ADC: Analog-digital converter, 5

ARM Advanced RISC Machine, 7

BBB BeagleBone Black, 7

CPU Central Processing Unit, 4

CTAI Centro de Capacitação Tecnológica em Automação Industrial, 9

DAC Digital-Analog Converters, 5

DAQ Data acquisition system, 2

DC Direct Current, 11

DSI Display Serial Interface, 8

eMMC embedded MultiMediaCard, 11

GPU graphics processing unit, 7

HDMI High-Definition Multimedia Interface, 8

I/O input & output, 8

I²C Inter-Integrated Circuit, 8

JTAG Joint Test Action Group, 11

LDO Low Dropout Regulator, 11

NI National Instruments, 4

PCI Peripheral Component Interconnect, 2

PCI-e PCI-express, 2

PRU Programmable Real-Time Unit, 7

PWM pulse width modulation, 8

RAM random access memory, 8

rev. revision, 10

SD Secure Digital Card, 8

SOC System on Chip, 5

SPI Serial Peripheral Interface, 8

UART Universal asynchronous receiver/transmitter, 8

USB Universal Serial Bus, 3

# Introdução

Um sistema de aquisição de dados, ou DAQ (Data acquisition system), é um dispositivo, ou um conjunto deles, capaz de coletar, armazenar e distribuir uma determinada informação de tal forma que esta, posteriormente possa ser manipulada ou utilizada para entender melhor um certo fenômeno. Na prática esses sistemas são utilizados para capturar dados de uma determinada variável física de um processo, geralmente vinda de um sensor.

## Um breve histórico

Inicialmente os sistemas de aquisição de dados eram dispositivos eletromecânicos que mostravam uma determinada grandeza física em um visor analógico e registravam as mesmas em papéis ou fitas magnéticas. Estes primeiros aparelhos que registravam os dados de maneira independente ficaram conhecidos como *data loggers*. Atualmente o uso de data loggers ainda é bastante comum, por serem mais simples e robustos, entretanto, com o avanço da eletrônica e com o advento dos computadores surgiram novas classes de equipamentos que capturam dados, dentre eles, os que podem ser conectados a PCs e trabalham em conjunto com *softwares* de engenharia e matemática, como MATLAB e LabVIEW, também conhecidos como PC-based data acquisition equipment (MEASUREMENT COMPUTING CORPORATION, 2012).

Os primeiros *PC-based DAQs* surgiram na década de 60, inicialmente utilizado pelas grandes indústrias e centros de pesquisa. Entretanto, a partir da década de 90, com a popularização dos computadores pessoais, surgiram os primeiros DAQs na forma de placas de extensão para computadores utilizando *slots* de extensão PCI[[1]](#footnote-1) (Peripheral Component Interconnect). Hoje em dia os *slots* PCI evoluíram para o padrão PCI-e (PCI-express), um barramento com elevadíssima taxa de transferência de dados, podendo chegar a 32Gbps para o padrão PCI-e 4.0 (PEREIRA, 2012). As placas PCI ainda existem, mas estão entrando em desuso, pois todas as placas-mãe atuais vem somente com o padrão mais moderno. Na figuraFigura 1 tem-se dois modelos de DAQs na forma de placas de extensão para computadores com o padrão PCI (Esquerda) e o padrão PCI-e (Direita).

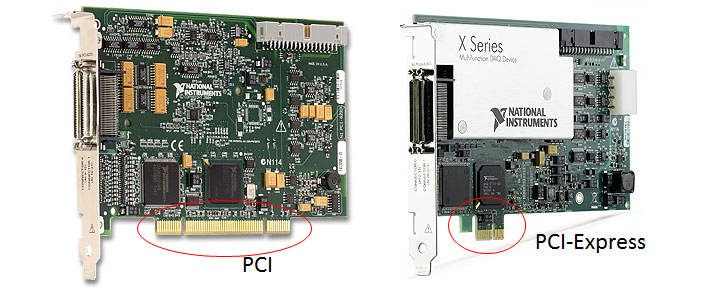


Figura 1: Placas PCI e PCI-Express da National Instruments (NI, 2016).

