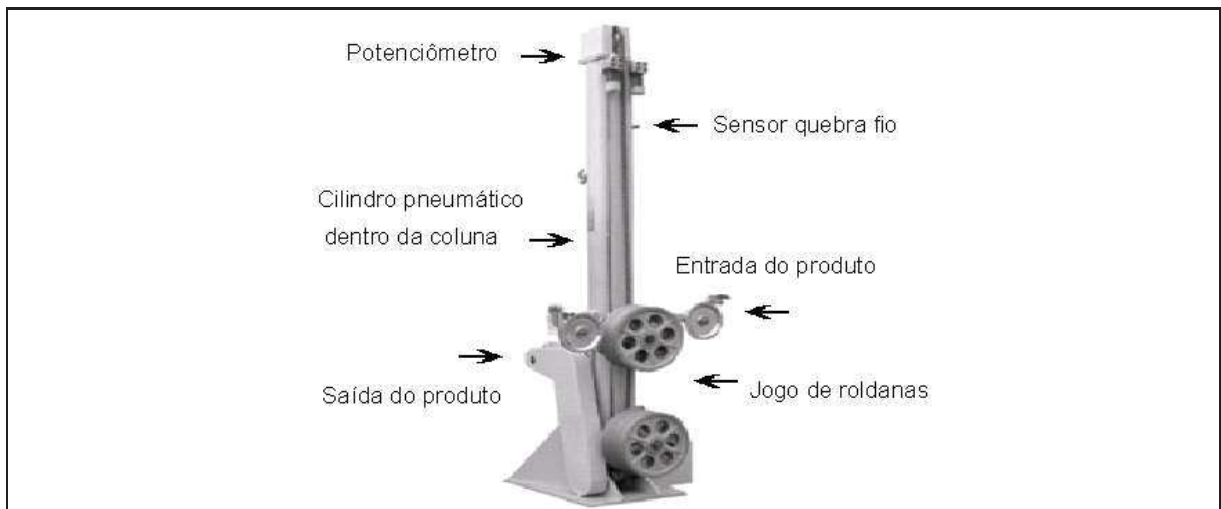
## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo inicia-se o estudo da aplicação da placa Arduino® para a captura, processamento e análise de sinais em bancada eletrônica, simulando um sistema de controle industrial o qual foi escolhido o sistema de *Dancer*. Onde vai ser descrito a seguir o seu funcionamento e seus equipamentos eletrônicos de sensores, logo após serão simulado em bancada eletrônica como se apresentados defeitos, e conectados ao Arduino® para a representação gráfica.

### 4.1 Levantamento de Dados do Processo de Um Controle por *Dancer* em Sistemas Industrial

*Dancer* serve de compensador entre a saída de um produto de um processo específico e a entrada em um sistema de armazenamento, que se pode citar como exemplo uma linha de produção de fios integrados com um sistema de bobina. A alteração da velocidade durante o processo é compensada mediante as roldanas móveis. O jogo de roldanas é atuado por meio de um cilindro pneumático e sistema de contrapesos que, é possível manterem o tensionamento constante no fio que está sendo processado. A pressão do sistema pneumático depende das características do fio em processo, sendo este ajustado por uma válvula de ajuste fina de pressão.

Na articulação do braço do sistema de *Dancer*, está montado um potenciômetro, o qual gera um sinal analógico de 0 à 5Vcc, que regula a velocidade do sistema de armazenamento do produto em bobina. Em caso de quebra do fio, o controle é desligado automaticamente por meio de um sensor indutivo PNP, que gera um sinal digital de 24Vcc. Para garantia da segurança, a porta do sistema de *Dancer* é travada eletromagneticamente, por uma chave eletromecânica que também gera um sinal digital de 24Vcc quando está fechada. Abaixo para melhor entendimento temos uma figura de um exemplo de *Dancer* aplicado na indústria:



**Figura13 – Equipamento industrial para controle por Dancer**

Fonte: (Miotto, 2010)

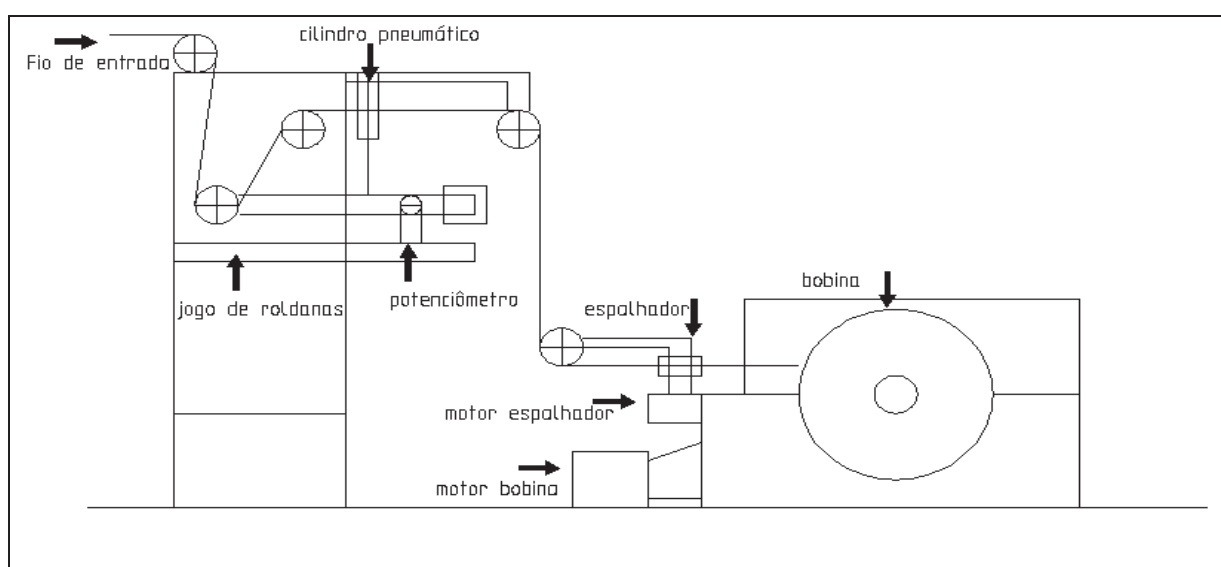
Para complementar o funcionamento do sistema, aplica-se um sistema de bobinagem com acionamento por motor assíncrono de corrente alternada, controlado por um inversor de frequência, que através de correias aciona uma bobina, gerando sinais analógicos e digitais para interface com o Controlador Lógico Programável (CLP) de controle do sistema. Esse motor possui incorporado, um *encoder* 24Vcc e uma resolução de 1024 Pulso Por Volta (PPV) no seu eixo, que envia para o sistema, um sinal digital de *feedback* da sua velocidade para o controle.

Trabalhando juntamente, um carrinho de espalhamento do fio, acionado por um motor elétrico também controlado por inversor de frequência, seu deslocamento é monitorado por um *encoder* 24Vcc e uma resolução de 1024ppv, e seus limites direitos e esquerdos e sinal de referencia ou ponto absoluto de referencia são gerados por sensores indutivos de sinais digitais 24Vcc PNP quando acionado. A transmissão é através de correias a um fuso que vai recolher o fio proveniente da saída das roldanas do *Dancer* para a bobina.

A montagem da bobina é executada por uma mesa elevadora que possui sensores indutivos de sinais digitais 24Vcc PNP quando acionados, para indicar que o status da mesa está na posição em cima, em baixo e mesa recuada, na mesma configuração de sensores temos para indicação de que a bobina está devidamente presa nas contra pontas em suas extremidades. Para a segurança do sistema existe um fim de curso que gera um sinal digital nível alto 24Vcc, para indicar quando a

proteção da bobina está aberta, e um relé com função de detectar a quebra do fio durante o processo, que gera um sinal digital nível alto 24Vcc, quando atuado.

Sinais gerados pelo sistema, analógicos, como o potenciômetro no braço articulado do *dancer* pelo CLP que controla o sistema, inversores que acionam os motores da bobinar e do espalhador, podem ser capturados e ajustados suas escalas através de equipamentos e circuitos eletrônicos que estão representados no capítulo a seguir. Também empregamos as mesmas configurações para os sinais digitais, gerados pelos sensores, fim de cursos, CLP, inversores e encoders. Abaixo temos uma figura do diagrama exemplificando o funcionamento do controle com sistema de *dancer* e um sistema de armazenagem em bobina.



