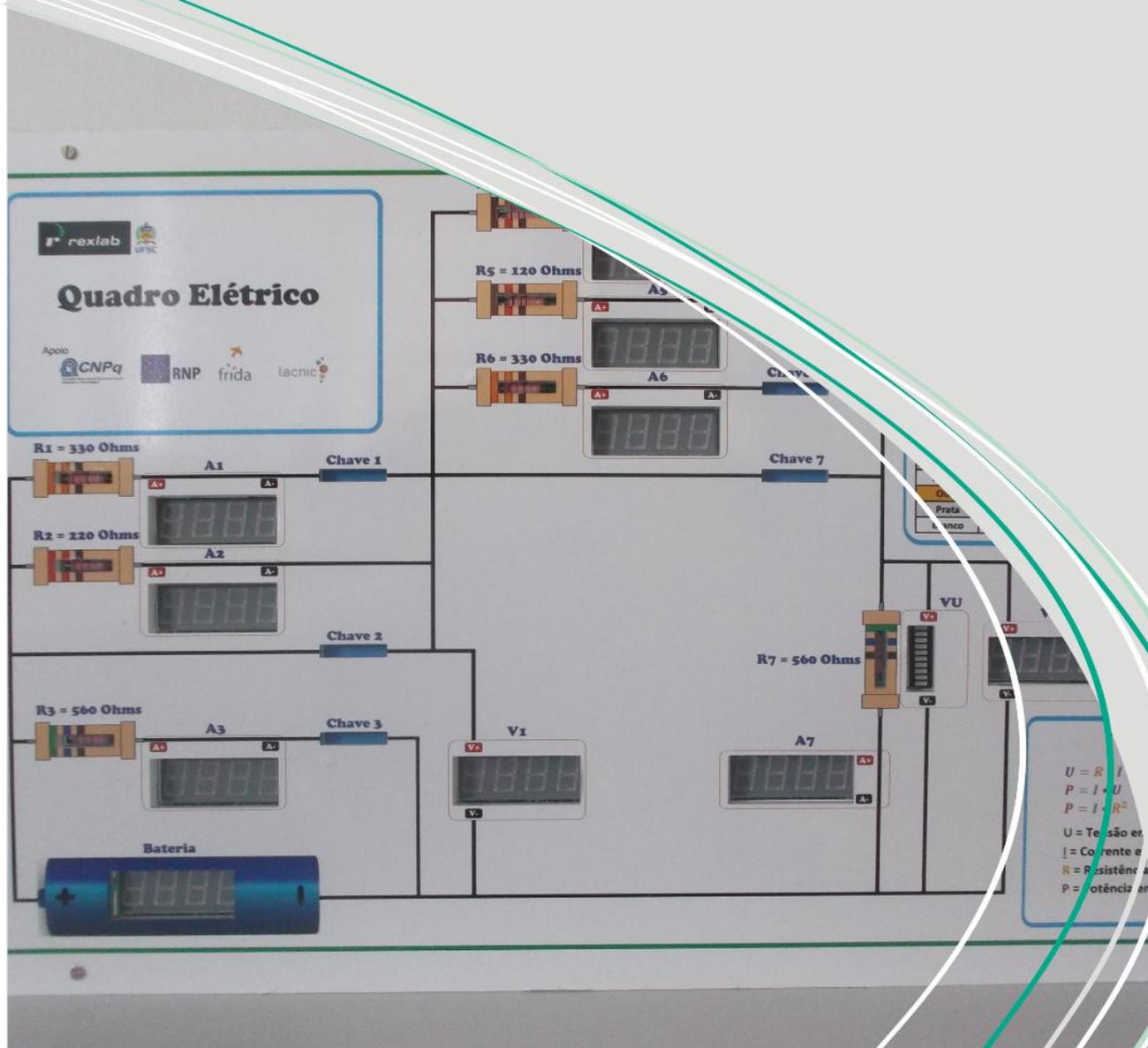


## Painel Elétrico DC

### Manual Técnico do Experimento



O trabalho Manual Técnico do Experimento: Painel Elétrico DC de SILVA, Juarez B.; MORETTI, Alessandro está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.



Este manual, cada capítulo e suas imagens estão licenciados sob a licença Creative Commons -Atribuição-Não Comercial-Sem Derivados 4.0 Internacional. Uma cópia desta licença pode ser visualizada em <http://creativecommons.org.nz/licences/licences-explained/>. Ela define que este manual é livre para reprodução e distribuição porém sempre deve ser citado o autor. Não deve ser usado para fins comerciais ou financeiro e não é permitido qualquer trabalho derivado. Se você quiser fazer algum dos itens citados como não permitidos, favor entrar em contato com os organizadores do manual.

O download em edição eletrônica desta obra pode ser encontrado em <http://www.rexlab.ufsc.br>.

Material Técnico do Experimento: Quadro Elétrico DC: obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida pelo Laboratório de Experimentação Remota (RExLab).

Araranguá – SC, Brasil, 2015

### Histórico de revisões do documento

<b>Revisão</b>	<b>Data</b>	<b>Propósito</b>
0.0	01/05/2015	Primeira apresentação do texto
1.0	10/07/2015	Revisão do texto técnico e inclusão da imagens do quadro

## Sumário

Índice de Figuras.....	1
Introdução .....	2
Experimento nº 2: Painel Elétrico DC.....	8
Apêndice: Modbus Placa de aquisição e controle.....	22
Anexo 1: Raspberry Pi – Especificações Técnicas.....	24

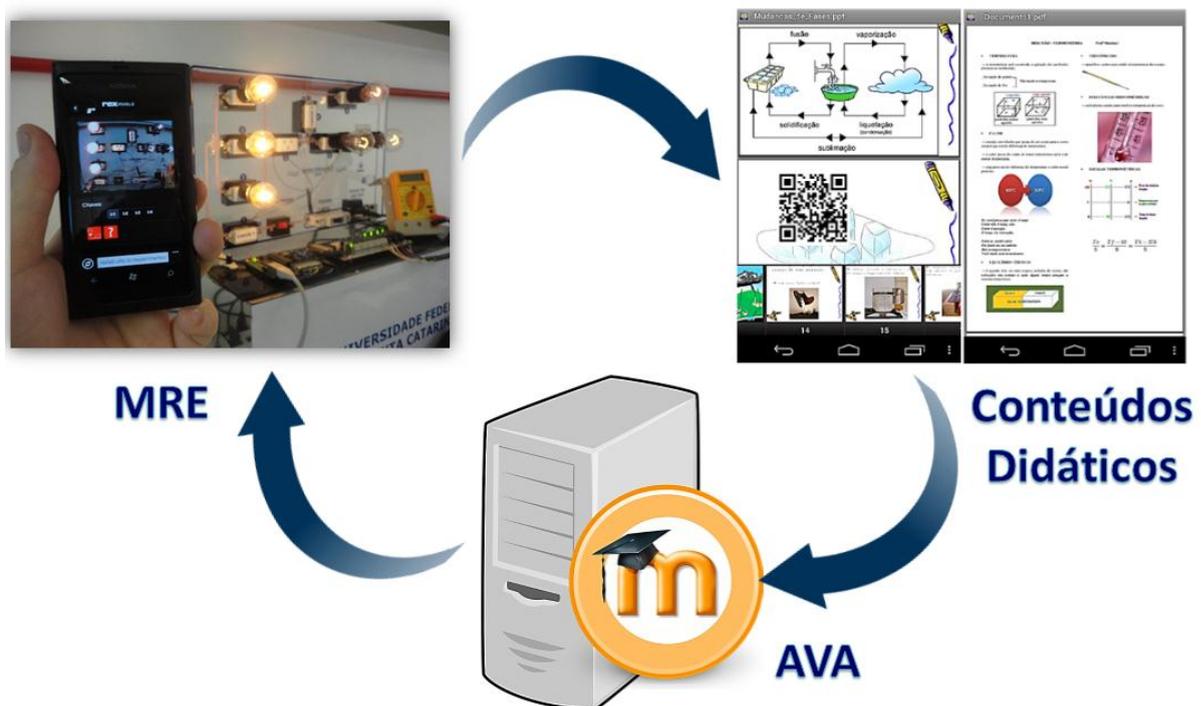
## Índice de Figuras

Figura 1 - Visão geral do serviço proposto. Fonte: Autor.....	2
Figura 2: Estrutura de hardware e software do GT-MRE.....	3
Figura 3: Diagrama de blocos dos experimentos remotos propostos. Fonte: Autor.....	4
Figura 4: Raspberry Pi, Model B+ .....	5
Figura 5: Placa de aquisição e controle .....	6
Figura 6: Ambiente de programação.....	7
Figura 7: Painel elétrico DC.....	9
Figura 8: Resistor .....	9
Figura 9: Chaves e LED's .....	10
Figura 10: Barras de LED's .....	11
Figura 11: Painel elétrico DC – Diagrama elétrico.....	11
Figura 12: Modelagem eletrônica do Painel elétrico DC.....	12
Figura 13: Feedback de tensão e corrente .....	12
Figura 14: Displays e sensores de tensão e corrente.....	13
Figura 15: Displays e sensores de tensão e corrente.....	13
Figura 16: Painel elétrico DC – Multímetros e Amperímetros .....	14
Figura 17: Circuito impresso dos resistores e LED.s das chaves. ....	14
Figura 18: Circuito impresso das barras de LED's .....	15
Figura 19: Placas de Chaves (relés) e displays.....	15
Figura 20: Circuito de teste do INA-169 .....	17
Figura 21: Circuito do INA-169 com buffer.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## Introdução

O serviço proposto visa desenvolver e implantar uma plataforma que integre ambiente virtual de ensino e de aprendizagem através da disponibilização de conteúdos didáticos abertos online, acessados por dispositivos móveis ou convencionais, e complementados pela interação com experimentos remotos (Figura 1).