Os modelos de DAQs na forma de extensão de placas para PCs foram bastantes comuns na década de 90, porém estas classes de dispositivos podem sofrer interferência eletromagnética e eletroestática devido as máquinas rotativas dos computadores, como coolers, e a própria estrutura de barramentos do computador, necessitando de um sistema de proteção contra estes tipos de interferência. Atualmente os fabricantes vem disponibilizando sistemas de aquisição de dados em uma caixa separada do computador, garantindo um isolamento melhor em relação as interferências citadas. O fato de estar externo às máquinas de análise, permite, também, uma maior portabilidade e menos restrição de espaço, podendo ser utilizado em conjunto com notebooks, não se limitando apenas a uma máquina, e ainda, em alguns casos, permite a comunicação entre DAQs a metros ou quilômetros de distância do seu PC de análise, por exemplo, a distância entre o chão de fábrica e a sala de controle.

Estas caixas separadas do computador só foram possíveis com a evolução dos protocolos de comunicação, principalmente àqueles relativos ao PC e seus periféricos externos. Os primeiros dispositivos isolados dos computadores, ou stand-alone, utilizavam principalmente a comunicação serial RS-232 e suas variantes, como o RS-485; este último mais no meio industrial.

Com o tempo surgiram protocolos de comunicação com alta largura de banda, como a USB (Universal Serial Bus), a partir da versão 2.0, a Ethernet e redes sem fio de alta velocidade como Wi-Fi, permitindo o surgimento de data acquisitions stand-alone de alta velocidade e vários canais. Nas industrias há, ainda, muitos dispositivos que utilizam os padrões de conexão mais antigo, entretanto nos escritórios, onde a troca de equipamentos é bem mais frequente, aparelhos com protocolos antigos estão cada vez mais escassos. Portanto, para DAQs que funcionam em escritórios e centros de pesquisa utilizar padrões de comunicação modernos é uma necessidade devido, principalmente, a compatibilidade, pois não está cada vez mais raro encontrar computadores com porta serial, por exemplo.

## Situação atual dos DAQs

Historicamente os sistemas de aquisição de dados foram criados para atender a necessidade de grandes indústrias e centros de pesquisa. Estes tipos de equipamentos, por sua vez, nunca foram baratos, demanda de equipamentos de alta qualidade, com condições de operação mais severas e, principalmente, devido ao grande poder de compra dos clientes. Por isso, os maiores fabricantes destes dispositivos entregam soluções com preços pouco convidativos e, quase sempre, com software e hardware proprietários.

Para exemplificar, a NI (National Instruments), grande fabricante do ramo, vende DAQs que variam de à , segundo o site oficial da loja no Brasil (NI, 2016). Com o uso de software e hardware proprietário é comum muitos fabricantes praticarem venda casada, onde, para ter uma experiência completa o cliente deve comprar diversos outros produtos além do de interesse. É possível observar esta prática no anuncio da DAQ Instruments, onde o interessado deve comprar o pacote do DAQ e as licenças de softwares. Detalhe, sozinho o aparelho custa e o pacote , ou seja, mesmo com o desconto de do pacote, custa mais que o triplo do equipamento sozinho.

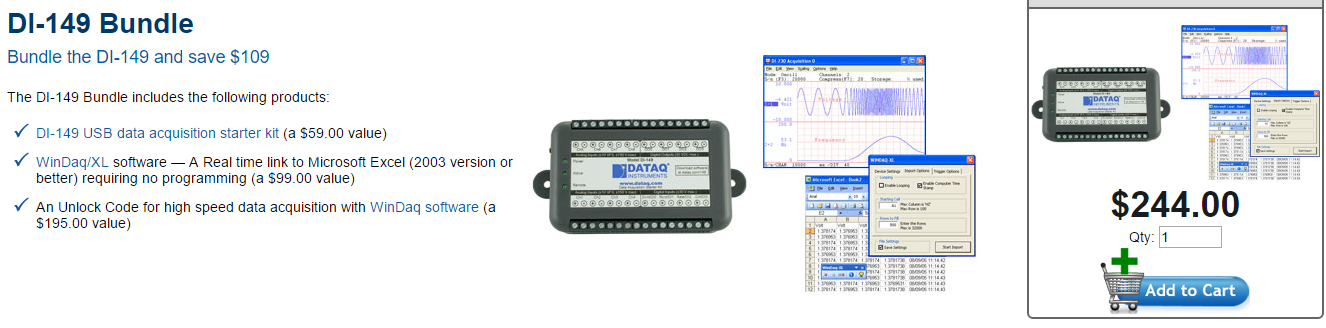


Figura 2: Exemplo de anúncio de venda casada do Kit DI-149 .

