

Sistemas Produtivos e Desenvolvimento Profissional: Desafios e Perspectivas**Desenvolvimento de uma interface para aquisição de dados experimentais utilizando o microcontrolador Arduino UNO**

CLAUDEMIR SANTOS PINTO
Fatec Guaratinguetá – São Paulo – Brasil
claudemir.santos2@fatec.sp.gov.br

FRANCISCO TADEU DEGASPERI
Fatec São Paulo – São Paulo – Brasil
Programa de Mestrado Profissional – CEETEPS
ftd@fatecsp.br

Resumo - Este artigo relata o desenvolvimento de uma interface para aquisição de dados experimentais utilizando o microcontrolador Arduino Uno, sendo que neste experimento utilizou-se um sensor-transdutor termopar do tipo K, o qual gera como saída uma tensão elétrica, a qual é convertida em temperatura por meio da programação realizada no microcontrolador e posteriormente transmitida à um microcomputador por meio da porta serial. Os resultados observados no experimento, ao serem comparados com resultados obtidos por outro tipo de medidor, mostram que esse tipo de dispositivo pode ser utilizado como interface para aquisição de dados experimentais, desde que o arranjo experimental seja adequado ao tipo de sensor.

Palavras-chave: Aquisição de dados, Dados experimentais, Arduino.

Abstract - This article reports the development of an interface for the acquisition of experimental data using the microcontroller Arduino Uno, and in this experiment it was used a sensor - transducer thermocouple type K , which generates as output a voltage which is converted into temperature by programming held in microcontroller and then transmitted to a PC via the serial port. The results observed in the experiment when compared with results obtained by other type of meter, shows that this type of device can be used as an interface for the acquisition of experimental data from the experimental arrangement is suitable to the type of sensor.

Keywords: Data acquisition , Experimental data, Arduino

1. Introdução

Em todo ambiente onde se produz um volume grande de dados em formato analógico através de experimentos em laboratório, faz-se necessária a utilização de ferramentas modernas para a aquisição e manipulação desses dados em formato digital, como a utilização de computadores e sistemas especializados.

Ao longo do tempo, o computador tem se consolidado como ferramenta adequada para apoiar pesquisas de laboratório, devido à sua grande capacidade de armazenamento e processamento, por possuir sistemas de visualização e recursos de conectividades com outros equipamentos o que propicia um maior ganho de produtividade. Em todas as áreas da ciência, seja em Exatas, Humanas ou Biológicas, o computador tem sido um aliado indispensável para o avanço da tecnologia.

Percebe-se também nos dias atuais, uma tendência mundial em se utilizar experimentos de forma virtual, o que significa que o modelo de laboratório experimental também está acompanhando as mudanças de comportamento causadas pela evolução da Tecnologia da Informação. Assim, muitos experimentos produzidos em laboratórios são acompanhados por recursos computacionais, cujos resultados são gerados de forma mais rápida, com maior confiabilidade e disponibilidade.

Nota-se a necessidade de prover as instituições de ensino de recursos para o desenvolvimento das pesquisas e construção do conhecimento. A procura por soluções de baixo custo é uma exigência quando se fala em aquisição de equipamentos e software para as empresas e instituições de ensino, especialmente o ensino público. Essa procura torna-se ainda mais importante quando as soluções disponíveis no mercado são caras e não atendem por completo as necessidades das instituições.

A proposta deste trabalho é demonstrar a partir do desenvolvimento de um sistema de aquisição e tratamento de dados que é possível criar soluções para laboratórios de pesquisa tanto na área de ensino como na indústria sem dispender de muito recurso financeiro. Para esse desenvolvimento foi utilizado o sensor termopar que mede temperatura, porém, qualquer tipo de sensor-transdutor que gere como resposta uma tensão elétrica pode ser utilizado. Como interface de aquisição foi utilizado o microcontrolador Arduino UNO, o qual foi programado por meio de sua IDE, que se encontra disponível no site do fabricante¹. O experimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia do Vácuo (LTV) da Fatec São Paulo.