**Figura14 – Diagrama do controle por *Dancer* com bobinador**

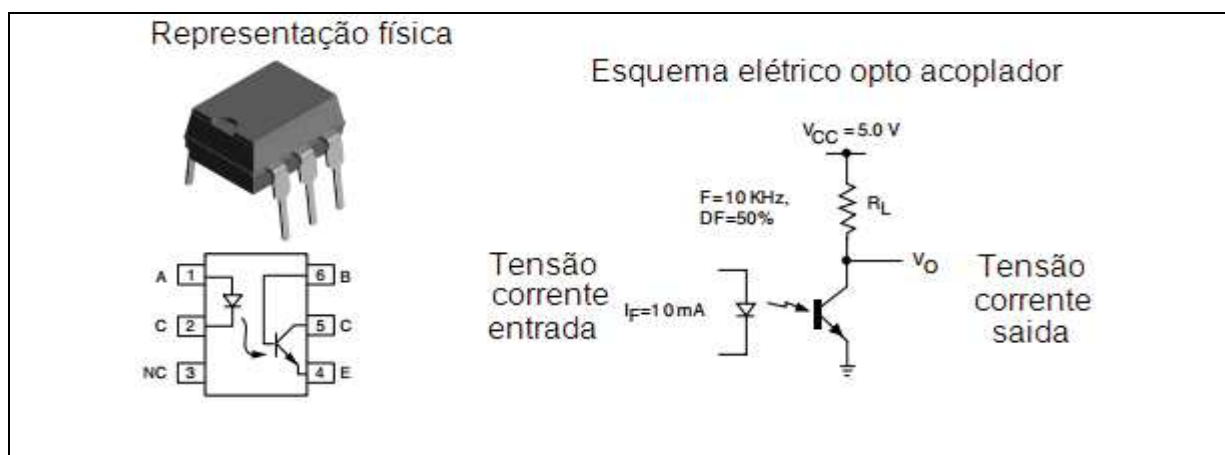
Fonte:(Própria,2012)

#### 4.2 Especificação de Equipamentos Para Análise de Sinais

Para efetuar a captura dos sinais digitais do processo, é necessária a aplicação de componentes que contem a capacidade de isolar o sinal digital, devido às diferentes faixas de tensão de trabalho, o Arduino® nas suas portas lógicas digitais trabalha com tensão de 5Vcc em nível lógico alto e 0Vcc em nível lógico baixo, e com uma corrente máxima de 40mA, e no controle com sistema de *Dancer* onde os sinais digitais são originados a tensão de trabalho é de 24Vcc nível lógico alto e 0Vcc nível lógico baixo.

Devido essa diferença de potencial entre o a placa Arduino® UNO e o sistema de controle, não se aplica os sinais diretamente nas entradas digitais do Arduino®, devido ao agravante, da diferença de compatibilidade de acoplamento do sinal digital, opta-se por aplicar circuitos eletrônicos que consigam isolar esses sinais através de acopladores ópticos mais precisamente, há a possibilidade de citar o circuito integrado opto acoplador 4N25, também está passível a utilização de um circuito eletrônico chamado de divisor de tensão, para ajustar a faixa de tensão.

Quando aplicado o circuito integrado opto acoplador 4N25 para isolamento do sinal digital, esse fica totalmente isolado, ou seja, a tensão e a corrente que atua na entrada aplicada no controle com sistema de *Dancer*, está totalmente isolada através do acoplamento óptico, da tensão e da corrente que atua na saída, circuito da placa Arduino® Uno, a figura a seguir representa o seu funcionamento.



**Figura 15 – Opto acoplador 4N25**  
Fonte(Vishay, 2004)

Para efetuar a captura de sinais digitais gerados por sensores, *encoders*, fim de cursos, inversores e demais equipamentos que conseguem produzir esse tipo de sinal no sistema, submetido a análise, os acopladores eletrônicos para sinais digitais, ou opto acopladores, são os que mais se adéquam a essa função graças ao isolamento total dos circuitos, evitando inconvenientes de interferências e diferença de potenciais.

Quando aplicado o circuito divisor de tensão para isolamento dos sinais digitais, a corrente e a tensão que circula pelas entradas digitais da placa Arduino® UNO é proveniente da fonte onde é originada, ou seja, da fonte que alimenta os sensores do controle com sistema de *Dancer*, para que o circuito funcione perfeitamente precisa estabilizar o GND da fonte de origem do sinal digital e o GND



da placa Arduino® UNO, mantendo assim um sistema comum para o sinal de referencia 0vcc dos dois sistemas, evitando tensões flutuantes e interferências por ruídos elétricos indesejáveis.

Com a aplicação de resistores existe a possibilidade de transformar a energia elétrica em energia térmica ou limitar a corrente elétrica em um circuito, oferecendo uma resistência a passagem da corrente elétrica, mede-se essa resistência através da unidade de medida (ohm)  $\Omega$ . Conseqüentemente ocorre uma queda de tensão no circuito onde se encontram, utilizando esse efeito para gerar tensões intermediárias, que podem ser ajustadas conforme o desejado, aplicando uma tensão e uma corrente em um resistor pode calcular sua resistência através da seguinte formula:

$$R = V \div I \quad (1)$$

Onde R é a resistência ôhmica do resistor, V é a tensão aplicada no circuito, I a corrente que circula no circuito. Se aplicarmos uma associação de resistores em série em um circuito, se pode calcular a resistência total ou equivalente do circuito, somando as resistências através da seguinte fórmula.

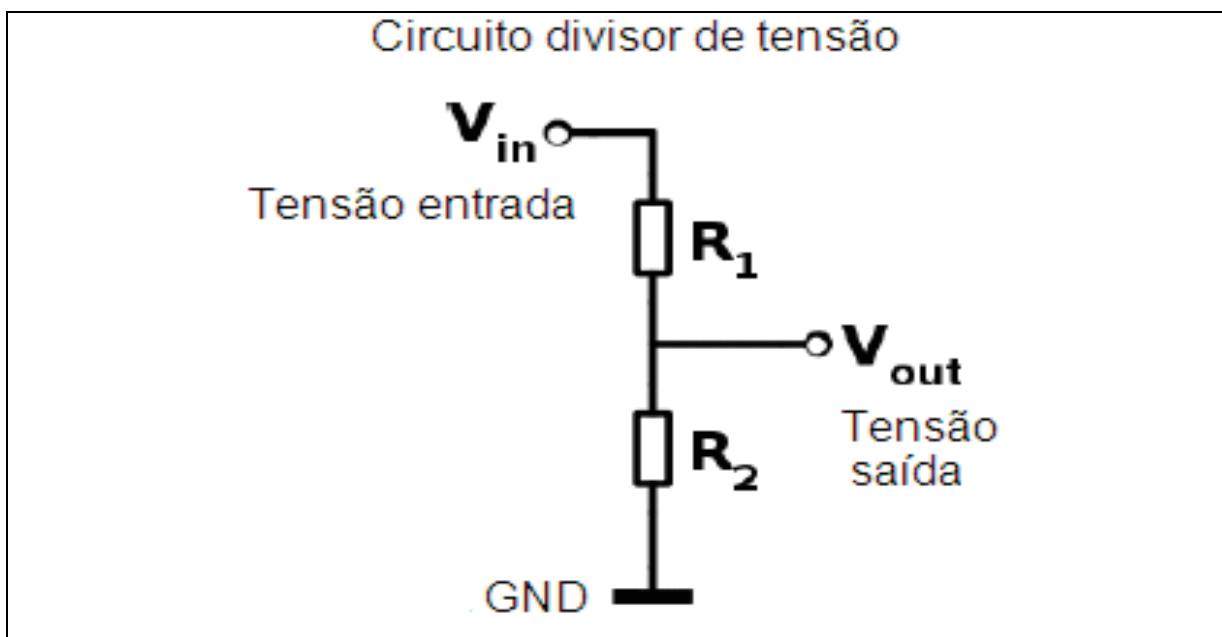
$$Req = R1 + R2 + \dots + Rn \quad (2)$$

Esmiuçando a fórmula resistência equivalente (Req), R1 primeira resistência do circuito, R2 segunda resistência do circuito, Rn numero total de resistência do circuito. Se ocorrer a situação em que os resistores se encontrem em paralelos a resistência equivalente será o inverso da soma dos inversores das resistências, representado na fórmula:

$$\frac{1}{Req} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots + \frac{1}{Rn} \quad (3)$$

Detalhando a formula temos as mesmas variáveis já aplicadas anteriormente Req resistência equivalente, R1 primeira resistência do circuito, R2 segunda resistência do circuito, Rn numero total de resistência do circuito.