## Novas soluções

Na topologia padrão de um DAQ conectado a um computador é necessário converter o sinal analógico, geralmente vindo de um sensor, para dados digitais, de tal forma que possa ser reconhecido pelo computador. Esses dados posteriormente serão enviados através de uma interface de comunicação entre o computador e o DAQ. Para que tudo isso seja possível, existe uma CPU (Central Processing Unit) capaz de gerenciar os dados de entrada do ADC (Analog-digital converter) e a interface de comunicação. Um esquemático desta topologia pode ser visto na figuraFigura 3.

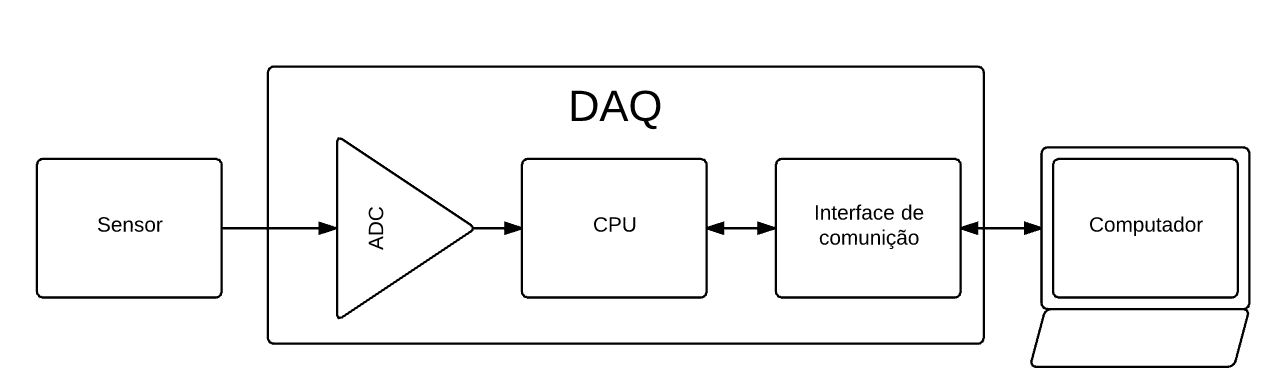


Figura 3: Esquemático de um DAQ conectado a um computador (Próprio Autor).

Na verdade, a topologia do DAQ representado na figuraFigura 3 é algo bastante comum na eletrônica embarcada, por isso, já vem embutida em alguns sistemas embarcados. Sistemas embarcados são dispositivos feitos para um propósito específico, desde o controle de um elevador ao gerenciamento de um instrumento de aquisição de dados. Nestes sistemas é comum o uso microcontroladores, que são computadores dedicados àquela tarefa exclusiva. Muito microcontroladores, além da CPU e memória, vem diversos periféricos como sistemas de comunicação com o meio externo, ADCs, DACs (Digital-Analog Converters) embutidos em um único encapsulamento. Essa integração de diversos periféricos em um único chip deixa o projeto mais simples e barato. Por isso, é cada vez mais comum os fabricantes disponibilizarem sistemas completos em um único encapsulamento. Este conceito é conhecido como System on Chip, os famosos SOCs, que estão embarcados nos mais diversos dispositivos, até mesmo em celulares.

Os primeiros microcontroladores surgiram no final do século passado. Inicialmente eles não eram muito acessíveis, tanto na questão de preço quanto na complexidade de programação e desenvolvimento. Muitos deles tinham que ser programados em assembly*[[2]](#footnote-2)* por causa da baixa memória disponível. Entretanto, com o tempo, os novos modelos vieram com mais memória, mais poder de processamento e periféricos mais avançados. Junto a isso, surgiram novas ferramentas e compiladores, facilitando bastante o desenvolvimento nestes dispositivos para uso específico.