Objetivamente pretende-se, ao oferecer este serviço, contribuir e estimular a integração da tecnologia na Educação Básica na rede pública de ensino. Portanto, a avaliação da usabilidade do protótipo se constitui em fator essencial e neste ponto buscamos apresentar um modelo que terá como objetivo demonstrar de forma prática, a utilização do serviço proposto, como possível solução à problemática apresentada.

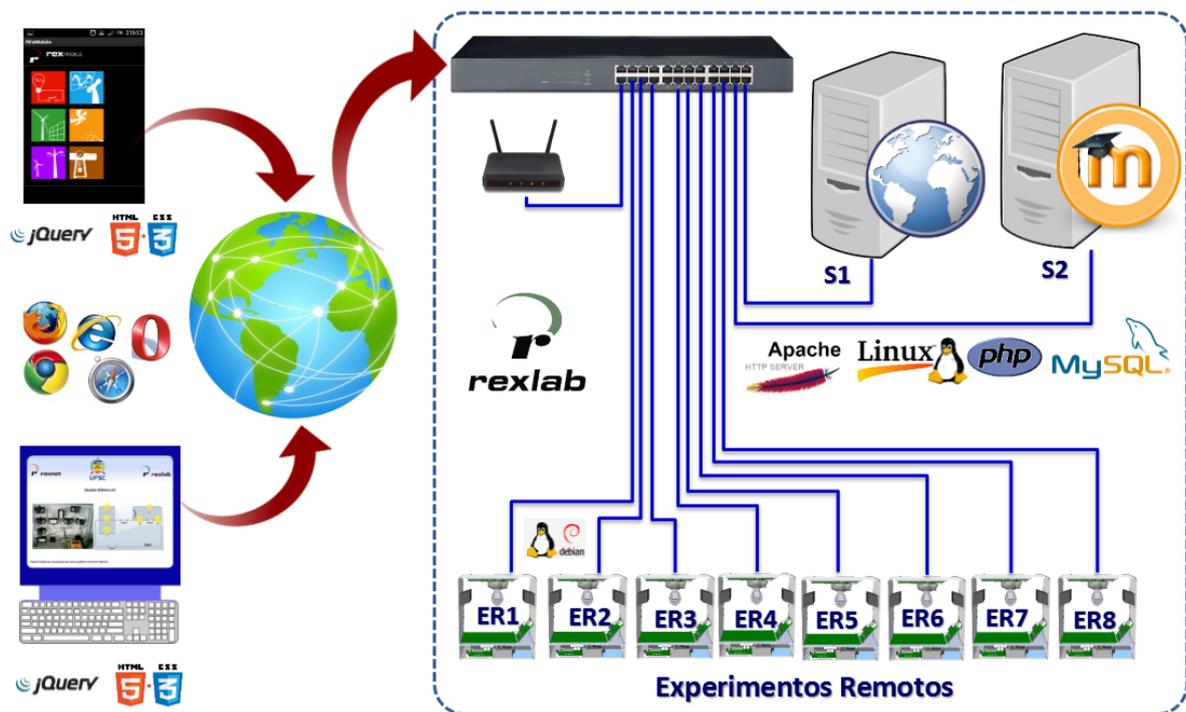


**Figura 1 - Visão geral do serviço proposto. Fonte: Autor**

O bloco denominado “MRE” compreende os experimentos remotos e os serviços e aplicações para suporte de acesso via Web, para dispositivos móveis ou convencionais, para controle e observação dos experimentos remotos e acesso aos conteúdos educacionais em multiplataformas computacionais.

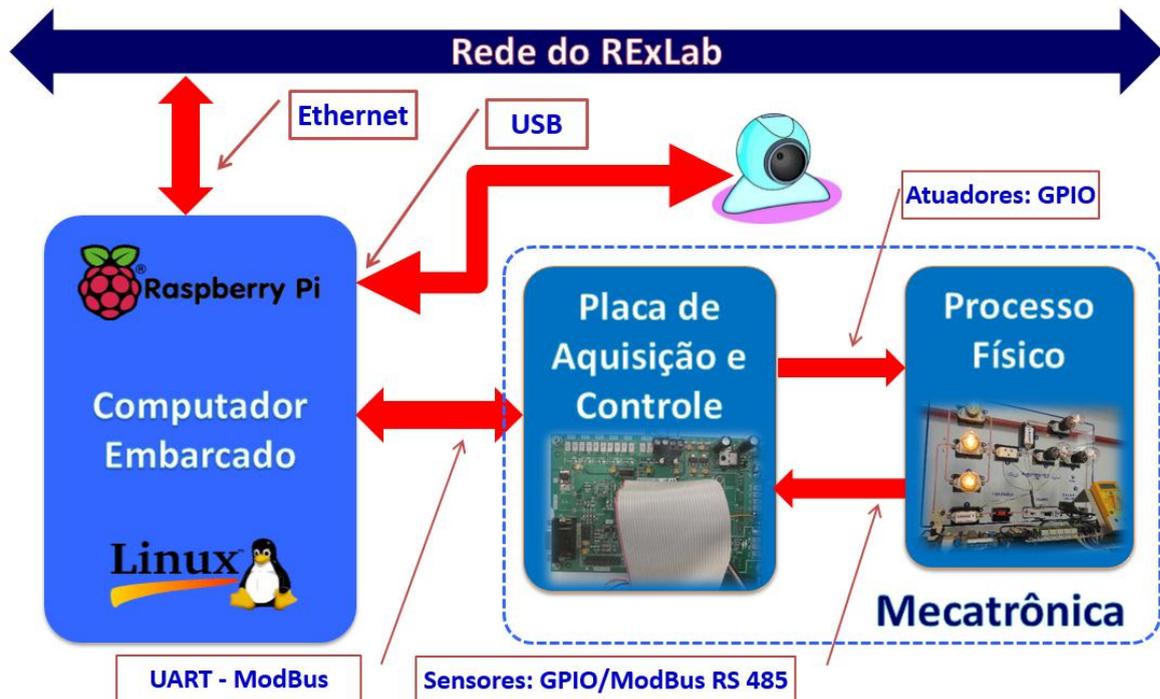
Os experimentos remotos, em um número inicial proposto de oito, serão

dispositivos que permitirão trabalhar com sistemas físicos reais através de Internet, em dispositivos convencionais (microcomputadores, laptops, etc.) e também em dispositivos móveis (tablets, smartphones, etc.). A Figura 2 apresenta o estrutura de software e hardware pretendida para dar suporte aos serviços propostos pelo GT-MRE.



**Figura 2: Estrutura de hardware e software do GT-MRE**

A construção dos experimentos remotos está baseada em recursos de hardware e de software open source, a fim de, favorecer a replicação do projeto, e integração destes em um ambiente distribuído de ensino e aprendizagem. A Figura 3 apresenta o diagrama de blocos dos experimentos remotos propostos. Todos os experimentos serão implementados a partir da arquitetura padronizada, mostrada na Figura 3, de hardware e software básico. A diferenciação entre os experimentos será constatada nos tipos diferentes de sensores e atuadores, que serão instalados de acordo com as especificidades dos experimentos remotos disponibilizados.



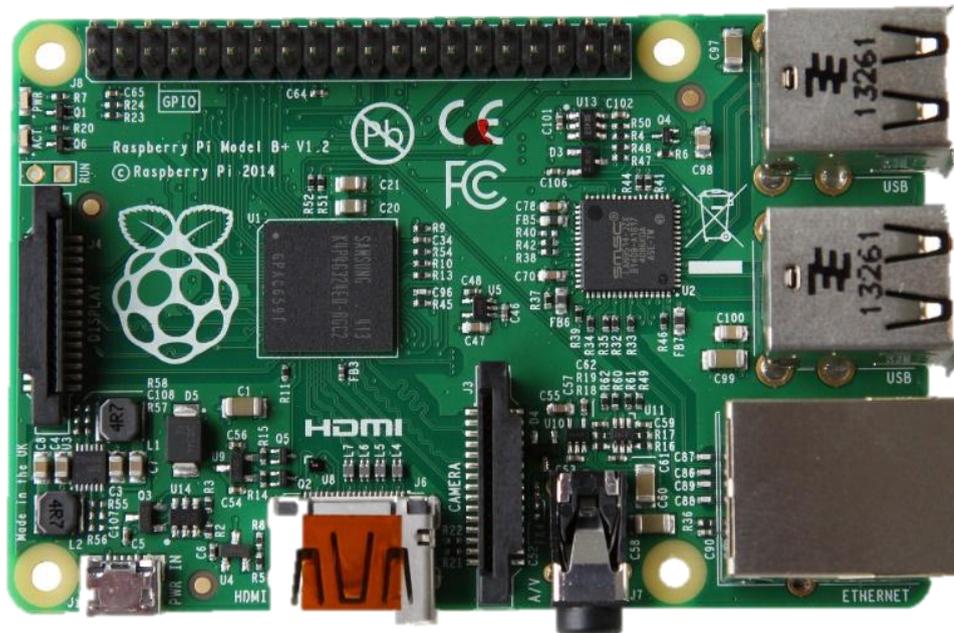
**Figura 3: Diagrama de blocos dos experimentos remotos propostos. Fonte: Autor.**

O dispositivo central do experimento é “Computador Embarcado”, que na plataforma desenvolvida pelo GT-MRE a escolha recaiu sobre o Raspberry Pi<sup>1</sup>, (Figura 4) modelo B+, que tem como principal função intermediar os acessos aos demais dispositivos de hardware dos experimentos via rede. O Raspberry Pi é um pequeno computador “single-board” baseados em processadores ARM11 (700 MHz), com memória RAM de 512 MB, dispõe de um cartão SD de 8GB, além de outras funcionalidades e roda sob o sistema operacional Linux (Debian).