Já mencionado anteriormente os resistores geram quedas de tensão em determinadas regiões de um circuito, utilizando esse efeito pode criar o chamado divisor de tensão, em um circuito com resistores em série, que aplicada uma tensão, tem como saída uma fração dessa tensão da de entrada, mediante da figura a seguir representa-se um divisor de tensão:



**Figura 16 – Circuito divisor de tensão**

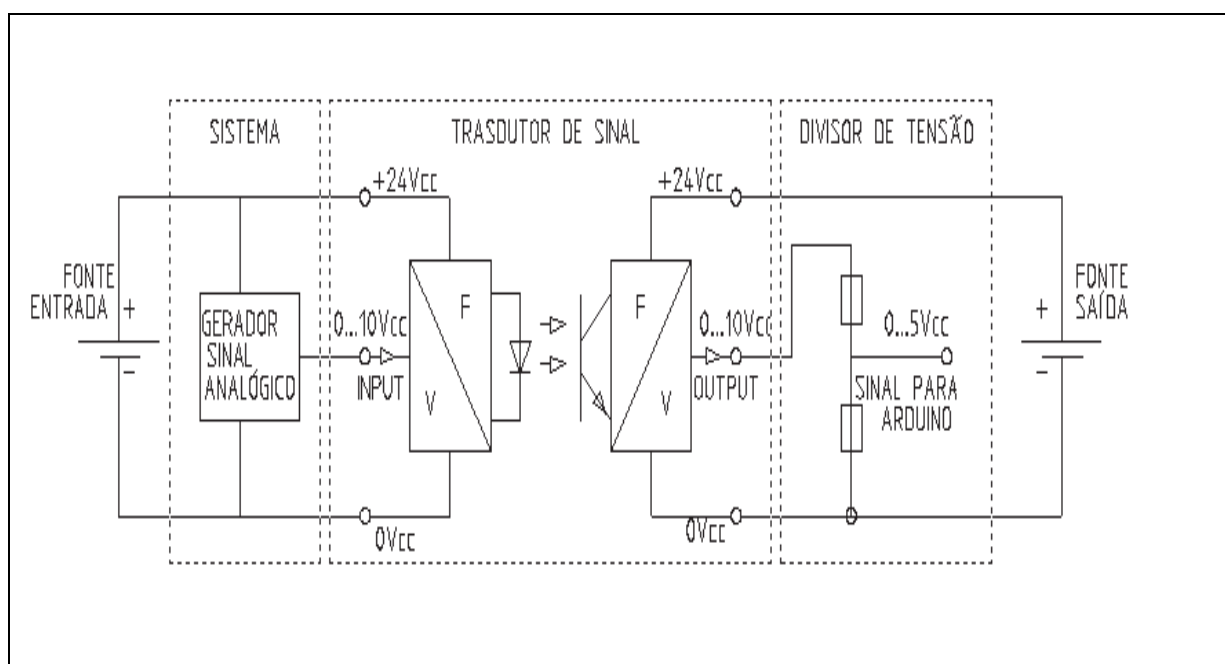
Fonte: (Universidade federal Fluminense, 2010)

Quando aplicado um divisor de tensão, existe a possibilidade de ajustar uma escala de leitura de sinal do tipo digital, e também se pode utilizar o mesmo circuito para a aplicação em um sinal analógico, porém torna-se inconveniente devido ao fato de que os circuitos do sistema a ser analisado e da placa Arduino® UNO, ficam interligados a mercê de interferências e ruídos elétricos. O circuito divisor dá a flexibilidade justamente pela capacidade de ser utilizado para sinais digitais e analógicos com simplicidade, baixo custo e facilidade de construção, oferecendo viabilidade ao sistema.

Mas para isolar totalmente os sinais digitais devemos aplicar circuitos eletrônicos como já foi mencionado anteriormente, para isolamento total dos circuitos de sinais analógicos, podem ser aplicados os transdutores de sinais, estes podem ser encontrados com uma grande gama de faixas de trabalho, nas grandezas elétricas de tensão e corrente.

Para o controle com sistema de *Dancer*, os sinais analógicos encontrados são de, 0..10Vcc, 0..5Vcc e 4..20mA, portanto para a aplicação em um sinal de 0..10Vcc usa-se um transdutor de tensão encontrado comercialmente com entrada de 0..10Vcc e saída de 0..10Vcc, onde a saída está totalmente isolada da entrada pois cada circuito possui sua fonte própria.

Porém a entrada analógica do Arduino® UNO suporta somente 5Vcc e a alimentação recomendada pode variar de 7 à 12Vcc, então aplica-se a tensão de 12Vcc para a alimentação do Arduino® UNO e 24Vcc para o transdutor, que gerará um sinal de 0..10Vcc, e corrige a escala para 0..5Vcc com um divisor de tensão, já que esse divisor de tensão ficará somente no circuito de saída, o mesmo não sofrerá interferências do circuito de entrada, na figura a seguir é possível efetuar a análise de um diagrama que explica melhor o funcionamento deste tipo de acoplamento de sinais.



**Figura 17 – Circuito transdutor de sinal com divisor de tensão**

Fonte: (Conexel, 2012, adaptado)

A mesma situação mencionada anteriormente para sinais analógicos de tensão 0..10Vcc pode ser aplicada para um sinal de 0..5Vcc, utilizando o mesmo transdutor de tensão 0..10Vcc na entrada e 0..10Vcc na saída, como o sinal de origem na entrada é de 0..5Vcc, será possível encontrar na saída somente um sinal de 0..5Vcc, neste caso não há a necessidade de correção com o divisor de tensão, basta simplesmente aplicar diretamente a entrada analógica do Arduino® UNO.

Para o sinal analógico de corrente 4..20mA utiliza-se um transdutor de corrente para tensão encontrado comercialmente na configuração de entrada 4..20mA, e, para a saída 0..10Vcc, neste caso deve ser corrigida a escala de saída com um divisor de tensão para 0..5Vcc, que é o range de trabalho da entrada analógica do Arduino® UNO.

#### 4.3 Escolha do Modelo da Placa Arduino®

Existem inúmeros modelos de placa Arduino®, mas uma das mais utilizadas é a Arduino® UNO, que será utilizada neste projeto, por conter pinos digitais configuráveis como entrada ou saída e analógicos como entrada, mas a função que utilizaremos vai ser somente de entrada, possuem dois pinos de comunicação serial e a porta USB, o micro controlador aplicado é o ATmega 328p, que atende as necessidades do estudo.

A comunicação com um computador ou também com outro Arduino® UNO é muito simplificada, o ATmega 328p permite a comunicação serial no padrão UART TTL 5V nos pinos 0 RX e 1TX. Um chip FTDI FT232RL na placa encaminha essa comunicação serial através da USB e os drives FTDI incluídos no software Arduino® oferecem uma porta virtual para o software no computador, o software Arduino® inclui um monitor serial que permite que dados simples de texto sejam enviados e recebidos na placa Arduino®. Quando os dados estão sendo transferidos ao computador pelo chip FTDI com conexão pela USB, os LED's RX eTX piscam, mas isso não ocorre quando utiliza a comunicação serial pelos pinos 0 e 1 da placa.

O Arduino® UNO opera em uma faixa de tensão de 7 a12Vcc que pode ser de origem da conexão USB ou fontes e baterias externas, fornece até 40mA de corrente pelos pinos de saída ou pelo pino 5V disponível na placa. Tem 16KB de memória flash para armazenar os códigos de programação, onde 2KB são utilizados para o sistema inicializar a placa, uma memória SRAM de 1KB, uma memória de EEPROM de 512 bytes retentiva, que não se perde no desligamento do Arduino®, e um *clock* de16Mhz.

Para a interface com o ambiente a placa possui 20 pinos entrada e saída, onde 14 são utilizados como digitais e 6 como analógicos, uma entrada digital pode ler uma tensão de nível alto próximo ao 5Vcc ou baixo próximo a 0Vcc, enquanto uma entrada analógica lê tensões de 0 a 5Vcc com uma sensibilidade de aproximadamente 4,9mV, essa leitura é um valor de 0 a 1023, onde 0Vcc representa 0, e 5Vcc representa 1023 na escala de leitura.

O funcionamento do Arduino® UNO depende da programação efetuada no micro controlador ATmega 328p, que é feita com o *software* Programming Language, disponível no site Arduino®, baseado no open-source Wiring, o desenvolvimento de código para o Arduino® é feito no ambiente Processing também open-source. O Arduino® tem a flexibilidade na forma que a partir de determinado código no chip, pode-se ativar e desativar os pinos digitais como entrada ou saída, ou pino de entrada é configurado de forma a oferecer alta impedância, para não interferir no circuito que está sendo analisado, quando configurado como saída possui baixa impedância evitando quedas de tensão indesejadas.