Uma grande revolução neste sentido ocorreu em meados de 2005, quando um grupo de pesquisadores da Itália propuseram um sistema embarcado de baixo custo, fácil utilização e código aberto, conhecida como Arduino. O Arduino é uma plataforma de prototipagem completa incluindo o hardware e software para isto. Do lado do hardware, além do microcontrolador, ela vem com todos os circuitos externos para o seu funcionamento, incluindo fonte de alimentação, regulador de tensão oscilador externo, entrada USB e pinos de extensão (BANZ, 2012). Do lado do software o Arduino dispõe de uma linguagem de programação que abstrai os elementos de hardware do microcontrolador, portanto é possível programar na plataforma sem precisar alterar nenhum valor de registradores diretamente no código, pois operações de baixo nível como estas, são feitas em background pelo firmware pré-instalado na memória do microcontrolador.

O sucesso da placa de desenvolvimento veio principalmente do fato de ser código aberto e da facilidade de utilização, que atraiu diversos entusiastas, “hobbistas” e profissionais da área, se tornando uma das maiores comunidades, se não a maior, de sistemas embarcados no momento em que esta monografia está sendo escrita. De uma forma geral, o Arduino, além de aumentar o número de pessoas interessadas em eletrônica, aumentou a quantidade de projetos e a velocidade com que eles eram feitos, possibilitando a criação de diversas invenções como o tênis que amarra sozinho (BLAKEBEVIN, 2010) e impressoras 3D.

Hoje existem diversos fabricantes que fazem módulos de expansão para o Arduino conhecidos como shields. Existem shields para tudo: controle de motores relés, conexão Ethernet, Wi-fi, Bluetooth, dentre outros. Com os módulos e o Arduino em mãos o usuário só precisa de conectores, criatividade e programação para criar ideais fantásticas como as citadas no parágrafo anterior, sem a necessidade de fazer as placas de circuito impresso, que dão tanto trabalho, na fase de desenvolvimento.

Depois que o Arduino se tornou popular diversas organizações e empresas resolveram criar suas placas de desenvolvimento open source. Na mesma época em que o Arduino foi criado surgiram os primeiros smartphones baseado em telas touch-screen. Junto a eles, surgiram também, os SOCs com processadores ARM[[3]](#footnote-3) (Advanced RISC Machine) e GPUs[[4]](#footnote-4) (graphics processing unit) de baixo consumo que permitiu aliar o baixo consumo, baixa dissipação de calor, tamanho portátil e alto desempenho em um único chip. Em 2008 a Texas Instruments, uma empresa privada que desenvolve diversos produtos semicondutores como microcontroladores e SOCs com arquitetura ARM para celulares, resolveu criar a BeagleBoard em parceria com a Digikey e a Element14, duas empresas do ramo de varejo eletrônico nos EUA. A ideia era demonstrar o poder do SOC OMAP3530 em uma placa de desenvolvimento do tamanho de um cartão de crédito, capaz de rodar uma distribuição Linux portada para ARM, incluindo os aplicativos preparados para este sistema operacional. A empreitada era uma das pioneiras do ramo e poderia ser promissora se não fosse pelo preço de que não a fez decolar.

Os dispositivos baseados em e-Linux[[5]](#footnote-5) (Embedded Linux) só se tornaram popular quando a fundação Raspberry Pi resolveu criar um produto de mesmo nome por apenas 35 dólares, em fevereiro de 2012. A ideia da fundação era criar uma plataforma de baixíssimo custo que ajudassem as crianças a aprender a programar (MACHADO, 2012). Hoje o Raspberry Pi é de longe a e-Linux board mais vendida, e também, com a maior comunidade.