O “computador embarcado” (CE) tem função prover interfaceamento e gerenciamento para a conexão entre a rede (web) e a “placa de aquisição e controle” (PAC). O CE acessa a PAC para a coletar os dados dos sensores ou para enviar comandos para os atuadores, essa comunicação é feita via porta UART (universal asynchronous receiver/transmitter) que se comunica via protocolo MODBUS<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> O Raspberry Pi é um computador é baseado em um system on a chip (SoC) Broadcom BCM2835, que inclui um processador ARM1176JZFS rodando a 700 MHz, GPU VideoCore IV, e 512 MB de memória RAM em sua última revisão. O Raspeberry PI foi desenvolvido no Reino Unido pela Fundação Raspberry Pi.

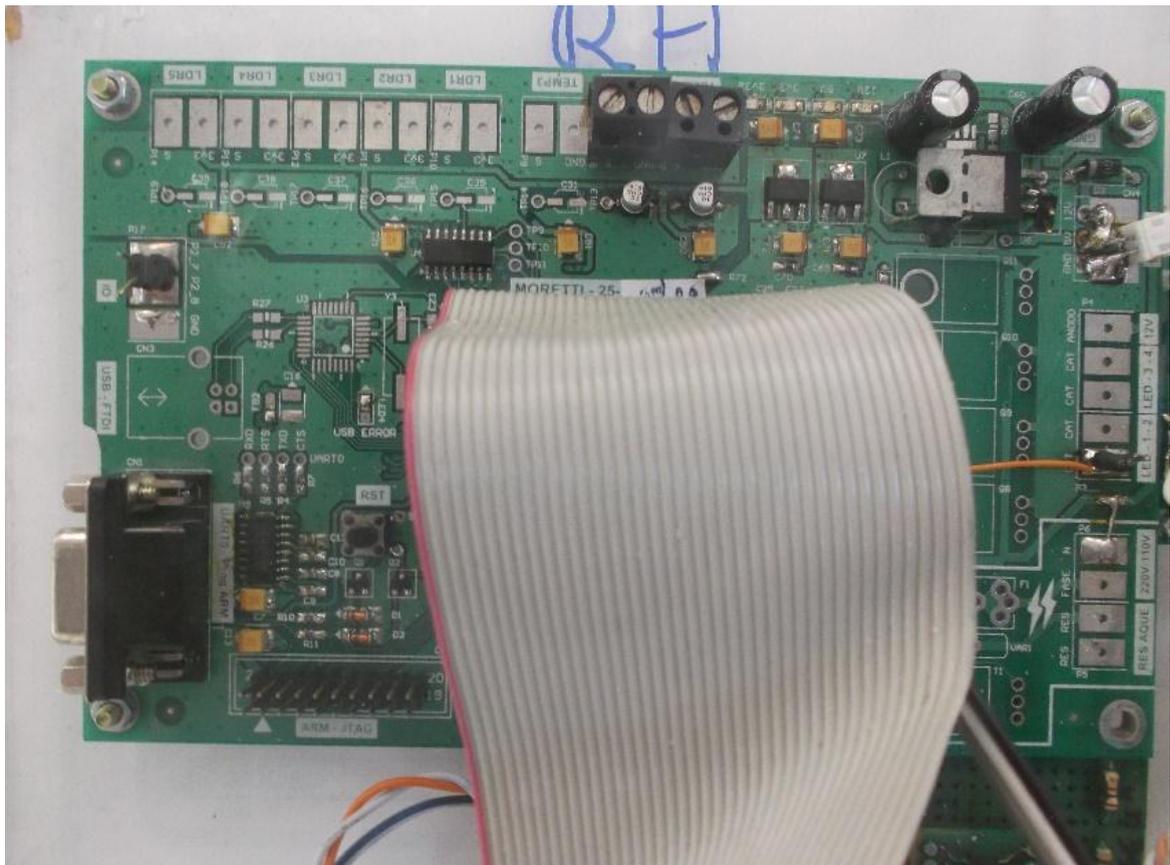
<sup>2</sup> Modbus é um protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial. É um dos protocolos mais utilizados em redes de Controladores lógicos programáveis (PLC) para aquisição de sinais (0 ou 1) de instrumentos e comandar atuadores. É de utilização livre e sem taxas de licenciamento



**Figura 4: Raspberry Pi, Model B+**

A “placa de aquisição e controle”, Figura 5, de projeto e construção própria, tem como objetivo controlar os sensores e atuadores dos experimentos. Esta bloco é baseado no processador ARM PLC1752 Cortex-M3 rodando a uma frequência de clock de 80 Mhz. A opção por este modelo de ARM deve-se ao fato de sua disponibilidade e relação custo/benefício.

O LPC1752 é uma microcontrolador baseado na arquitetura ARM Cortex-M3 que opera com frequências de até 100 MHz. Este tipo de microcontrolador é indicado para aplicações embarcadas, uma vez que, são caracterizados por um alto nível de integração e baixo consumo de energia. O LPC1752 incorpora uma ‘pipeline’ de três estágios e conta com barramentos de dados e instruções separados, inspirados na arquitetura Harvard. Também inclui 64KB de memória flash, 16KB de memória de dados (SRAM), 53 pinos de I/O, interfaces USB, UART (4), I<sup>2</sup>C (3), SPI (2), além de ADC (6), Timers (6) e PWM(6). O LPC1752 opera com tensão de 3,3V.



**Figura 5: Placa de aquisição e controle**

A programação do “computador embarcado” e do LPC1752 foi efetuada no ambiente Eclipse<sup>3</sup> com seus respectivos depuradores e compiladores GNU e a linguagem utilizada foi C. A Figura 6 apresenta o ambiente de programação utilizado.

---

<sup>3</sup> A plataforma Eclipse é um IDE para desenvolvimento Java, porém suporta várias outras linguagens a partir de plugins como C/C++, PHP, ColdFusion, Python, Scala e plataforma Android. É distribuída sob a “Licença Recíproca Parcial” EPL (Eclipse Public License).

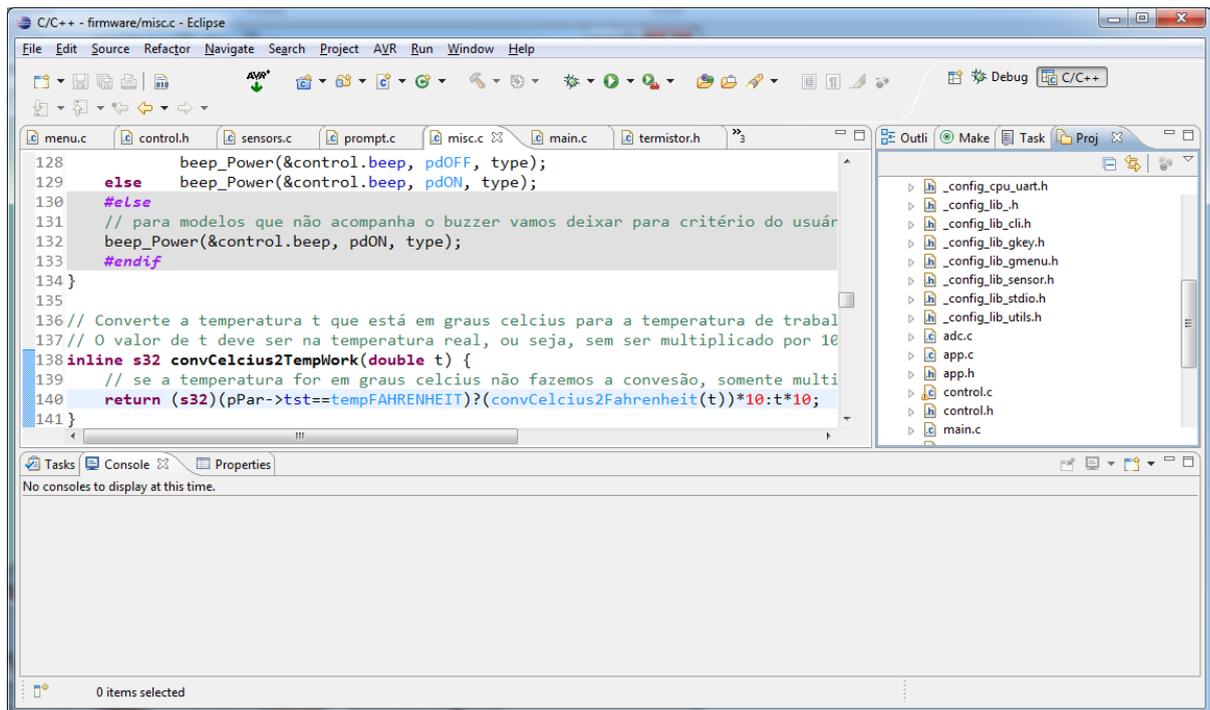


Figura 6: Ambiente de programação

A “placa de aquisição e controle” atua como um gerenciador que controla todos os atuadores e lê todos os sensores dos experimentos. Também armazena todos os dados atualizados dos sensores a serem acessados pelos dispositivos físicos externos, além de, ficar em estado de espera, aguardando comandos para acionar os atuadores.