O sistema funciona da seguinte forma: uma vez tendo sido elaborado o arranjo para o transdutor, o hardware coleta os sinais elétricos, em geral na faixa de 0 V até 5 V, converte esses sinais em valores digitais, que são traduzidos na grandeza que está sendo medida, e em seguida esses valores são armazenados em arquivo. Posteriormente, a mesma interface de software que coletou os dados realiza o tratamento dos mesmos, gerando gráficos e realizando determinação de curvas de ajustes, necessárias a um bom e completo trabalho experimental dentro das áreas de engenharia, química e física, e ainda, podendo ser usado em medicina e biologia.

2. Referencial Teórico

Medição de temperatura

A temperatura é uma das variáveis da engenharia mais comumente utilizada e medida. Ela afeta diariamente todos os ambientes, mas sua definição e medição

¹ <https://www.arduino.cc/>

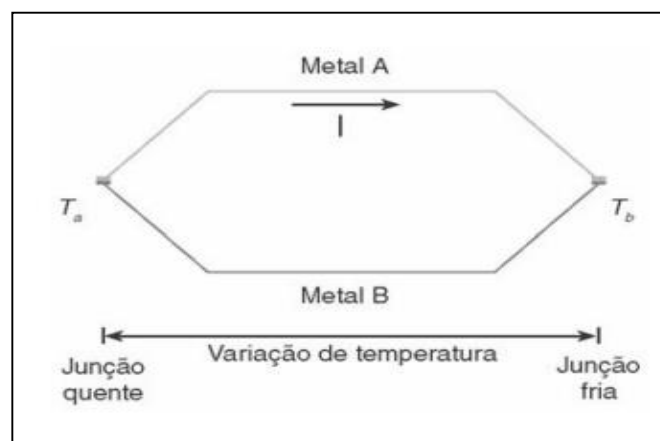
não são coisas simples. De acordo com FIGLIOLA e BEASLEY (2007), a temperatura pode ser definida em termos gerais como a propriedade de um objeto que descreve como mais quente ou mais frio, conceitos que são claramente relativos.

Termopares

Segundo BALBINOT E BRUSAMARELLO (2010), o circuito de Seebeck, denominado par termelétrico ou, comumente, termopar, é uma fonte de força eletromotriz – *fem* (medido em unidades de tensão elétrica) e, normalmente utilizado como um sensor de temperatura. A polaridade e magnitude da tensão dependem da temperatura e do tipo de material que compõe o termopar.

O chamado “efeito Seebeck” foi observado a partir de um experimento em que uma corrente elétrica percorre um circuito fechado composto por dois metais diferentes, quando as junções estão expostas à temperaturas diferentes, conforme figura 1. Neste circuito fechado, surge uma *fem* que depende apenas dos tipos de metais e da temperatura nas junções do termopar.

Figura 1: Representação do efeito Seebeck



Fonte: BALBINOT E BRUSAMARELLO (2010)

A relação entre a *fem* e a diferença de temperatura T entre as junções define o coeficiente de Seebeck, definido por:

$$S_{ab} = \frac{d(fem)}{dT} = S_a - S_b \quad \text{Eq.(1)}$$

sendo que S_a e S_b representam, respectivamente, a potência termoeétrica absoluta entre dois pontos a e b do termopar. Pela definição do coeficiente de Seebeck, percebe-se que ele é inversamente proporcional à T .

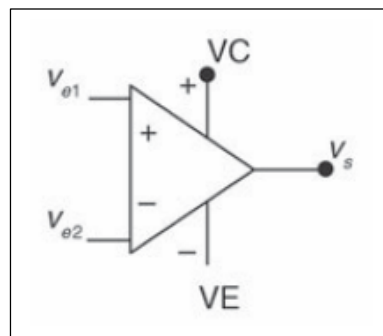
Amplificador Operacional (AMPOP)

De acordo com BALBINOT E BRUSAMARELLO (2010) um amplificador operacional é um dispositivo eletrônico composto por resistências, transistores,

capacitores, entre outros presentes em projetos de condicionadores de sinais, cuja finalidade principal é a de amplificar sinais de entrada. São diversas as aplicações desse dispositivo. De forma geral, é indicado para situações onde são necessários altos ganhos, imunidade ao ruído, impedância de entrada alta e impedância de saída baixa, sem distorção e com estabilidade.

Em condições ideais, o amplificador operacional pode ser representado conforme a Figura 2, onde os terminais (+) e (-) correspondem às entradas do amplificador e têm propriedades de entradas não-inversora e inversora.