Junto ao sucesso do Raspberry, diversas empresas e fundações criaram suas plataformas open source com Linux embarcado, ou atualizaram suas antigas soluções, como foi o caso da empresa criadora do BeagleBoard. Assim aproveitando a onda dos computadores single board, a Texas Intruments criou o BeagleBone Black O grande diferencial deste computador em relação ao Raspberry Pi não é o poder de processamento, o BBB (BeagleBone Black) tem 65 pinos de extensão, um microcontrolador auxiliar para programação em tempo real, o PRU (Programmable Real-Time Unit), e muitos mais periféricos que o Raspberry Pi. Para efeito de comparação, na tabelaTabela 1, tem-se o comparativo entre BeagleBone Black, Arduino Yun, uma das versões do Arduino com Linux embarcado, e o Raspberry Pi.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Arduino Yun** | **BBB** | **Raspberry Pi** |
| CPU | MIPS32 | ARM Cortex-A8 | ARM1176 |
| CPU Freq. | 400Mhz | 1Ghz | 700Mhz |
| Microcontrolador | ATmega32U4 | PRU | Não tem |
| Controlador Freq | 16Mhz | 200Mhz | - |
| RAM | 64Mb | 512Mb | 512Mb |
| GPU | Não tem | PowerVR SGX530 | Broadcom VideoCore IV |
| Memória interna | 16Mb | 4GB | Não tem |
| Memória externa | Micro SD | Micro SD | SD |
| I/O | 20 | 65 | 17 |
| Ethernet | 10/100 Mbit | 10/100 Mbps | 10/100 Mbps |
| ADC | 12x 10bits, 0-5V | 7x 12bits 0-1,8V | Não tem |
| PWM |  |  |  |
| UART |  |  |  |
| SPI |  |  |  |
| I²C |  |  |  |
| USB host |  |  |  |
| USB client |  |  | Não tem |
| Video | Não tem | Micro HDMI | HDMI, RCA, DSI |
| Audio | Não tem | Micro HDMI | HDMI, P2 |
| Preço |  |  |  |

Tabela 1: Comparação entre os e-Linux board open source mais usados no mercado (DICOLA, 2014).

Pela tabela, percebe-se que o BBB é o único concorrente que avalia o alto poder de processamento com a grande quantidade de periféricos e I/O (input & output). A quantidade elevada de I/Os permitiu a fabricante do BeagleBone criar o conceito de placas de expansão para a e-Linux board conhecidas como capes, semelhante aos Shields disponíveis para Arduino.

O BeagleBone Black quando lançado fez um relativo sucesso, mais que o seu antecessor, principalmente por causa da nova política de preço, seu microcontrolador integrado, a quantidade generosa de I/Os e seus periféricos. Entretanto, isso não foi o suficiente para desbancar o Raspeberry Pi. Parte disso é devido a forma de como as e-Linux boards são utilizadas. A maioria das aplicações dos single board computers está na área da computação, como na criação de pequenos servidores, centrais de emulação, media centers, câmeras de vigilância, dentre outros. Para isso, as poucas portas do Raspberry Pi são o suficiente, quando há a necessidade de alguma aplicação em tempo real, é comum utilizá-lo em conjunto com algum dispositivo dedicado como um Arduino, por exemplo.

Outro motivo para o BeagleBone Black não ter desbancado o Raspberry, foi o fato do primeiro ter sido lançado tarde. Em 2013, quando foi lançado, a comunidade do Pi já estava grande e já existiam outros concorrentes como a Cubie Board. Além disso, as capes que poderiam ser um grande diferencial são caras e sem muita variedade. Mesmo assim, o BBB é um dos singles board computers mais utilizados, mas longe de ser o mais popular, e ainda, o conceito das capes não engrenou como a fabricante previa.

## Objetivo deste trabalho

O CTAI (Centro de Capacitação Tecnológica em Automação Industrial) é um centro da UFBA com laboratórios destinados ao desenvolvimento de atividades de pesquisa e academia. Neste centro houve a demanda de novos dispositivos de aquisição de dados. O método tradicional seria adquirir estes aparelhos através de uma fabricante tradicional como a National Intruments, mas com o baixo custo da eletrônica embarcada, optou-se por esta opção, pois além de economizar, poderá gerar novas tecnologias relativas aos DAQs, até então, carente no Brasil.

Embora o BeagleBone Black tenha os seus contras, ele ainda é uma das melhores opções para construir um protótipo de um DAQ moderno. Esta plaquinha contempla um ADC de alta qualidade em relação aos outros da categoria, uma CPU de alto desempenho e interfaces de comunicação modernas, acessíveis e com alta largura de banda.

Este trabalho, então, propõe provar que um BeagleBone Black pode ser utilizado como um dispositivo de aquisição de dados acessível aos computadores de escritórios e com taxa de aquisição e número de canais comparáveis a alguns modelos de DAQ dos fabricantes tradicionais. Para este trabalho será utilizada a porta USB disponível no BBB como interface de comunicação com o mundo externo. Em trabalhos futuros os conceitos apresentados neste trabalho podem servir como base para a construção de um dispositivo de aquisição de dados mais completo, capaz de trabalhar com os acelerômetros analógicos do CTAI da mesma forma que os que seriam adquiridos pela NI.