A comunicação com os dispositivos físicos externos é feita via porta UART que se comunica utilizando o protocolo MODBUS. Na implementação da PAC buscou-se aplicar um certo grau autonomia em relação à leitura dos sensores e ao acionamento de atuadores, por exemplo, no caso do experimento de condução de calor, não ligar o sistema de aquecimento das barras, caso a temperatura esteja no limite, pois, neste caso estaria prestes a causar algum tipo de dano físico ao experimento.

A seguir serão abordados individualmente os oito experimentos propostos e se buscará explanar brevemente os aspectos construtivos de hardware e software básico de cada um deles.

## Experimento nº 2: Painel Elétrico DC.

### Nível de utilização:

- Ensino Médio
- Ensino Superior

### Objetivo

Auxiliar os estudantes do Ensino Médio e do Ensino Superior a efetuar práticas relacionadas à associação de resistores (série, paralela e mista), bem como, a análise de circuitos eletrônicos em corrente contínua usando as leis básicas de análise de circuitos: Lei de Ohm, Lei de Kirchhoff das Tensões ou Malhas e a Lei de Kirchhoff das Correntes ou Nós, a partir do uso de um enfoque prático da aplicação destas leis.

O experimento contribui para a compreensão dos conceitos aplicados em sala de aula e aproxima os estudantes do seu cotidiano.

### Breve descrição do hardware

O “Painel Elétrico DC” consiste de um painel composto de resistores, chaves, LEDs e duas fontes de alimentação. A partir das diversas combinações de acionamento das chaves inseridas no circuito elétrico é possível obter leituras de tensão e corrente em diversos pontos do circuito de acordo com as associações destes.

O dispositivo está implementado a partir da estrutura padrão de hardware e software básico. O circuito DC é composto por um painel acrílico onde estão instalados sete resistores que através das combinações de acionamentos das sete chaves distribuídas ao longo do circuito permitem obter as diversas combinações para os circuitos estudados, de acordo com o objetivo do experimento. O experimento é mostrado na Figura 7.

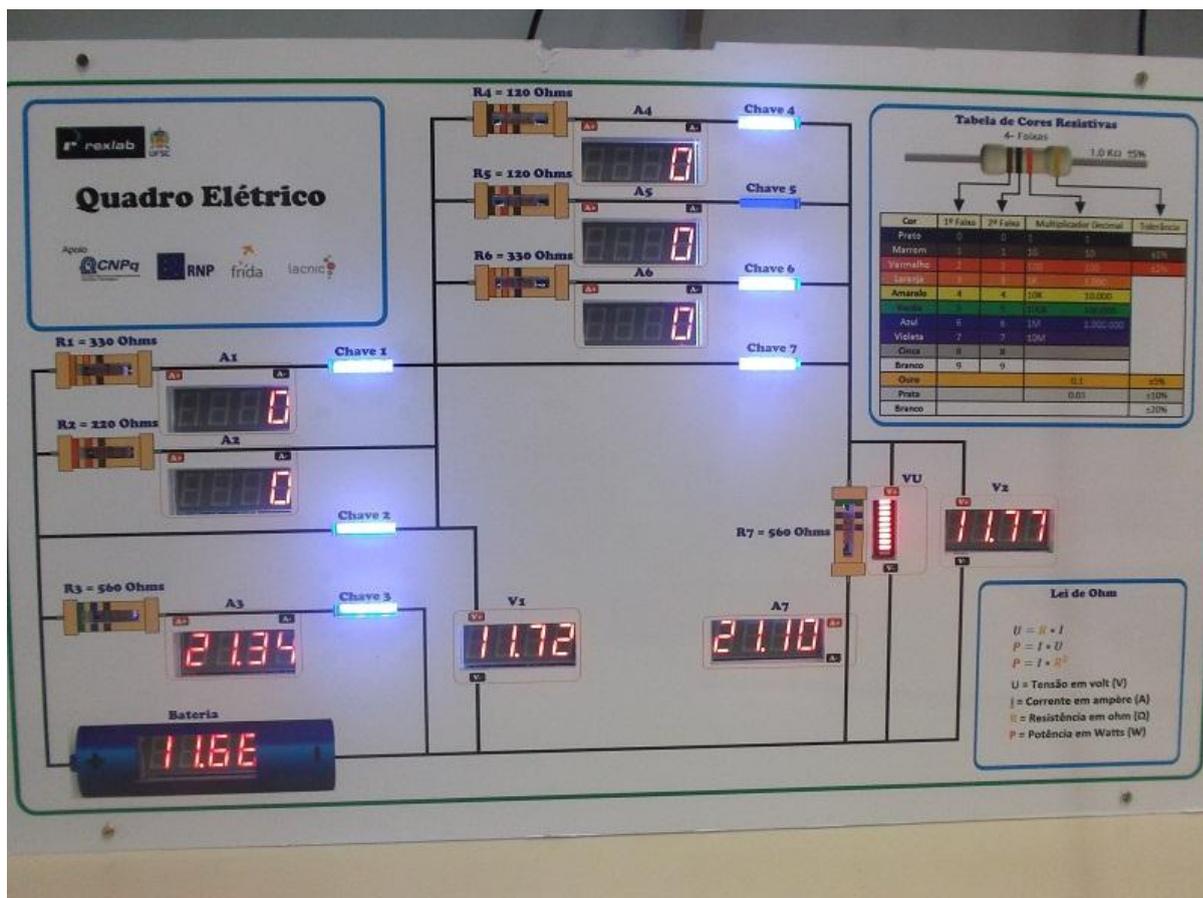


Figura 7: Painel elétrico DC

Os resistores utilizados no experimento são construídos em filme de carbono, potência de 3W e tolerância de 5%. O uso dessa potência é devido ao seu tamanho físico, a fim de proporcionar visualização mesmo através da câmera instalada para acompanhamento da experimentação.



Figura 8: Resistor

O circuito do experimento contempla sete chaves, que são comandadas pelos usuários, a fim de, obterem a configuração desejada para determinado circuito em estudo. As chaves no painel são representadas por seis LED's (Light Emitting Diode) verdes. Quando

a chave (relé) não está acionada, não circulará corrente elétrica naquela etapa do circuito e os LED's não apresentarão luminosidade. Ao acionar a chave, na interface disponível para o usuário, será acionada eletronicamente a chave, fechando o circuito e os LED's ficarão iluminados, vide Figura 9.



Figura 9: Chaves e LED's

Buscando manter o efeito da intensidade da corrente, de acordo com a sua intensidade os LED's brilharão mais ou menos. Entretanto, o primeiro LED sempre ficará na intensidade máxima para indicar que a chave (relé) está acionada e principalmente para que se possa ter uma referência de iluminação dos LED's adjacentes.

Em alguns pontos do circuito foram implementadas barras de LED's, vide Figura 10, a fim de realçar a queda de tensão nos pontos determinados. Assim, quanto mais LED's ligados maior será a tensão, e vice e versa, funcionamento semelhante aos VU de LED's dos aparelhos de som.

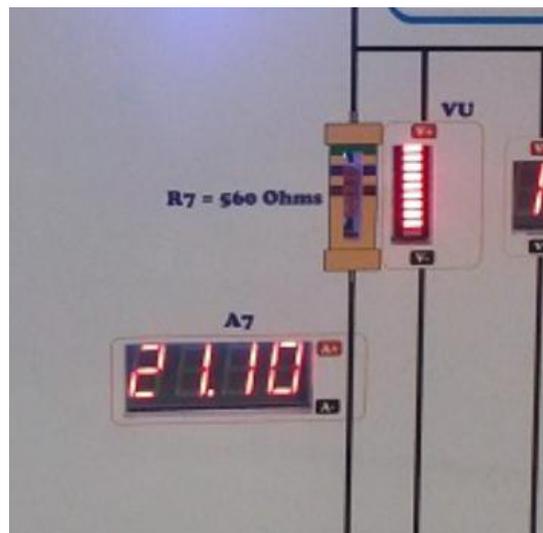


Figura 10: Barras de LED's

O diagrama elétrico do experimento "Painel DC" é apresentado na Figura 11.