Figura 2: Representação de um Amplificador Operacional



Fonte: Balbinot e Bruzamarello (2010)

Plataforma Arduino

O projeto Arduino foi desenvolvido na Itália em 2005 objetivando oferecer uma plataforma de prototipagem eletrônica de baixo custo e de fácil manuseio por qualquer pessoa interessada em criar projetos com objetos e ambientes interativos (ARDUINO, 2011). A plataforma Arduino é composta de uma placa eletrônica (hardware) e de um ambiente de desenvolvimento (software) para criação dos projetos pelos usuários. É também uma plataforma de desenvolvimento open source hardware (OSHW), também chamado de hardware livre, baseado em uma placa de microcontrolador simples, geralmente controladores da marca ATmega que pode ser associada ao conceito de physical computing, ou seja, ao conceito da criação de sistemas físicos, através de hardware e software que interagem e respondem às entradas (inputs) do mundo real.

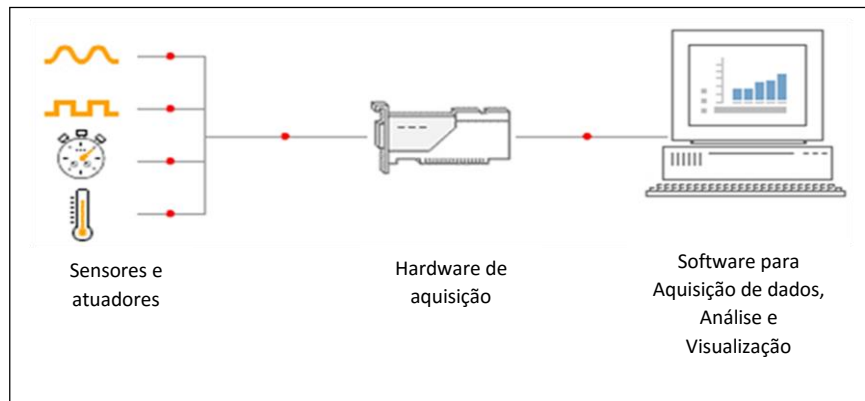
Aquisição e Análise de Dados

O computador tem sido frequentemente utilizado como uma ferramenta que agiliza processos através da gravação de dados e recuperação dos mesmos de forma rápida e confiável. Em vários ambientes de trabalho, o computador tornou-se indispensável devido ao grande volume de dados que são gerados atualmente. Em laboratórios de pesquisa científica, essa conduta não é diferente.

Conforme BOLTON (2009), o termo Aquisição de Dados tende a ser usado frequentemente para sistemas nos quais as entradas dos sensores são convertidas do formato analógico para o formato digital para processamento, análise e

apresentação de resultados por meio de um computador, conforme demonstrado na figura 3.

Figura 3: Representação de aquisição de dados para tratamento em computador



Fonte: Adaptado de National Instruments (2013)

3. Método

Esta pesquisa foi desenvolvida utilizando os recursos cedidos pelo Laboratório de Tecnologia do Vácuo da Fatec São Paulo. Para a realização da pesquisa, foi utilizado o sensor termopar tipo K, que possui capacidade para medição de temperaturas entre $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para verificar a qualidade de aquisição de dados, fez-se uma comparação direta entre valores adquiridos pelo dispositivo objeto desse estudo com valores exibidos no visor do equipamento convencional de leitura dos sensores-transdutores (multímetro).

Desenvolvimento de interface para aquisição de dados:

Numa primeira etapa, foram levantados requisitos necessários para aquisição e tratamento de dados provenientes de sensores que produzem uma tensão elétrica.

Considerando que o sistema inicialmente foi desenvolvido para um termopar do tipo K, cuja tensão gerada varia entre $-6,458\text{ mV}$ e $48,838\text{ mV}$ com uma sensibilidade de aproximadamente $0,47\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, fez-se necessário pesquisar por uma interface que oferecesse recursos com a maior precisão possível.

Sendo assim, foram identificados dispositivos disponíveis para a aquisição de dados. Existem no mercado diversas soluções prontas para aquisição dos dados dessa natureza, como os da empresa National Instruments. Porém, são tecnologias proprietárias, com custo relativamente alto. Buscando uma solução de baixo custo, optou-se pelo desenvolvimento da interface para a captura de dados a partir da placa microcontroladora Arduino UNO combinada com um amplificador operacional MAX31855.