Os códigos e programas desenvolvidos na interface do Processing para Arduino® foram adquiridos e configurados a partir da documentação do site oficial, quando enviados para a placa através da conexão USB, a placa automaticamente executará esse código. A placa poderá iniciar a comunicação serial enviando e recebendo dados pela USB ou operar independentemente. Neste estudo da utilização da placa Arduino® será utilizado a conexão USB recebendo dados dos sinais analógicos e digitais que serão descritos nas seções que seguem.

#### 4.4 Apresentação de um Modelo de Programação para Interface Gráfica

Neste estudo a placa Arduino® tem como função primordial a coleta de dados digitais e analógicos e converte-los em sinais digitais que possam ser enviados para um computador através da porta USB. O código instalado e executado no Arduino® efetuará a leitura dos dados nas entradas, e iniciará a conexão serial com o computador e enviará cada um determinado tempo os dados coletados para serem interpretados pelo Processing e apresentados graficamente

O modelo de programação foi equacionado em duas partes distintas, a primeira consiste na programação da placa Arduino® a qual vai capturar os sinais digitais e analógicos simulados em bancada eletrônica do processo no controle com sistema de *Dancer*, e enviar para o computador, e a segunda parte da programação é realizada no próprio computador no *software Processing*, onde os dados recebidos serão processados e representados graficamente.

O modelo de programação do Arduino® foi feita no ambiente indicado pelo site oficial do Arduino® que pode ser baixado gratuitamente. O programa Arduino® é desenvolvido tendo como referência a linguagem C++ com uma sintaxe clássica na declaração das variáveis, com isso temos as referencias de linguagem dividida em estruturas, variáveis, constantes, e funções.

O Código de programação consiste de duas funções básicas, *Setup* e *Loop*. A função *setup* e executada somente uma vez durante o processamento do código, que é responsável em iniciar a comunicação serial com o computador e a porta USB. Já a função *Loop* será executada várias vezes durante funcionamento do código, que fará leituras periódicas dos pinos do Arduino®. Abaixo temos uma figura que representa a programação no ambiente do software do Arduino®1.0 para a leitura dos sinais capturados no ambiente industrial e envio para a comunicação serial.

```
#include "Ultrasonic.h"
#include "DHT.h"

#define TRIG_PIN 12
#define ECHO_PIN 13
Ultrasonic OurModule(TRIG_PIN, ECHO_PIN);

#define DHTPIN 2 // what pin we're connected to
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup()
{
  Serial.begin(57600);
  dht.begin();
  delay(100); // wait a sec for the analog reference to stabilize
}

void loop()
{
```

```

// Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
// Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();

// check if returns are valid, if they are NaN (not a number) then something went
wrong!
if (isnan(t) || isnan(h)) {
  Serial.println("Failed to read from DHT");
} else {
  Serial.println("Hum: ");
  Serial.println(h);

  Serial.println("Tmp: ");
  Serial.println(t);
}

delay(100); // just to slow things down a bit

int valor=analogRead(5);
Serial.println("Pot: ");
delay(100); // just to slow things down a bit

Serial.println(preenche((int)valor, 4));
delay(100); // just to slow things down a bit

Serial.println("Ult: ");
Serial.println(OurModule.Ranging(CM));
delay(100); // just to slow things down a bit
}

String preenche(int valor, int tamanho) {
  String texto;
  char buffer[10];
  sprintf(buffer,"%d", valor);
  texto=buffer;

  for(int i=0; i<(4-strlen(buffer)); i++) {
    texto=" "+texto;
  }

  return(texto);
}

```

**Figura 18 – Exemplo de programa no Arduino®**

Fonte: (De Biasi, 2012)

A programação do *Processing* é responsável pela interpretação dos sinais que são enviados pelo Arduino® na comunicação serial com o computador através de uma porta USB. A seguir uma figura que representa a programação no ambiente do software *Processing* para a leitura e apresentação graficamente dos dados recebidos.

```
import processing.serial.*;

String inBuffer; //dados lidos da serial
Serial port;     //objeto porta serial
int xPos[] = {1, 1, 1, 1}; //posição horizontal (x) de cada sinal
float oVal[] = {0, 0, 0, 0}; //último dado lido de cada sinal
int sinal=1;     //sinal lido: 0-umidade; 1-temperatura; 2-potenciômetro; 3-
ultrassom
int cont=1;

void setup() {
  size(400, 400); //tamanho da janela
  // usa a primeira porta serial disponível; velocidade de 57600
  port = new Serial(this, Serial.list()[0], 57600);
  port.bufferUntil('\n'); //lê dados da serial até encontrar um caractere de nova
linha '\n'
  background(0);
}

void draw() {
  //todo o processamento é feito na função serialEvent()
}

void serialEvent(Serial myPort) {
  // lê uma linha inteira
  String inString = myPort.readStringUntil('\n');

  if (inString != null) {
    // retira os espaços em branco
    inString = trim(inString);

    if (inString.equals("Hum:")) {
      sinal=0;
      stroke(255, 0, 0);
      return;
    } else if (inString.equals("Tmp:")) {
      sinal=1;
      stroke(0, 255, 0);
      return;
    } else if (inString.equals("Pot:")) {
```



```

    sinal=2;
    stroke(0, 0, 255);
    return;
} else if (inString.equals("Ult:")) {
    sinal=3;
    stroke(127, 127, 127);
    return;
}

// convert to an int and map to the screen height:
float inByte = float(inString);
// inByte = map(inByte, 0, 1023, 0, height);
inByte=int(inByte);

print(sinal);
print("-");
println(inByte);

//executa duas leituras completas de cada sensor antes de começar a plotar o
gráfico

if(cont<8) {
    oVal[sinal]=height-inByte;
    cont++;
    return;
}

// desenha a linha
line(xPos[sinal], oVal[sinal], xPos[sinal]+5, height - inByte);
oVal[sinal]=height-inByte;

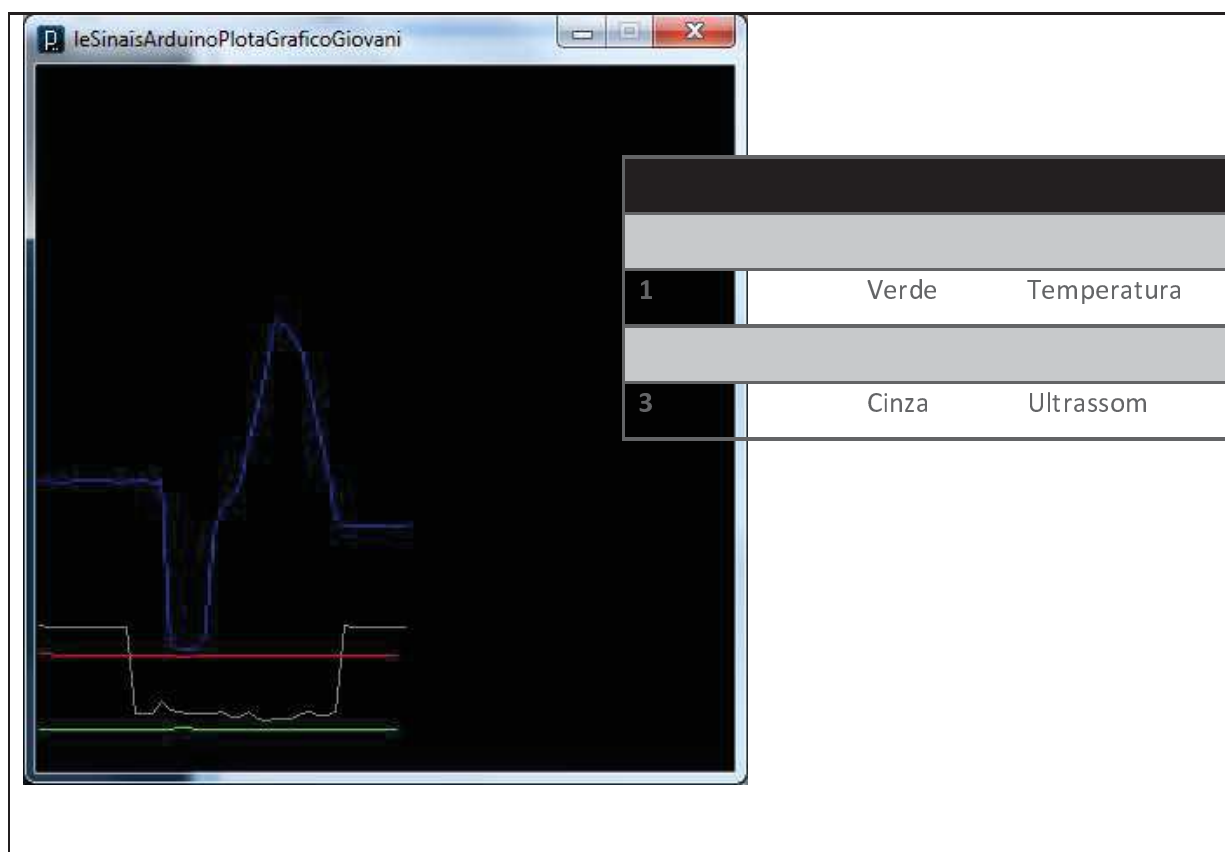
// se alcançou a borda, volta ao início
if (xPos[sinal] >= width) {
    xPos[sinal] = 0;
    background(0);
} else {
    // incrementa a posição horizontal
    xPos[sinal]+=5;
}
}
}