# O BeagleBone Black

Nesta seção será apresentado os fundamentos necessários, relativos ao BeagleBone Black, para a execução dos experimentos na seção X. No meio do percurso serão feitas as configurações necessárias para a execução dos mesmos experimentos.

## Componentes do BeagleBone Black

No capítulo 1 foi introduzido o BeagleBone Black como um minicomputador de arquitetura ARM. Esta seção irá mostrar os componentes da placa e os integrados ao SOC Sitara AM335x. Na figuraFigura 4 tem-se uma foto de frente e verso da placa de circuito impresso do BBB, identificando os componentes, e na tabelaTabela 2 identifica a função de cada componente na placa. Para complementar na figuraFigura 4 mostra os componentes integrados ao SOC Sitara AM3358A, este último disponível na rev. (revision) 3 deste produto.

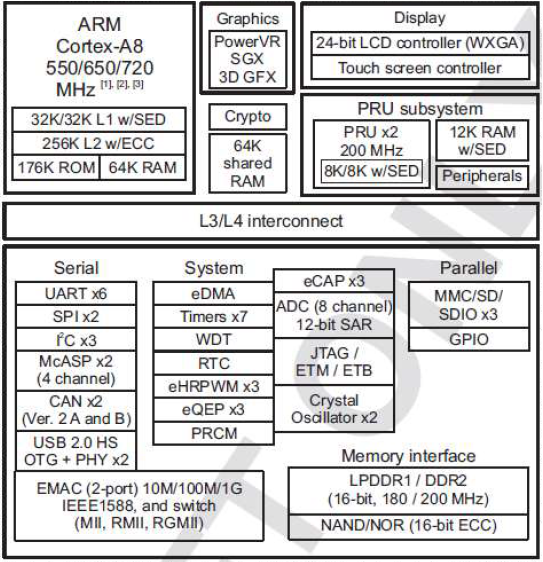


Figura 4: Diagrama do Satira AM3358A (COLEY, 2013).

| **No.** | **Componente** | **BBB** |
| --- | --- | --- |
| 1 | Satara AM335x | SOC do BBB contendo diversos componentes integrados incluindo CPU, GPU e PRU |
| 2 | HDMI framer | Converte o controlador de LCD do AM335x |
| 3 | Memória RAM | 512MB DDR3 |
| 4 | eMMC | 4GB de memória de armazenamento interno |
| 5 | TPS65217C | Regulador de potência sofisticado com 4 reguladores de tensão LDO[[6]](#footnote-6) controlado por I²C |
| 6 | Ethernet PHY | PowerVR SGX530 |
| 7 | LEDs | 4GB |
| 8 | Push buttons | Micro SD |
| 9 | Micro HDMI | 65 |
| 10 | Ethernet RJ45 | 10/100 Mbps |
| 11 | 5V DC | 7x 12bits 0-1,8V |
| 12 | Slot micro SD |  |
| 13 | Serial debug |  |
| 14 | USB 2.0 client |  |
| 15 | USB 2.0 host |  |
| 16&17 | Expansões P8 e P9 |  |
| 18 | JTAG |  |
| 19 | Conector de bateria |  |

Tabela 2: Relação dos componentes do BBB de acordo com a figuraFigura 4 (MOLLOY, 2014).

## BeagleBone Black e o Linux embarcado

Como foi dito nos capítulos anteriores, o Beaglebone Black é um minicomputador completo que é capaz de rodar diversas distribuições de \emph{E-Linux}, Android e outros sistemas operacionais portados para arquitetura ARM. Atualmente a comunidade do Beaglebone portou apenas Android e algumas distribuições Linux, como Debian, Ubuntu, Ångström e Arch Linux. As primeiras versões do Beaglebone Black, mais especificamente as revisões 1 e 2, vinham com Ångström instalado por padrão, uma distribuição linux criada exclusivamente para sistemas embarcados, \emph{tablets}, PDAs, \emph{set top boxes}, roteadores e outros dispositivos baseados na arquitetura ARM \cite{sitebbbang}.