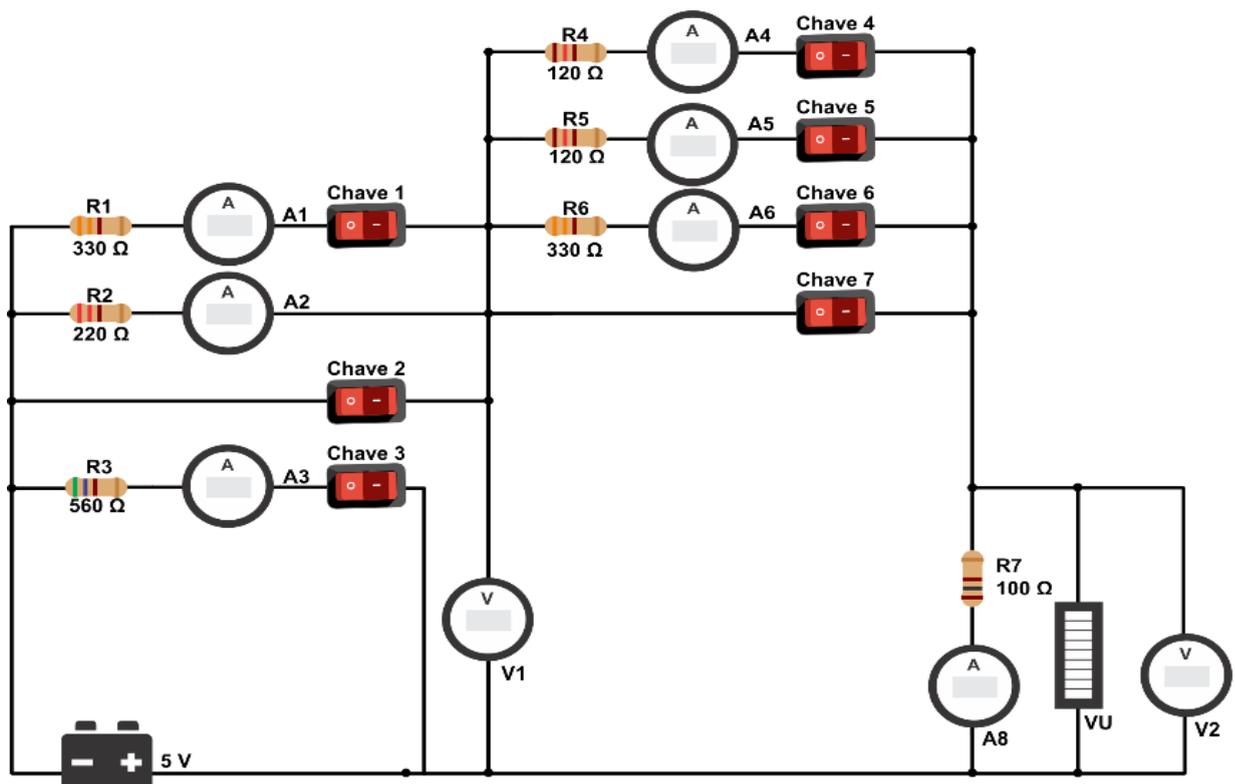


Figura 11: Painel elétrico DC – Diagrama elétrico

O projeto do "painel elétrico DC" foi efetuado utilizando técnicas modernas de modelagem e desenvolvimento dos circuitos. A Figura 12 apresenta a modelagem do projeto eletrônico.

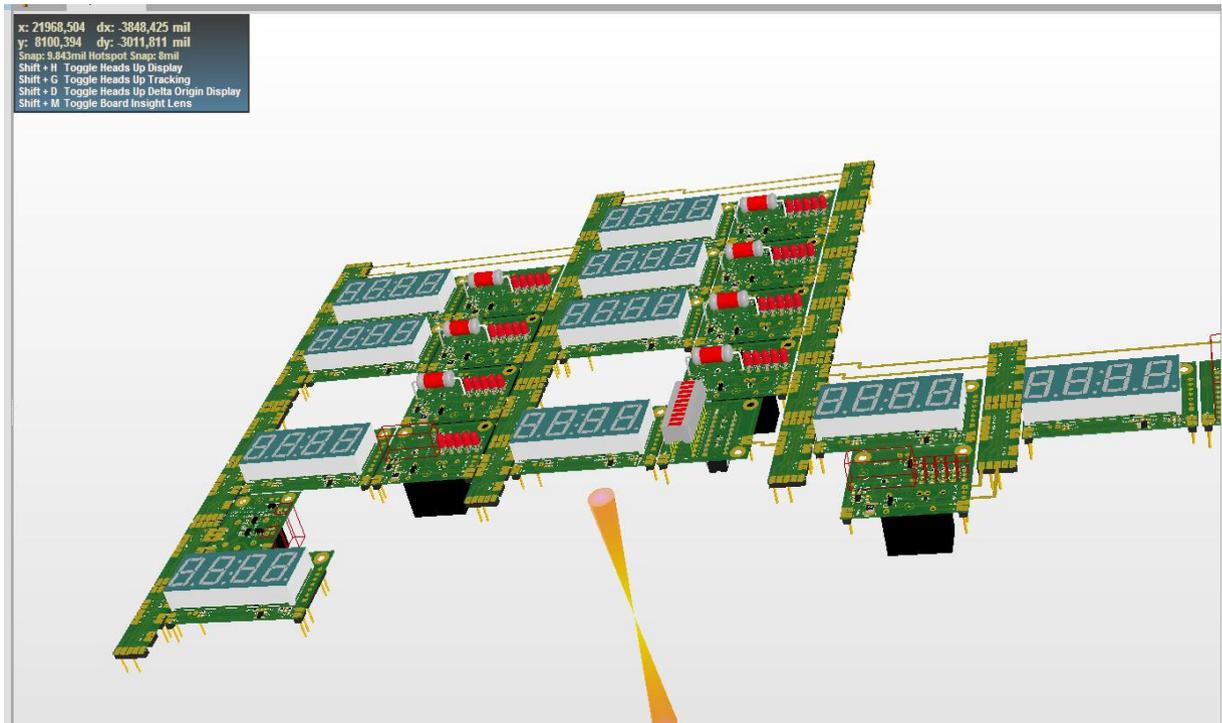


Figura 12: Modelagem eletrônica do Painel elétrico DC

A fim de, enriquecer as atividades práticas o experimento é dotado de amperímetros e voltímetros que retornam “feedback” das leituras, nos pontos indicados, aos usuários, conforme mostra a Figura 13.