```

**Figura 19 – Exemplo de programa no Processing**  
 Fonte: (De Biasi, 2012)

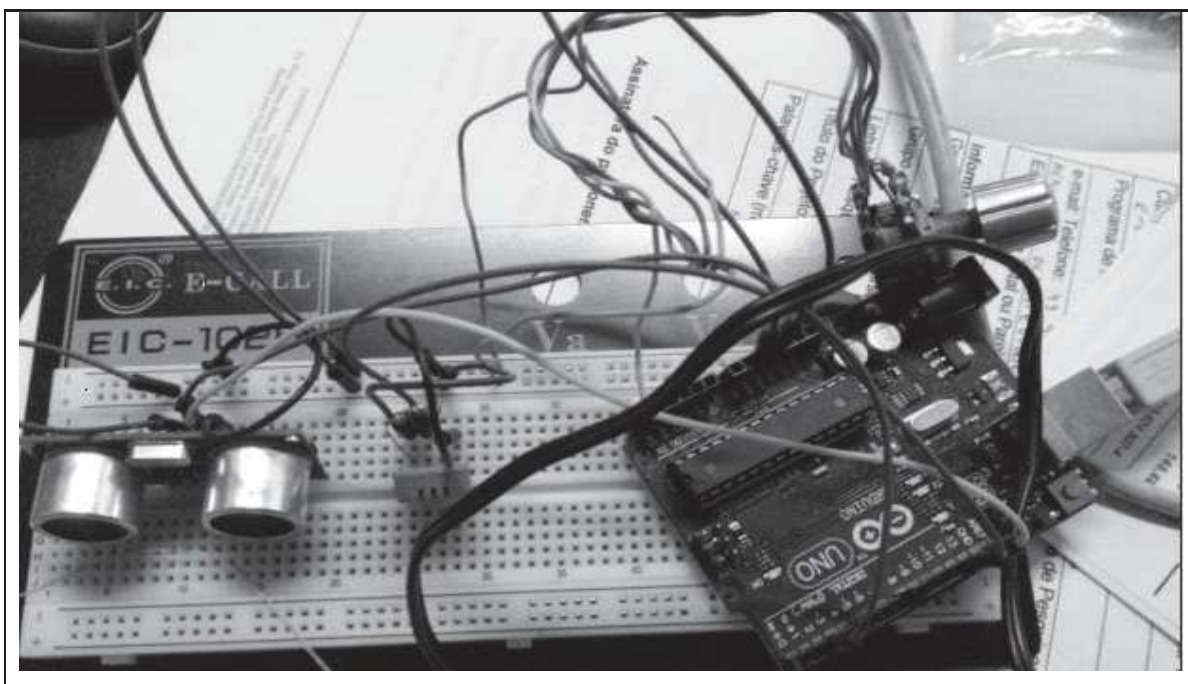
#### 4.5 Realização dos Testes em Bancada Eletrônica

Após construção das linhas de programação do Arduino® e do *Processing* efetuou-se um teste básico em uma placa *proatbord* com a aplicação de sensores que geram sinais digitais e analógicos para testes do sistema montado e acoplado com um computador, nas figuras a seguir é possível verificar o sistema em funcionamento capturando os sinais dos sensores com a placa Arduino® e enviando pelo cabo USB para o computador e apresentando as linhas no gráfico do *processing*.



**Figura 20 – Gráfico de simulação no *processing***

Fonte: (De Biasi, 2012)



**Figura 21 – Montagem física do sistema em bancada**

Fonte: (De Biasi, 2012)

#### 4.6 Apresentação de Resultados

Os testes realizados em bancada no laboratório de eletrônica foram excelentes, apresentaram bons resultados, o comportamento dos sinais analógico gerados pelos sensores, e manipulados pelos acopladores e circuitos eletrônicos interagiram com o Arduino®, e a placa micro processada com o programa gráfico do *Processing* conseguiu realizar as análises para o estudo.

Alguns arranjos de equipamentos conversores de sinais digitais e analógicos encontrados comercialmente, e circuitos eletrônicos de baixo custo e simplicidade de seus componentes e construção, tiveram que ser efetuados para o ajuste de tipos e faixas de sinais entre o sistema de controle a ser monitorado e o Arduino® conseguisse interagir, garantindo o funcionamento sem interferências e complicações. No início deste estudo já mencionados sobre a viabilidade de análise de sinais em tempo real, forneceu uma melhor visão sobre o assunto após a realização de testes, devido o motivo de que sem interferências ao sistema consegue-se monitorar a analisar os sinais com baixo custo e simplicidade.

Maiores dificuldades encontradas tiveram destaque na programação da interface gráfica, inicialmente o desenvolvimento seria com um *software* que nos permitiria uma grande gama de recursos para apresentação gráfica, porém sua programação se tornaria muito extensa e complexa, fugindo da idéia inicial de um sistema simples e fácil de utilização, optou-se por um *software* de maior simplicidade, viabilizando o conceito básico do estudo.

Alguns testes específicos foram realizados em bancada eletrônica com equipamentos similares aos encontrados no sistema de controle industrial por *Dancar*, para melhor entendimento podemos verificar na figura abaixo onde se simulou o trem de pulsos em onda quadrada do equipamento conhecido como *encoder*, que representado na linha azul temos o pulso do canal A e na linha verde o pulso do canal B, mediante a aplicação de uma sobre tensão na alimentação do equipamento de 24Vcc para 32Vcc, mas como o equipamento contém sistemas de proteção contra sobre tensões que atuam mediante de 30Vcc, gerou uma falha forçando os sinais de saída do *encoder* para 0 ou desligado que pode ser observado no gráfico mais precisamente na linha pontilhada, que foi o instante em que a sobre tensão ultrapassou os 30Vcc na alimentação do equipamento.

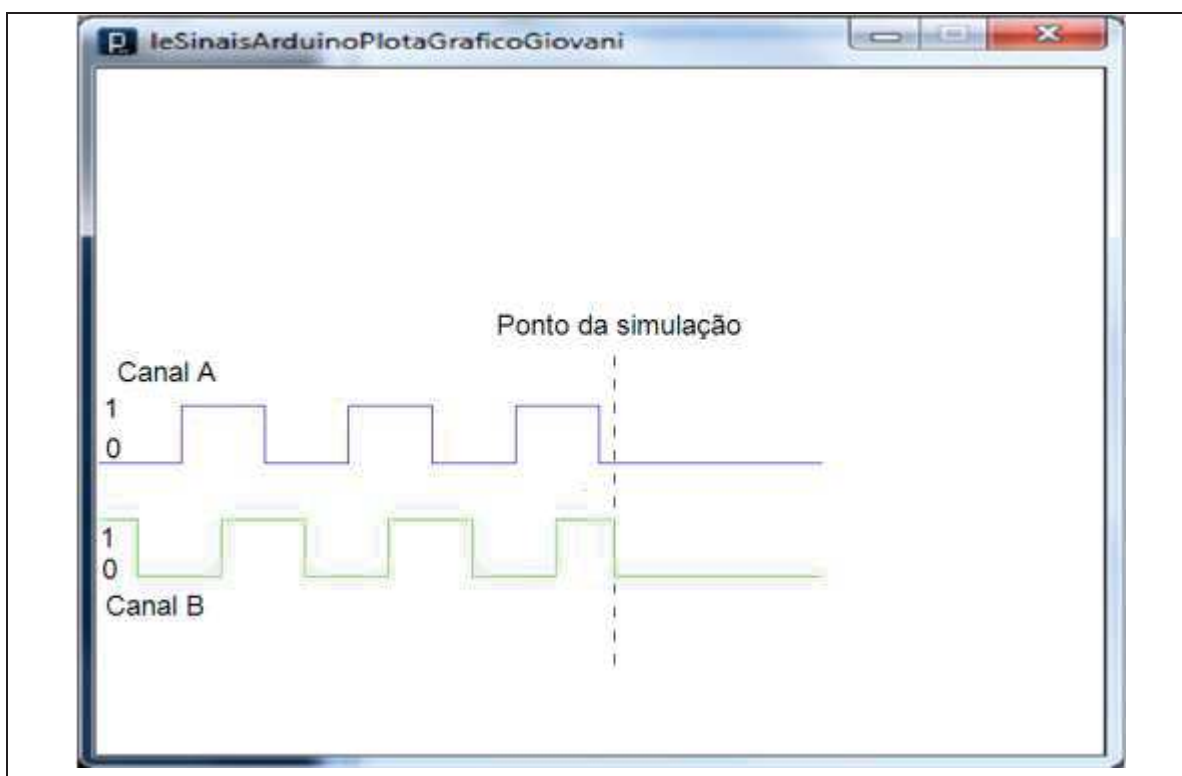


Figura 22 – Teste de sobre tensão no sinal de encoder em bancada

Fonte: (Própria)

Outra simulação também realizada em bancada eletrônica com o equipamento denominado *encoder* foi à redução da tensão de alimentação, onde podemos simular uma sub tensão na alimentação do sistema, para melhor entendimento podemos verificar na figura abaixo onde o equipamento de 24Vcc foi submetido a uma tensão de 10Vcc, gerou uma falha similar a anterior, forçando os sinais de saída do *encoder* para 0 ou desligado que pode ser observado no gráfico mais precisamente na linha pontilhada, que foi o instante em que a sub tensão atingiu os 10Vcc na alimentação do equipamento.