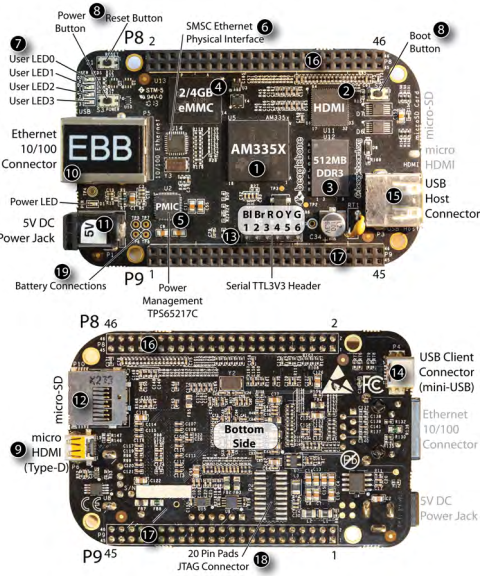


Figura 5: O BeagleBone Black e seus componentes (MOLLOY, 2014).

# Bibliografia

BANZ, M. **How Arduino is open-sourcing imagination**, 2012. Disponivel em: <https://www.ted.com/talks/massimo\_banzi\_how\_arduino\_is\_open\_sourcing\_imagination>. Acesso em: 04 de outubro 2016.

BLAKEBEVIN. **TPower Laces- the Auto lacing shoe**, 2010. Disponivel em: <http://www.instructables.com/id/Power-Laces-the-Auto-lacing-shoe/>. Acesso em: 30 de setembro 2016.

DICOLA, T. **Embedded Linux Board Comparison**, 2014. Disponivel em: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/embedded-linux-board-comparison.pdf>. Acesso em: 04 de outubro 2016.

MACHADO, J. **Raspberry Pi:** computador de 50 reais pode revolucionar a informática, 2012. Disponivel em: <http://www.tecmundo.com.br/hardware/23175-raspberry-pi-como-um-computador-de-50-reais-pode-revolucionar-a-informatica.htm>. Acesso em: 04 de outubro 2016.

MEASUREMENT COMPUTING CORPORATION. Data Aquisition Handbook, Norton, 2012. Disponivel em: <http://www.mccdaq.com/pdfs/anpdf/Data-Acquisition-Handbook.pdf>. Acesso em: 26 de setembro 2016.

MOLLOY, D. **Exploring BeagleBone:** Tools and Techniques for Building with Embedded Linux. [S.l.]: Wiley, 2014. Disponivel em: <http://www.exploringbeaglebone.com/>.

NI. **Aquisição de dados**, 2016. Disponivel em: <http://www.ni.com/data-acquisition/pt/>. Acesso em: 25 de Setembro 2016.

NVIDIA. **O que é computação acelerada por placa de vídeo?**, 2016. Disponivel em: <http://www.nvidia.com.br/object/what-is-gpu-computing-br.html>. Acesso em: 17 de outubro 2016.

PEREIRA, A. L. **O que é PCI-Express?**, 2012. Disponivel em: <http://www.tecmundo.com.br/hardware/1130-o-que-e-pci-express-.htm>. Acesso em: 26 de setembro 2016.

1. Padrão de barramento interno de computadores para conectar periféricos. [↑](#footnote-ref-1)
2. Linguagem de programação de baixo nível onde cada palavra representa o código de alguma instrução de uma máquina que usa uma determinada arquitetura. [↑](#footnote-ref-2)
3. Arquitetura de processador 32 bits de alto poder de processamento, baixo consumo e baixa dissipação de calor que permitiu surgimento de smartphones como iPhone. [↑](#footnote-ref-3)
4. Tipo de processador especializado em processar gráficos. Hoje em dia as GPU estão cada vez mais versáteis permitindo processar outras tarefas como equações matemáticas, física e inteligência artificial (NVIDIA, 2016). [↑](#footnote-ref-4)
5. Embedded Linux, ou Linux embarcado, é o termo utilizado para distribuições Linux portadas para ARM com o intuito de funcionar em sistemas embarcados. [↑](#footnote-ref-5)
6. Regulador de tensão capaz de regular a voltagem de saída quando a tensão de estrada está próxima da tensão de saída [↑](#footnote-ref-6)