A escolha do Arduino se deu devido à facilidade de acesso ao equipamento, pois trata-se de tecnologia *open source* e de baixo custo, além de oferecer relativa simplicidade no desenvolvimento da aplicação. Já o amplificador operacional MAX31855, embora seja uma solução proprietária, atende às necessidades do projeto a um custo relativamente baixo.

Arduino

Uma vez que o sinal de entrada no Arduino seja garantido através do amplificador operacional, é necessário um software para converter o valor da tensão identificada na grandeza a ser medida. Foi então usada a IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) que é disponibilizada no site do Arduino. Por meio dessa IDE, foi desenvolvida uma aplicação em sua linguagem nativa, que é baseada na linguagem C/C++, para a conversão dos valores de tensão na grandeza medida. Esta aplicação, uma vez tendo sido desenvolvida no computador, é transmitida por meio da porta USB ao *bootloader* (um tipo de memória) do Arduino, onde é gravada e de onde é executada quando o mesmo é ativado. Uma vez tendo realizado esse procedimento, para a aquisição de dados basta conectar o PC ao Arduino por meio da porta USB, que além de transmitir os dados, também alimenta o Arduino.

A placa Arduino UNO possui 6 entradas analógicas que podem ser utilizadas para aquisição de sinais provenientes de sensores que geram uma tensão elétrica. A leitura analógica permite que o Arduino traduza a tensão em valores que variam de 0 até 1023. Isso é realizado por um circuito interno, chamado Conversor Analógico Digital (CAD). O CAD faz a conversão da tensão e seleciona 10 bits de acordo com a tensão, ou seja, resulta em um valor com 10 bits de resolução.

$$2^{10} = 1024 \text{ estados}$$

Para realizar a leitura, deve-se utilizar a função “`analogRead(pino)`”, onde “pino” deve ser o número do pino onde se deseja fazer a leitura. Essa função retorna um valor inteiro de 0 a 1023.

Para converter esse valor em voltagem, foi feito o seguinte cálculo:

$$V = V_a \cdot (5 / 1023) \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde V_a = leitura analógica, 5 é a tensão máxima e 1023 o valor máximo de leitura analógica.

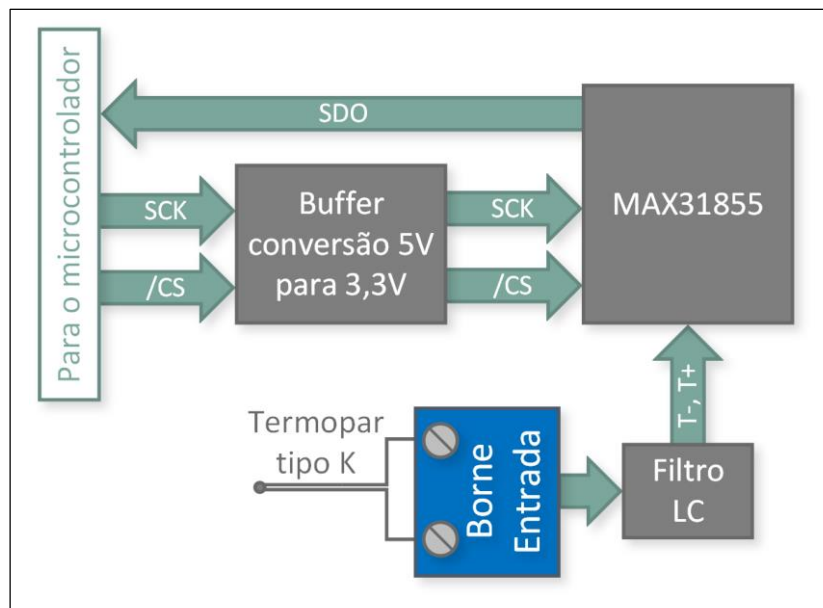
O código foi escrito tendo como referência o termopar tipo K, cujas temperaturas de medição variam entre -200° e 1200° C. Considerando que o Arduino reconhece sinais entre 0 e 5 volts, têm-se como referência que a temperatura mínima é 0 e a máxima 5 volts. Dentro deste espectro é calculada a temperatura, de acordo com a voltagem recebida.