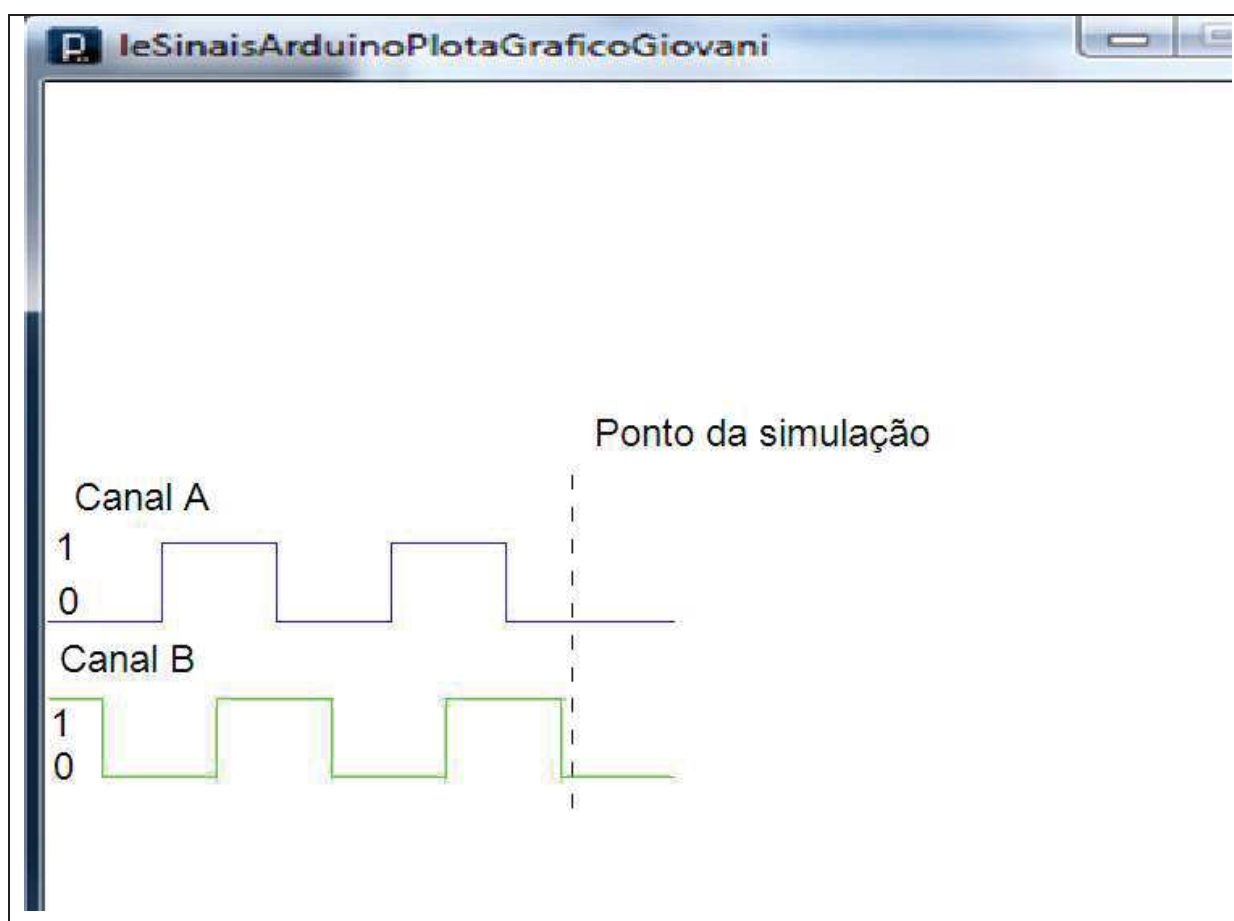
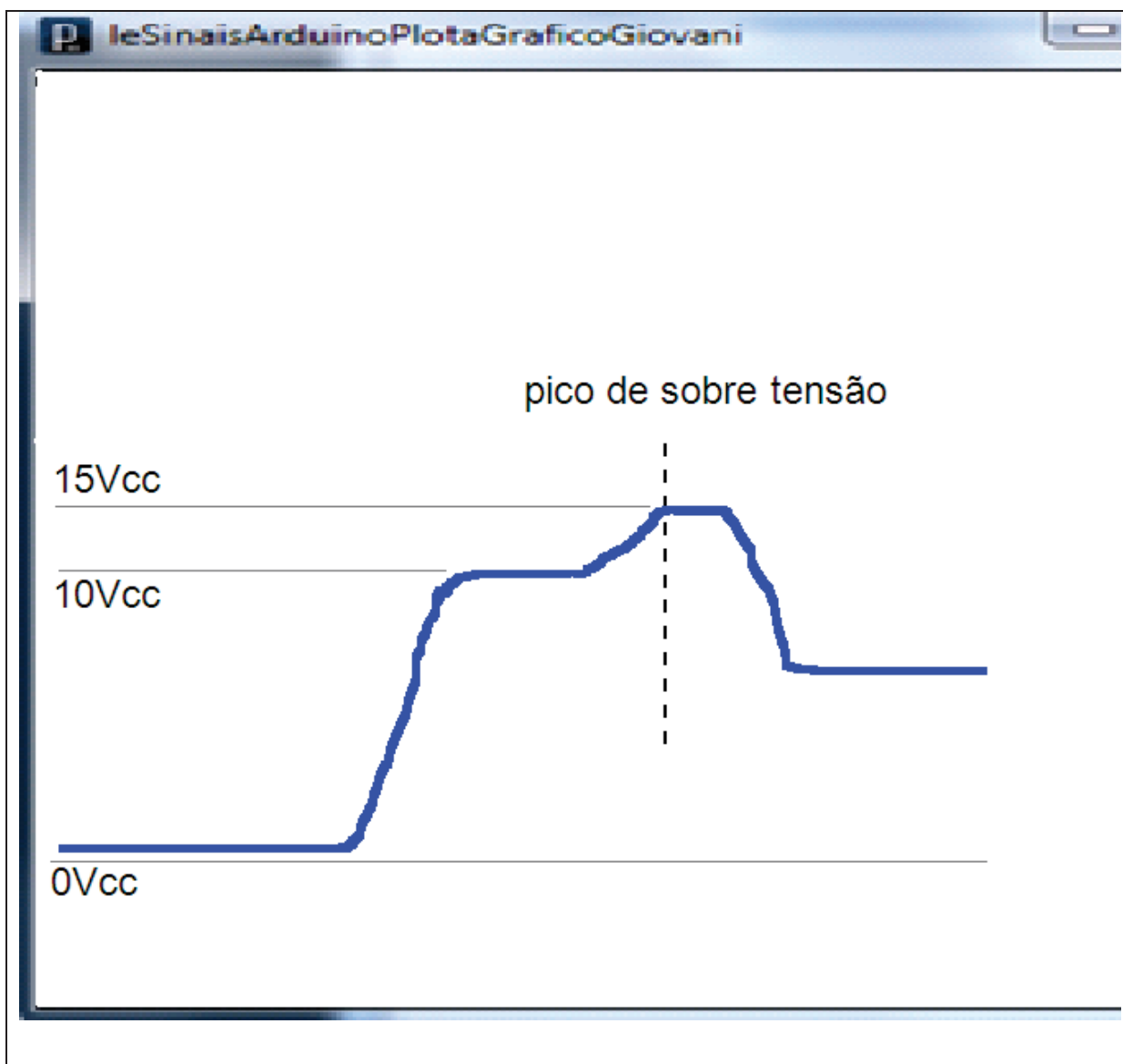