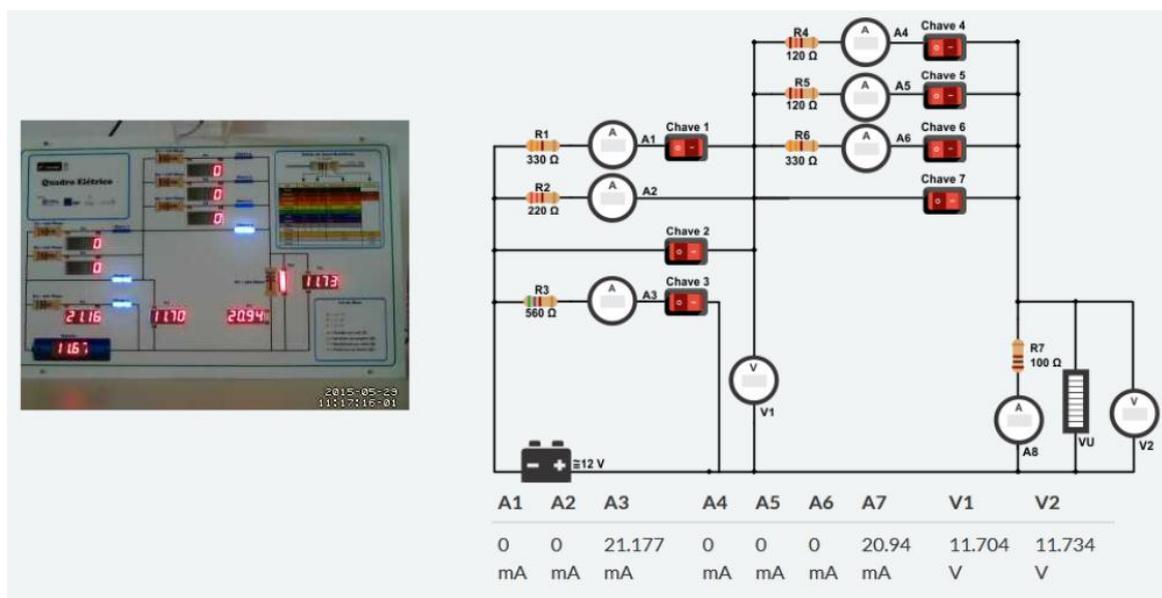
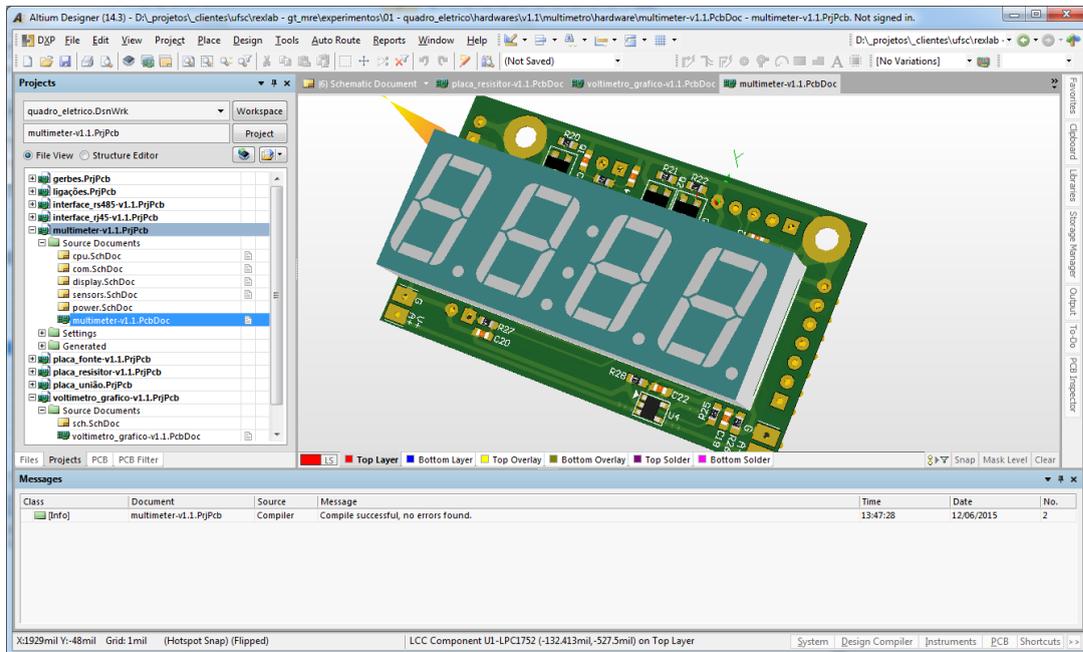
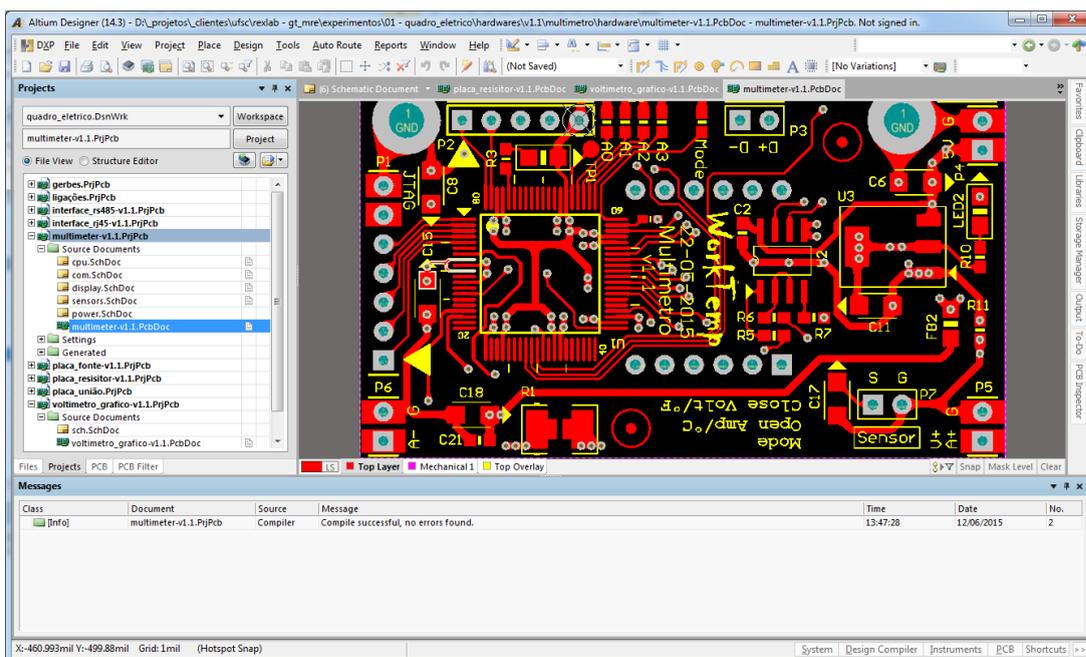


Figura 13: Feedback de tensão e corrente

Os multímetros e amperímetros são de projeto e construção própria. Estes dispositivos foram desenvolvidos exclusivamente para o GT-MRE. As Figuras 14 e 15 apresentam fases do projeto dos amperímetros e voltímetros.



**Figura 14: Displays e sensores de tensão e corrente.**



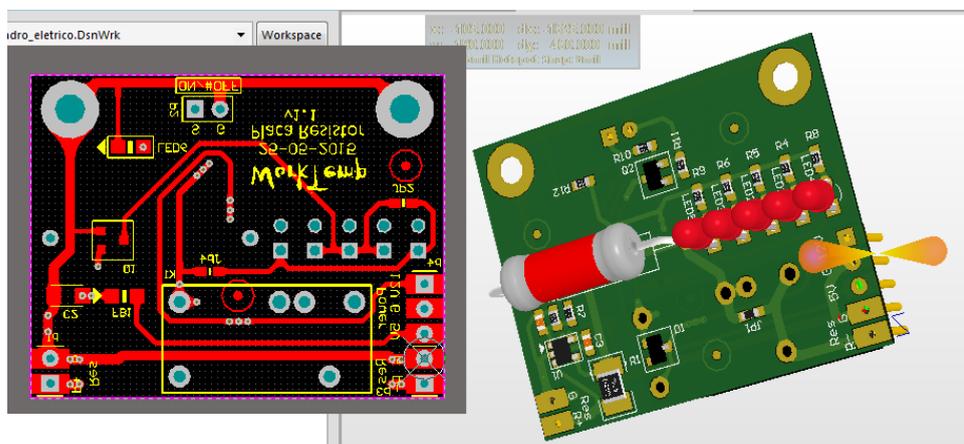
**Figura 15: Displays e sensores de tensão e corrente.**

A Figura 16 apresenta o dispositivo concluído e em uso no “Painel Elétrico DC”.



**Figura 16: Painel elétrico DC – Multímetros e Amperímetros**

De maneira similar aos amperímetros e voltmímetros os circuitos e placas para implementação dos resistores, relés e barras de LED’s também foram desenvolvidas e construídas exclusivamente para os experimentos remotos do GT-MRE, conforme mostram as Figuras 17 e 18.



**Figura 17: Circuito impresso dos resistores e LED.s das chaves.**

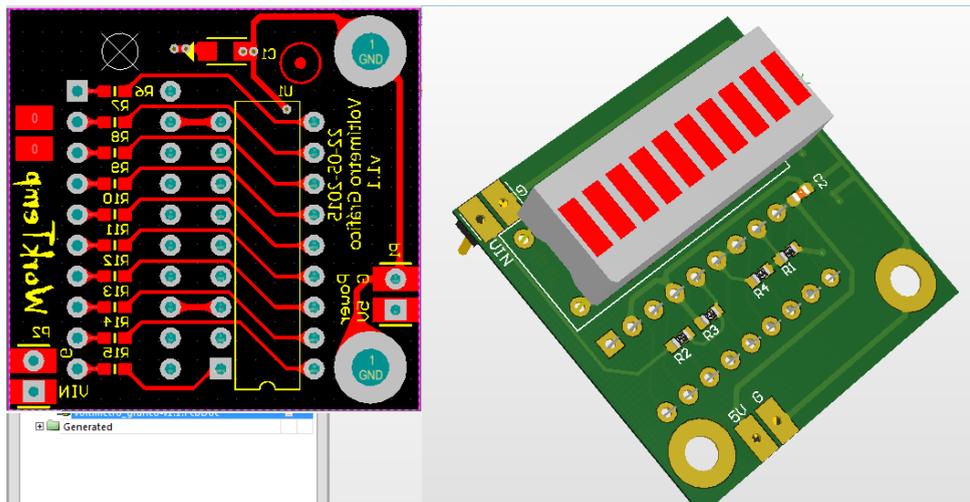


Figura 18: Circuito impresso das barras de LED's

A Figura 19 mostra algumas placas de relés e de displays implementadas no painel elétrico DC.