No caso do experimento com o sensor termopar, foi necessária a utilização de um amplificador operacional para que o sinal chegasse até a entrada analógica de forma adequada, ou seja, dentro de uma faixa de 0 a 5 volts e sem interferência de ruídos externos. Existem algumas opções comerciais de amplificadores operacionais desenvolvidos para utilização de termopares no controlador Arduino e o amplificador utilizado nesse arranjo foi o MAX 31855, cujas características são:

- Compensação de junta fria
- Faixa de temperatura de 200°C até 1350°C Resolução de 14 bits ou 0,25° C
- Sensor de temperatura interno de 40°C até 125°C
- Comunicação SPI com entrada de %V ou 3,3V
- Filtro na entrada do Termopar
- Específico para Termopares do tipo K
- Consumo máximo de corrente de aproximadamente 1,5 mA

A figura 4 demonstra a comunicação entre o amplificador operacional e o microcontrolador Arduino UNO:

Figura 4: Diagrama de blocos do amplificador operacional MAX31855



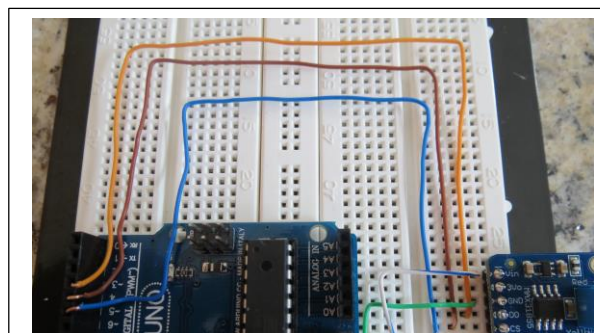
Fonte: CIRCUITAR(2014)

Onde tem-se:

- /CS – Chip Select barramento SPI
- SCK – Linha de clock barramento SPI
- SDO – Linha de dados Barramento SPI

A alimentação é feita pelo pino 3V3 com intervalo de 3V até 3,6V e os pinos de entrada /CS e SCK funcionam com tensões de 5,0V ou 3,3V. O pino de saída SDO tem nível lógico de 3V3 e é 100% compatível com os níveis de tensão aceitos pelo Arduino. O pino GND serve como tensão de referência. A figura 5 apresenta como ficou a conexão entre o amplificador operacional MAX31855 e o Arduino:

Figura 5: Conexão do MAX31855 ao Arduino



Fonte: os autores

Fonte: elaborado pelos autores

Após a conexão foram realizados testes de medição de temperatura utilizando um Termopar do tipo K. O termopar foi aquecido e resfriado ao longo de 1 minuto e nesse intervalo os dados foram coletados para observação a cada 1 segundo. A programação realizada no Arduino precisou da biblioteca de funções “Adafruit_MAX31855.h” fornecida pelo fabricante do MAX31855, para gerar o valor da temperatura em graus centígrados. Como resultado foi exibido um contador de tempo (s) e o valor da temperatura (T) em graus Celsius separados por um ponto e vírgula. Esta informação é enviada à porta serial e fica disponível para aquisição.

4. Resultados e Discussão

Durante a pesquisa, pôde-se observar um método manual de aquisição e tratamento de dados experimentais realizado com medição de temperatura por termopares ligados à medidores digitais, onde os valores mostrados nos medidores eram filmados e posteriormente visualizados e digitados em uma planilha eletrônica, consumindo um tempo extra após a realização do experimento. Este método, além de ser mais demorado, apresenta maior possibilidade de erro no momento de digitar os valores observados.

Por meio do modelo proposto, alguns experimentos foram realizados com o uso de um sensor termopar tipo K conectado ao Arduino e, utilizando o amplificador operacional MAX31855, medindo a temperatura da água aquecida por uma resistência durante o período de aproximadamente 120 segundos. Para comparar a medição, foi montado um arranjo utilizando um medidor digital Minipa MT-405, também acoplado à um termopar tipo K, conforme figura 6.