Figura 23 – Teste de sub tensão no sinal encoder em bancada

Fonte: (Própria)

Outros testes específicos foram realizados em bancada eletrônica com equipamentos similares aos encontrados no sistema de controle industrial por *Dancar*, foi a simulação de um sinal analógico gerado por um potenciômetro com a aplicação de uma sobre tensão na alimentação do equipamento de 10Vcc para

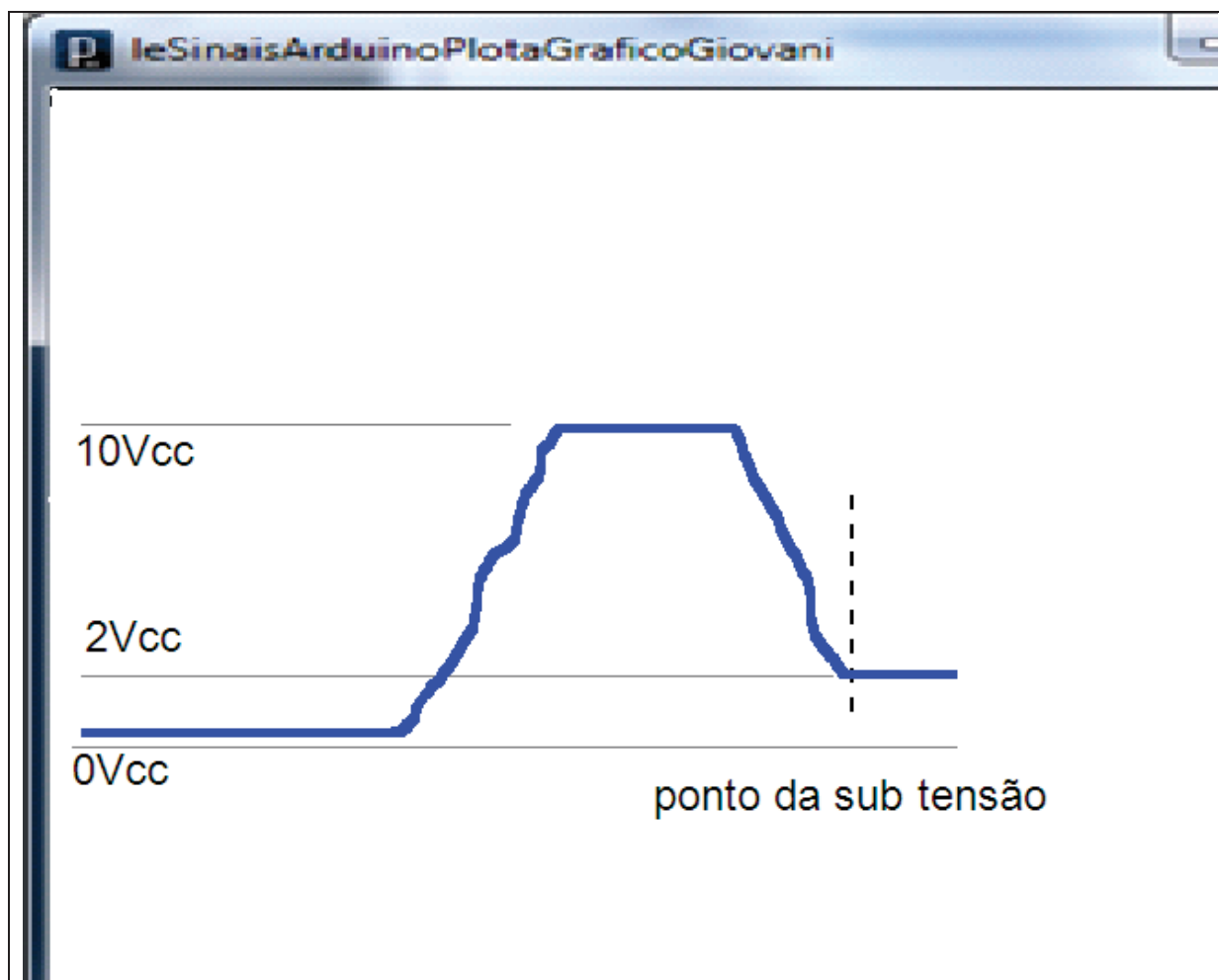
15Vcc, o comportamento do sinal podemos verificar no gráfico da figura a abaixo, destacado na linha pontilhada, que foi o instante em que a sobre tensão atingiu 15Vcc na alimentação do equipamento, e a tensão de saída do potenciômetro aumentou simultaneamente com o aumento da tensão na alimentação.



**Figura 24 – Teste de sobre tensão sinal analógico em bancada**  
Fonte: (Própria)

Um segundo teste com potenciômetro aplicado para o sinal analógico foi de uma sub tensão na alimentação do equipamento de 10Vcc para 2Vcc, onde o resultado do comportamento do sinal podemos verificar no gráfico da figura a abaixo, destacado na linha pontilhada em que instante em que a sub tensão atingiu

2Vcc na alimentação do equipamento, chegando a o resultado, que com a diminuição da tensão de alimentação, a tensão da saída do potenciômetro diminuiu também.



**Figura 25 – Teste de sub tensão sinal analógico em bancada**

Fonte: (Própria)

Para a aplicação em sinais digitais que podem ser gerados por equipamentos como fim de cursos, sensores indutivos, relés acopladores, aplicou-se uma também a lógica de uma sobre tensão de alimentação no valor, 32Vcc, onde a faixa de trabalho do sensor usado é de 10 à 30 Vcc mais especificamente em um sensor indutivo do fabricante Balluff®, mediante o gráfico abaixo o seu comportamento, resultou em manter o sinal digital de saída em nível lógico alto.

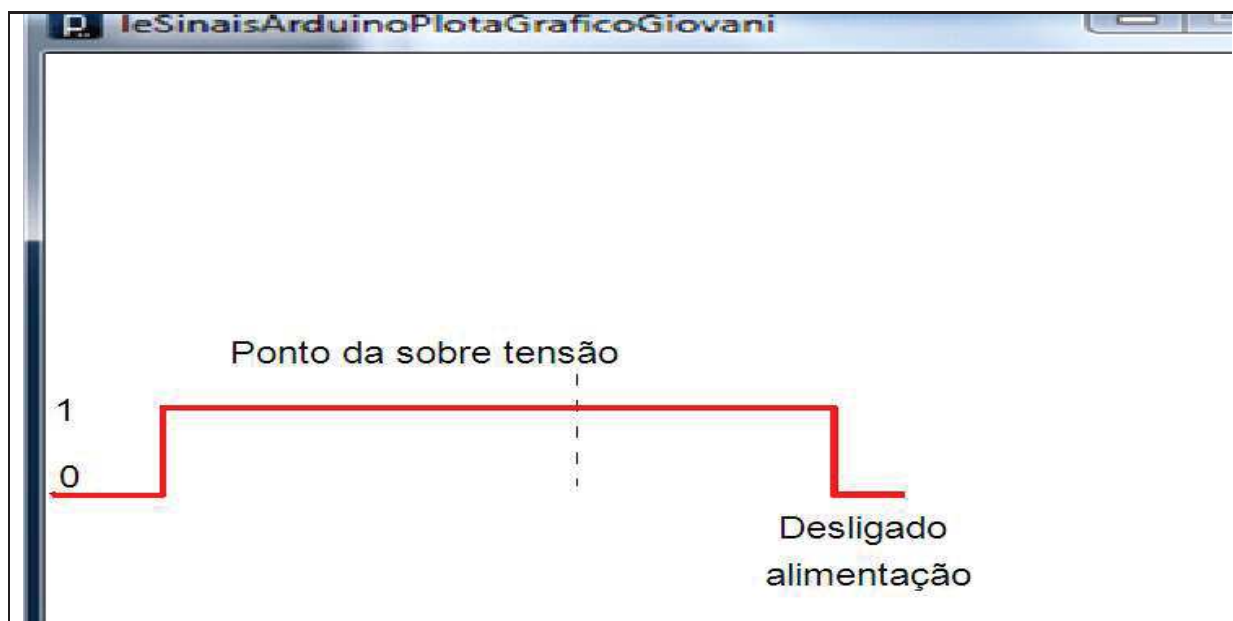


Figura 26 – Teste de sobre tensão sinal digital em bancada

Fonte: (Própria)

Para o sinal digital em sensores aplicou-se a lógica de uma sub tensão de alimentação no valor de 5Vcc, onde a faixa de trabalho do sensor usado é de 10 à 30 Vcc com o mesmo sensor indutivo do fabricante Balluff® usado no teste anterior, mediante o gráfico abaixo na linha pontilhada, o seu comportamento, resultou em forçar o sinal digital de saída para nível lógico baixo.