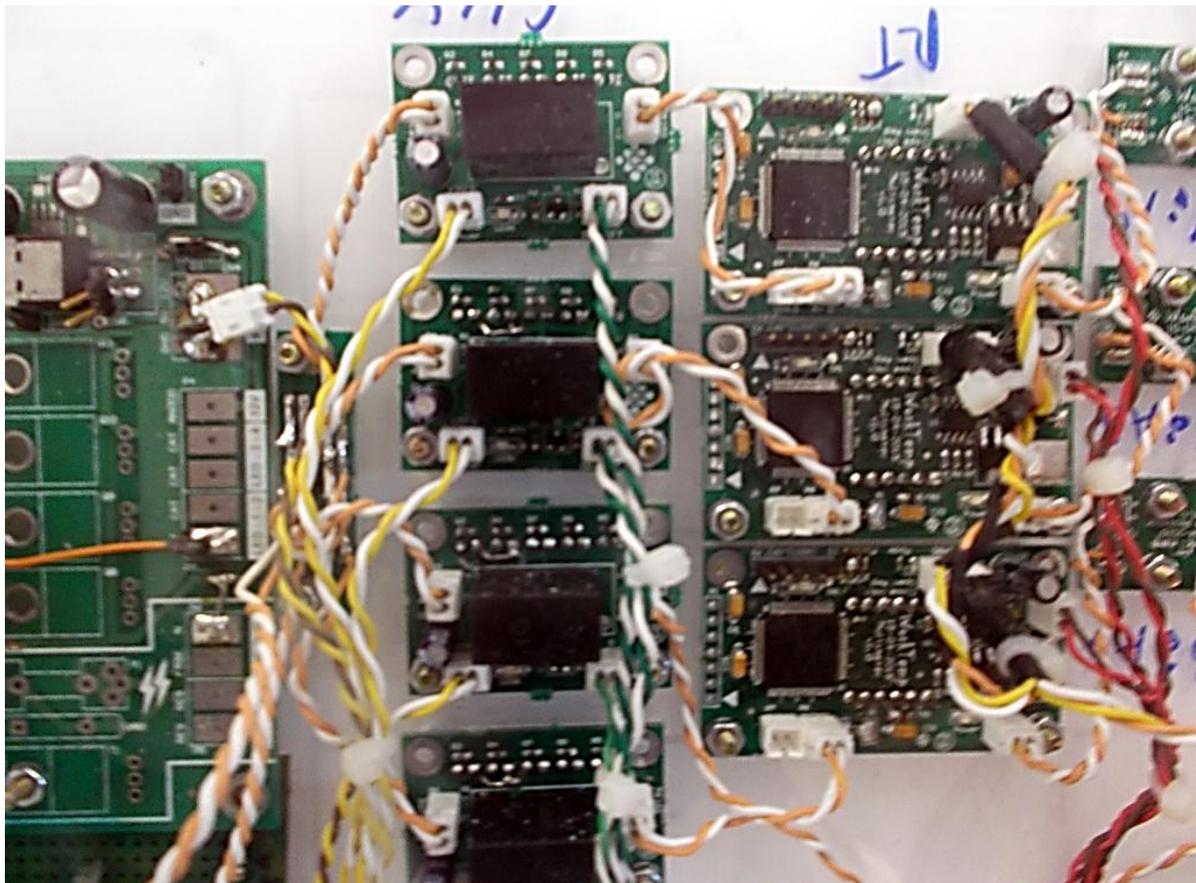


Figura 19: Placas de Chaves (relés) e displays

## Funcionamento dos multímetros e amperímetros

Estes dispositivos estão baseados no processador ARM Cortex-M3 LPC1752. A função de multímetro ou amperímetro é selecionada no dispositivo através de um jumper, que seleciona o que será exibido no display de 7 segmentos, pois, este trabalha tanto como voltímetro ou como amperímetro e nos dois casos os dados podem ser adquiridos via MODBUS.

Para leitura de corrente foi usado o sensor analógico de corrente, INA-169, indicado para medição de baixos valores de correntes DC, neste caso foi dimensionado para leitura de correntes máximas de 50mA.

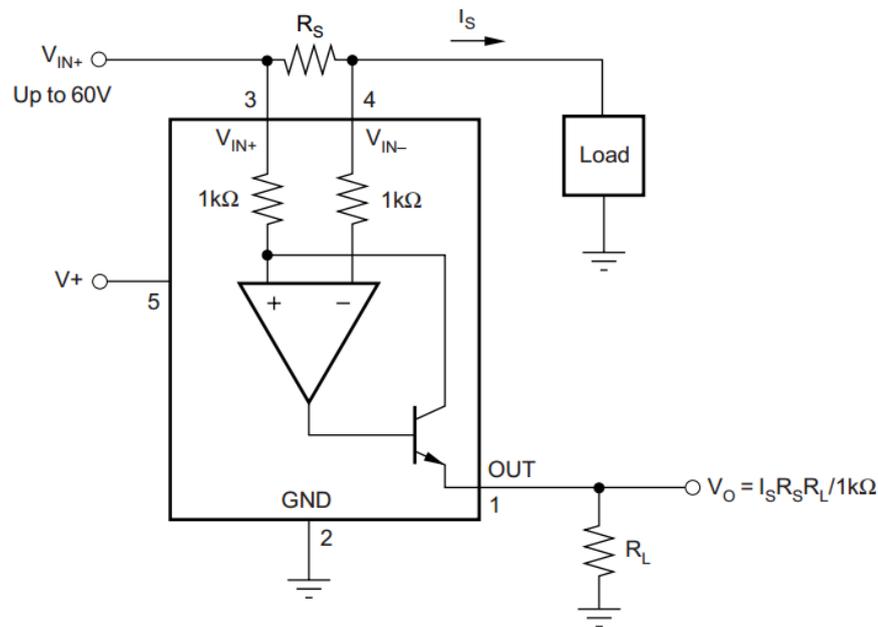
O funcionamento deste circuito integrado consiste basicamente em converter a corrente para tensão a partir da leitura da “queda de tensão” em resistor “shunt”<sup>4</sup>, onde essa queda é referente a corrente que passa através dele. O INA-169 converte proporcionalmente a tensão de entrada em uma pequena corrente de saída. Na saída do INA-169 a corrente é convertida para tensão novamente através de um resistor externo (RL) conectado ao GND do circuito. Isto é útil para podermos medir a corrente da linha através de um ADC ou outros dispositivos. Para leitura das tensões no circuito foi implementado um divisor resistivo com capacidade para leitura de tensões entre 0 a 15V em um microcontrolador ( $\mu$ C) de 3v3.

A medição deve ser no modo comum, ou seja, tanto o INA-169 como o aparelho em medição (carga ou load) devem ter um ground comum. A tensão de alimentação da carga e a tensão de alimentação do INA-169 podem ser entre 2v7 a 60v e são independentes entre si.

A Figura 20 apresenta o circuito de testes para o INA-169.

---

<sup>4</sup> O resistor shunt nada mais é que um resistor de baixo valor, ligado em série com a carga usada para fornecer um feedback (retorno) ao microcontrolador, com isso o microcontrolador identifica se a corrente fornecida está em conformidade (ou não) com o esperado.



**Figura 20: Circuito de teste do INA-169**

A tensão diferencial no resistor de shunt deve ser no máximo de 0.5V, onde produz uma corrente de 500 $\mu$ A, porém tensões acima disso não danificam o CI, embora saturem a tensão de saída. A medição diferencial deve ser unipolar, onde a tensão positiva deve ser conectada a entrada positiva do CI, caso ocorra a inversão, a corrente produzida será zero. Portanto, o INA-169 somente mede corrente DC, isto porque a entrada de tensão no Vin+ deve ser sempre maior que a entrada Vin-. O resistor shunt (Rs) deve ser colocado o mais próximo possível dos terminais do CI para que diminua o máximo a resistência em série com o Rs produzida pela trilha.

O valor do Rs depende da aplicação relacionando a precisão e a perda de tensão na linha de medição. Rs com valores mais altos são mais precisos em baixas correntes, porém em altas correntes há muita perda de tensão e muita potência é dissipada, neste caso devemos usar Rs com valores bem baixos. Geralmente é usado valor para Rs para fornecer uma escala completa onde a diferença de tensão varie na faixa entre 50mV a 100mV. Valores acima de 500mV o ina169 satura e valores abaixo de 35mV o ina169 começa a medir de forma errada. Usualmente utilizamos valores de Rs de 0.1, 1 e 10 ohms.

O valor do RL é escolhido para uma escala completa de tensão de saída, como a impedância de saída do INA-169 é bem alta podemos usar um resistor com valor de até 100K com boa precisão de medição. Entretanto, o complemento do circuito, como um ADC, tem

que ter a sua impedância de entrada maior que  $R_I$ , caso não for, é preciso usar um amplificador operacional configurado como buffer.

O valor de  $R_I$  converte a corrente interna do ina169 para tensão e também é responsável direto pelo ganho do circuito entre 1 a 100 vezes, observe as fórmulas a seguir.

- F1:  $V_{out} = (I_s * R_s * R_I) / 1K$
- F2:  $I_s = V_{out} / (R_s * R_I)$

Onde:

- $V_{out}$  em volts;
- $I_s$  em amperes;
- $R_s$  e  $R_I$  em kohms;
- 1K constante do ina169.

A tensão de saída ( $V_{out}$ ) está relacionada diretamente com a tensão de alimentação do ina169, ou seja, a tensão máxima que  $V_{out}$  pode alcançar é:

- F3:  $V_{out\_max} = V_+ - 0.7 - (V_{in+} - V_{in-})$

Caso seja utilizado um ADC de 3v3 a tensão do ina169 deverá ser maior que 3v3 para cobrir toda faixa de trabalho do ADC.