Figura 6: Arranjo para comparação de valores



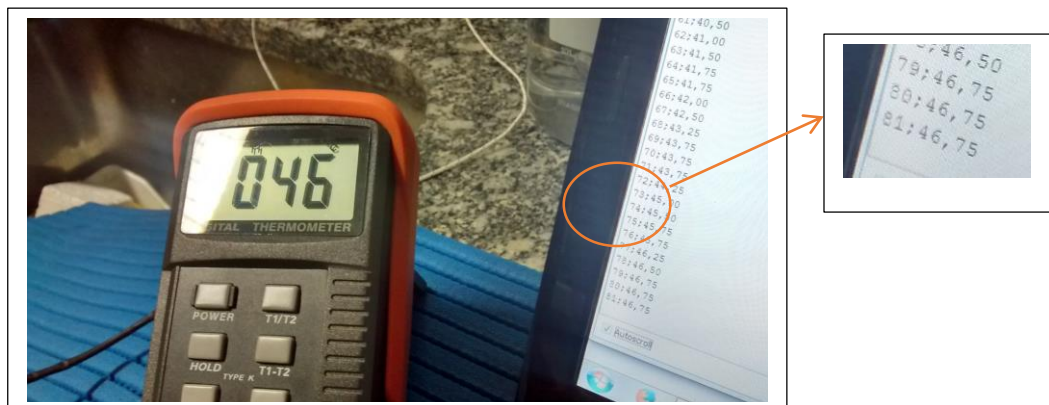
Fonte: elaborado pelos autores

Simultaneamente ao experimento, foi feita a coleta e armazenamento dos dados em arquivo para posterior tratamento. O tempo de duração do experimento foi o tempo necessário para a aquisição e armazenamento dos dados, sem que houvesse nenhum tipo de interferência manual. O experimento durou cerca de 120 segundos e a temperatura oscilou entre 19° e 60,25°C durante esse intervalo. A coleta dos dados ocorreu a cada 1 segundo.

Uma vez tendo realizado a aquisição dos dados no sistema proposto e, simultaneamente, em igualdade de condições com outro medidor digital (multímetro), pode-se observar que os valores são equivalentes. Deve-se ressaltar que no sistema proposto é fácil verificar a mudança da temperatura a cada 0,25° C ou, com sensibilidade de 14 bits do termopar.

Verifica-se então que, os valores apurados pelos dois métodos foram equivalentes, observando-se apenas que os resultados do sistema de medição proposto apresentam duas casas decimais e o outro medidor digital apresenta apenas o valor inteiro, conforme figura 7.

Figura 7: Comparativo entre valores apurados



Fonte: elaborado pelos autores

5. Considerações finais

Uma vez tendo realizado comparações entre os resultados obtidos pelo sistema de aquisição proposto e, outros dispositivos de medição, percebeu-se que os resultados são equivalentes, o que permite concluir que é viável utilizar o microcontrolador Arduino UNO como interface para aquisição de dados desde que os sensores gerem como resultado um sinal elétrico entre 0 e 5 Volts e os arranjos sejam devidamente elaborados de acordo com cada tipo de experimento. Cada

experimento deve ter seu arranjo montado de forma a atender às características de cada sensor/transdutor, ou seja, adequar a leitura dos dados à tensão de saída dos sensores seja amplificando ou reduzindo a tensão, portanto, um conhecimento básico de eletrônica é necessário. No experimento realizado, foi montado um arranjo para leitura de um único termopar, porém, o Arduino UNO comporta a utilização de até 4 amplificadores operacionais do tipo MAX31855, ou seja, é possível fazer a leitura de até 4 termopares simultaneamente. A linguagem de programação do Arduino contempla intervalo de no mínimo 1 milissegundo, portanto esse é o intervalo mínimo entre a leitura de cada porta serial ou analógica.

Referências

ARDUINO Homepage. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/>>. Consultado em: 10 de Outubro de 2013

BALBINOT, A. Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*, 2ª Edição, LTC, 490 p.

BOLTON, W. *Mecatrônica uma abordagem multidisciplinar*, 4ª Edição, São Paulo, Bookman, 2008, 664p.

FIGLIOLA, R.S.; BEASLEY, D.E. *Teoria e projeto para medições mecânicas*, 4ª Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2007, 490p.

NATIONAL INSTRUMENTS. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/8534/pt/>>. Consultado em 10 de novembro de 2013.