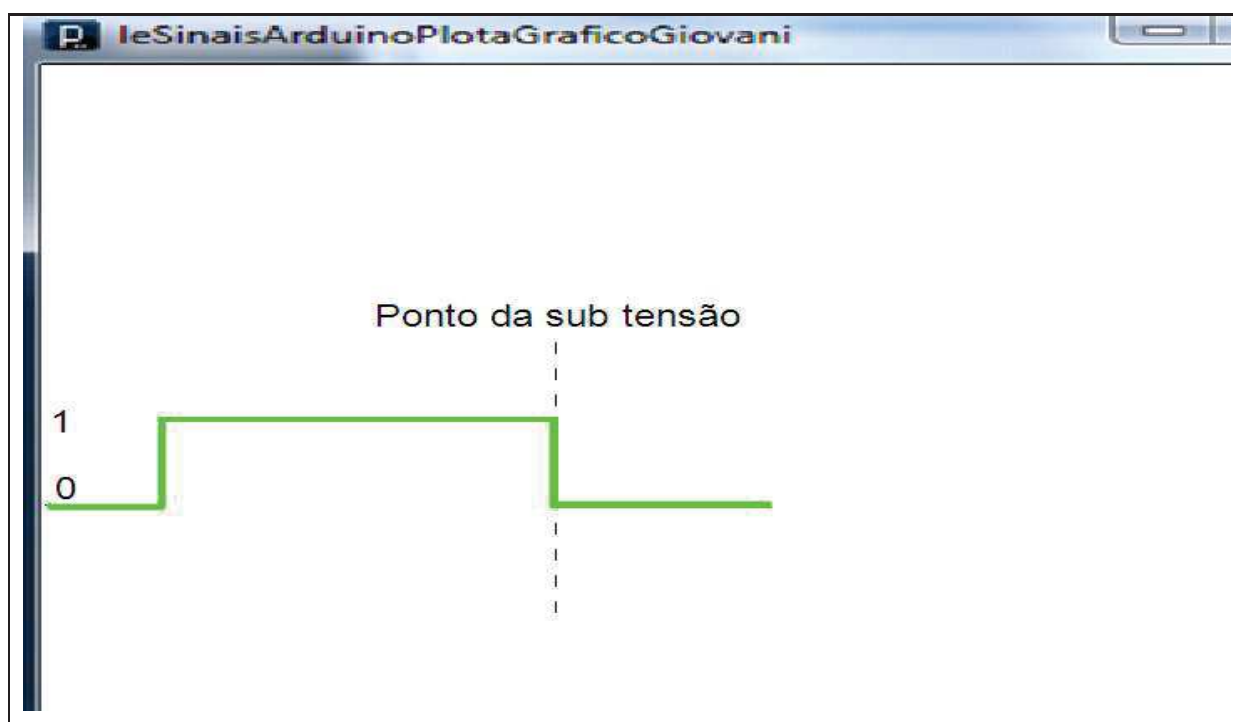


Figura 26 – Teste de sub tensão sinal digital em bancada

Fonte: (Própria)



## CONCLUSÃO

No decorrer do estudo de pesquisa e desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso, observou que sistemas de controle estão cada vez mais cotidianos em tudo o que nos rodeia, na indústria principalmente, a automação é encontrada em grandes proporções, porém o que se percebe é que ainda existe uma grande área a ser explorada, no que se diz em respeito à manutenção e correções de falhas de defeitos nos sistemas, com eficiência e eficácia.

Com a aplicação da placa micro processada Arduino®, responde sim é possível a utilização para análise e captura de sinais digitais e analógicos de processo, do controle com sistema de *Dancer*, por conter flexibilidade nas conexões de sinais e programação, pode ser sugerido o uso em outros tipos de sistemas de controles, como citação, controles de temperaturas em um processo industrial, acionamentos de centro de controle de motores. Porém o uso não fica somente atrelado a plantas industriais, também pode ser aplicado em outros tipos de automação e análises de sinais, como a automação predial que vem ganhando espaço no mercado, em algumas situações em que há possibilidade de acoplamento de sinais pode ser utilizada para a automação embarcada em automóveis.

Com o avanço da tecnologia da informação e o surgimento de vários *softwares* e ambientes de programação, fica uma grande janela para que se possa aplicar o sistema de análise de sinais com o Arduino®. Outros sistemas para a interface gráfica de análises pode ser desenvolvidos, como exemplo no programa *C++ Builder*, *Java*, *Python*, os quais possuem mais recursos gráficos que o *Processing* que foi utilizado neste estudo.

Para futuros interesses fica a disponibilidade de aplicar sistemas de comunicação em redes como *ethernet*, *bluetooth*, *Wifi*, entre outras possibilidades, com a utilização de *shield*, e bibliotecas encontradas na página *web* oficial do Arduino®. Aplicação do sistema de coleta e armazenamento de dados, pode ser também integrada para que os valores capturados pela placa, sejam armazenados na memória do Arduino®, ou em cartão de maior capacidade de memória que pode ser acoplado ao mesmo, e esses valores, sejam analisado em outro momento oportuno.

A grande vantagem da utilização da placa Arduino® para coleta e análise de sinais digitais e analógicos, é a facilidade de uso, e uma gama de periféricos que podem ser acrescentados, para a utilização e desenvolvimento de trabalhos de manutenções corretivas e também preventivas, por ser um sistema *open source* não precisa ser pago licenças par ser usado, e conter um sistema de comunicação serial, que pode ser conectado em computadores e compatível com vários *softwares* para desenvolvimento de interfaces gráficas de análises.

## REFERENCIAS

ARDUINO. Disponível em:

<<http://www.arduino.cc>>.

Acesso em 10 de julho de 2012, às 22h00min.

BEI INDUSTRIAL ENCODERS. Disponível

em:<[http://vikacontrols.com.br/web/datafiles/produtos/Catalogo-](http://vikacontrols.com.br/web/datafiles/produtos/Catalogo-Encoders_Incrementais.pdf)

[Encoders\\_Incrementais.pdf](http://vikacontrols.com.br/web/datafiles/produtos/Catalogo-Encoders_Incrementais.pdf)>. Acesso em: 20 de setembro de 2012, às 18h55min.

CONEXEL. Disponível em:

<<http://www.conexel.com.br/produtos.aspx>>.

Acesso em 01 de setembro de 2012, às 19h36min.

DANFFUS. Disponível em

<http://www.Danffus.com>

Catalogo técnico encoders>. Acesso em:12 de outubro de 2012, às 20h00min.

ELETRICIDADE INDUSTRIAL. Disponível em

<http://www.senairobson.hd1.com.br/motor.pdf>

Motores trifásicos.pdf>. Acesso em:12 de outubro de 2012, às 20h30min.

EVANS, W. Brian. **Beginning Arduino Programming**. 1.ed. New York: Ed. Springer Science and Business Media, 2011.

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO FEUP. **Sinais analógicos e digitais**. Porto, Portugal, 2012. 120p.

FONSECA, Fabrício R. **Sensores (apostila)**. Santos: Universidade Católica, 2006.

DE BIASI, Herculano **Exemplos de linhas de programação** Caçador: Universidade Alto vale do Rio do Peixe, 2012.

INVERSORES DE FREQUENCIA. Disponível em

<http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/inversor1.pdf>

[Inversores de frequencia.pdf](http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/inversor1.pdf)>. Acesso em: 25 de setembro de 2012, às 19h30min.

JUSTEM, Álvaro. **Curso de Arduino®**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2011.

LENZE SE. Disponível em:

<[http://src.lenze.com/lenze-bibliothek/en/\\_start.htm](http://src.lenze.com/lenze-bibliothek/en/_start.htm)>.

Acesso em 29 de agosto de 2012, às 20h13min.

METALTEX. Disponível em:

<<http://www.metaltex.com.br/produtos>>.

Acesso em 11 de setembro de 2012, às 22h30min.

MIOTTO. Disponível em  
<<http://www.miotto.com.br/produtos>>.  
Acesso em 05 de setembro de 2012, às 22h30min.

MORGOLIS, Michael. **Arduino Cookbook**. 1.ed. Gravenstein Highway North, Sebastopol: Ed.O'Reilly media, 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. **Apostila Arduino**. Niterói/RJ, 2010. 23p.

VISHAY. Disponível em:  
<<http://www.VISHAY.com.br>>.  
Acesso em 15 de setembro de 2012, às 19h00min.

WHEAT, Dale. **Arduino Internals**. 1.ed. New York: Ed.Springer Science and Business Media, 2011.