Utilizando os valores de  $R_s$  usuais a queda de tensão no  $R_s$  máximo é de 0.5V, tipicamente é de 0.1V, logo a relação de  $I_s$  com  $R_s$  baseado na lei de ohms ( $U=R*I$ ) é de:

$0.5/I_s=R_s$  (máximo)

<b><math>R_s</math></b>	<b><math>I_{max}</math></b>
0.1	5A
1	500mA
10	50mA

$0.1/I_s=R_s$  (Típico)

Rs	I <sub>max</sub>
0.1	1A
1	100mA
10	10mA

Em relação ao experimento implementado, buscou-se medir uma corrente de 0 a 50mA em um ADC de 3v3 de 12bits de resolução. Uma vez que, o ADC é de 3V3 o ina169 deverá ser alimentado por 5V no mínimo (Fórmula 3) e a queda de tensão no resistor de shunt não deverá ser superior a 500mV, tipicamente será de 100mV. Uma vez que, a escala é de 0 a 50mA para valores de tensão de 0 a 3v3 estabeleceu-se o ponto central de 1.65 volts (3v3/2) que corresponde à para 25mA.

Efetuada a relação de  $R_I/R_s$ , aplicando a fórmula 1 obtêm-se:

- $V_{out} = (I_s * R_s * R_I) / 1$
- $1.65 = (0.025 * r_s * r_l) / 1$

Logo a relação entre os resistores é:

- $R_I = 66/R_s$

Considerando que os valores usuais do  $R_s$  são 0.1, 1 e 10 ohms obtêm-se:

Rs	RI
0.1	666K
1	66K
10	6K6

Para essa aplicação o valor de 0,1 ohm para  $R_s$  não é válido, pois, o valor máximo permitido para  $R_I$  é de 100K. Utilizando um resistor de carga  $R_I$  com valor comercial de 68K e o resistor de shunt  $R_s$  de 10hms e aplicando estes valores Fórmula 2 é possível calcular a valor da corrente.

- $I_s = V_{out} / (R_s * R_I)$
- $I_s = V_{out} / (68)$

Onde:

- Vout em volts;
- Is em amperes;

A tensão Vout, corresponde a tensão à ser analisada, ou seja, a tensão que será aplicada na entrada do ADC. A sua precisão e escala depende do bit de conversão, ou bit de resolução do ADC e de sua tensão máxima de conversão. Uma vez que, uma tensão de 0v sempre resultará em um valor 0 no ADC, e a conversão de analógico para digital é linear, podemos estabelecer uma regra de três:

Tensão		Decimal
0	----->	0
U2	----->	d
vMax	----->	dMax

Onde:

- vMax: Tensão máxima de conversão do ADC;
- d: Valor decimal lido pelo ADC;
- dMax:  $2^{\text{exp (bit conversão do ADC)} - 1}$ .

A partir da seguinte fórmula.

$$V_{out} = \frac{V_{max} * d}{d_{Max}}$$

Embora a arquitetura ARM disponha de uma ampla gama de periféricos, nesta implementação foram utilizados somente os seguintes recursos:

- ADC0 canal 4: para leitura da tensão para o voltímetro;
- ADC0 canal 5: para leitura da tensão originada do conversor corrente de tensão para o amperímetro;
- GPIO: para leitura do MODBUS a ser acessado pelo mestre, acionamento do display e indicação do que será exibido no display;

- UART0: para depuração e comandos avançados;
- UART1: para comunicação MODBUS, via rs485.

Todos os multímetros e amperímetros estão conectados em um barramento RS485 que funciona em modo “escravo” no protocolo MODBUS. Cada multímetro tem um ID próprio para ser acessado pelo mestre, esse ID pode ser ajustado via jumpers.

O “recurso de hardware” contempla dois barramentos, ambos utilizando protocolo MODBUS. O primeiro barramento, é o barramento RS485, que se comunica com os multímetros em modo “mestre”, e fica periodicamente lendo os valores das tensões e das correntes em todos os dispositivos. O segundo barramento, é o barramento RS232, o MODBUS opera no modo escravo e aguarda a comunicação com o MSIP para fornecer os valores de leitura dos multímetros e amperímetros e também de outras funções. O MSIP dispõe de uma API que utiliza a UART do Raspberry Pi, utilizando o protocolo MODBUS no modo mestre para acessar o recurso de hardware em busca dos dados à serem disponibilizados na WEB.

## Apêndice: Modbus Placa de aquisição e controle

Mapa dos Registradores ModBus do Recurso de Hardware

Todos os registradores são de 16 bits e os endereçamentos mostrados neste documento são em hexadecimais.

Recomendação de não ler ou escrever mais que XXXX registradores em uma só transação por causa do erro relativo da taxa do baud rate do aparelho.

Registradores de Identificação		
Endereço	Tipo de Acesso	Descrição
0x0	Leitura	Identificador do modelo do aparelho. Valor em ASCII
0x1	Leitura	Versão do modelo do aparelho. Valor em ASCII
0x2	Leitura	Versão do firmware. Valor em ASCII. O formato da versão é x.y, porém o será enviado sem o ponto decimal. Exemplo: versão 1.0 será transmitido 10.

Registradores de Trabalho		
Endereço	Tipo de Acesso	Descrição
0x10	Leitura/escrita	Quantidade de multímetros para serem lidos no barramento rs485. Padrão é 9 e no máximo é 16. Os multímetros devem serem endereçados no barramento modbus de 1 a 16

Registradores de Saídas Digitais		
Endereço	Tipo de Acesso	Descrição
0x200	Leitura/escrita	O valor desse registrador espelha na saída digital do Recurso de Hardware. O bit0 para a o bit 0 da porta de saída e assim sucessivamente até o bit16

Registradores dos Reles		
Endereço	Tipo de Acesso	Descrição
0x300	Leitura/escrita	O valor desse registrador espelha o acionamento ou não dos reles do Recurso de Hardware. O bit0 para a o rele1 e assim sucessivamente até o bit16

Os multímetros no barramento rs485 devem ser endereçados (ID) do valor 1 em diante e nunca repetir o mesmo endereço para os multímetros. Os valores de amperagem e tensão são representados respectivamente em microampères e milivolts.

Registradores dos Multímetros		
Endereço	Tipo de Acesso	Descrição

0x400	Leitura	<p>Status de Comunicação</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0: Sem comunicação com o dispositivo. O mesmo não está conectado, ou está desligado, ou não há dispositivo neste endereço.</li> <li>• 1: O multímetro recebeu uma função que não foi implementada;</li> <li>• 2: Foi acessado a um endereço de registrador inexistente;</li> <li>• 3: Foi tentado gravar um valor inválido no registrador do multímetro;</li> <li>• 4: Um irrecuperável erro ocorreu enquanto o multímetro estava tentando executar a ação solicitada;</li> <li>• 5: Comunicação estabelecida com sucesso.</li> </ul>
0x401	Leitura	<p>Status do Multímetro com ID=1</p> <p>Função assumida do multímetro:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bit[4]: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0: Voltímetro;</li> <li>○ 1: Amperímetro.</li> </ul> </li> </ul> <p>Status do sensor:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bits[3:0]: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0: Sinaliza que o multímetro está lendo pela primeira vez o sensor. Isto somente acontece no momento que o multímetro é ligado.</li> <li>○ 1: O multímetro já contém o valor convertido;</li> <li>○ 2: Sinaliza um erro, indica que o valor está abaixo da escala permitida pelo multímetro;</li> <li>○ 3: Sinaliza um erro, indica que o valor está acima da escala permitida pelo multímetro;</li> </ul> </li> </ul>
0x402	Leitura	Word menos significativo do valor da amperagem ou voltímetro dependo da função assumida do Multímetro com ID=1
0x403	Leitura	Word mais significativo do valor da amperagem ou voltímetro dependo da função assumida do Multímetro com ID=1

0x404 = 0x400 porém para o multímetro com ID=2

0x405 = 0x401 porém para o multímetro com ID=2

0x406 = 0x402 porém para o multímetro com ID=2

0x407 = 0x403 porém para o multímetro com ID=2

E assim sucessivamente até o multímetro 16

## Anexo 1: Raspberry Pi – Especificações Técnicas



# Raspberry Pi



### MODEL B+

**Product Name** Raspberry Pi Model B+

**Product Description** The Raspberry Pi Model B+ incorporates a number of enhancements and new features. Improved power consumption, increased connectivity and greater IO are among the improvements to this powerful, small and lightweight ARM based computer.

#### Specifications

<b>Chip</b>	Broadcom BCM2835 SoC
<b>Core architecture</b>	ARM11
<b>CPU</b>	700 MHz Low Power ARM1176JZFS Applications Processor
<b>GPU</b>	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
<b>Memory</b>	512MB SDRAM
<b>Operating System</b>	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system
<b>Dimensions</b>	85 x 56 x 17mm
<b>Power</b>	Micro USB socket 5V, 2A

#### Connectors:

<b>Ethernet</b>	10/100 BaseT Ethernet socket
<b>Video Output</b>	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
<b>Audio Output</b>	3.5mm jack, HDMI
<b>USB</b>	4 x USB 2.0 Connector
<b>GPIO Connector</b>	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
<b>Camera Connector</b>	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
<b>JTAG</b>	Not populated
<b>Display Connector</b>	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
<b>Memory Card Slot</b>	SDIO