

Trabalho de conclusão de curso



Projeto e Desenvolvimento de uma Régua Inteligente para Monitoramento do Consumo de Energia de Eletrodomésticos

Aluno: Fabiano Azevedo César Jardim

Orientador : Professor Alair Dias Júnior

Visão geral

Construção de um dispositivo que seja capaz de medir o consumo de energia elétrica e de uma interface para mostrar os dados calculados.

Régua Inteligente = *hardware* + *software*

Sumário

1. Motivação
2. Objetivo
3. Metodologia
4. Especificações do sistema
5. Materiais e métodos
6. Resultados
7. Conclusões
8. Considerações finais

Motivação

- Sustentabilidade;
- *Internet of Things* (IoT);
- *Big data*.

Objetivo

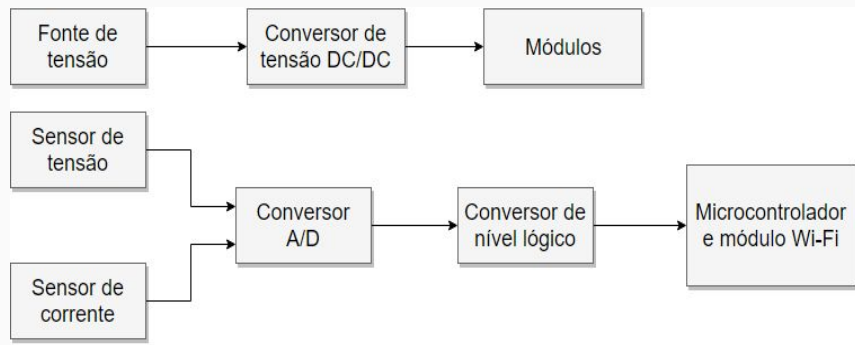
Construir uma Régua Inteligente que possibilitará o monitoramento local ou remoto de energia elétrica e apresentará as informações obtidas através de uma interface construída para navegadores Web.

Metodologia

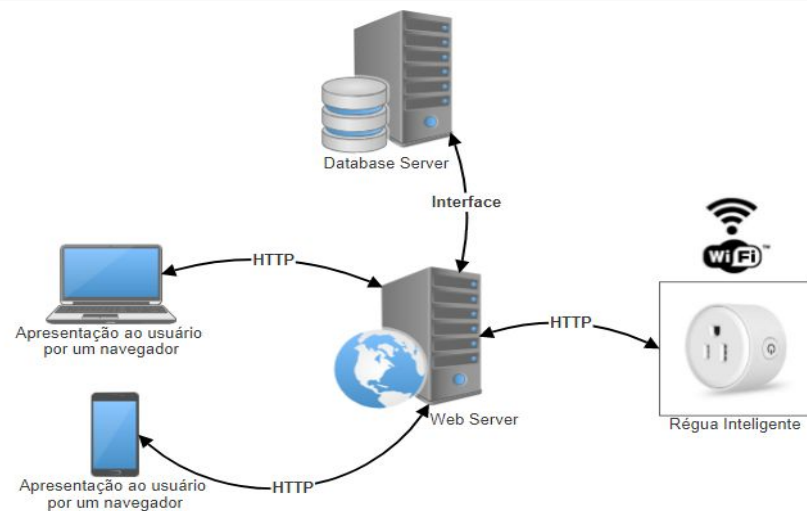
- Revisão de trabalhos;
- Especificações do sistema;
- Pesquisar e selecionar os componentes do *hardware*;
- Pesquisar e selecionar as ferramentas de *software*;
- Montar o *hardware*;
- Implementar o *software*;
- Integrar o *hardware* com o *software*;
- Validar o dispositivo.

Especificações do sistema

Hardware:



Software:



Especificações do sistema (*hardware*)

Sensor de tensão:

- Faixa de medição deve estar entre $\pm 220V_{ef}$ ou mais;
- Nível máximo de tensão suportado deve ser no mínimo $\pm 240V_{ef}$.

Sensor de corrente:

- Faixa de medição deve estar entre $\pm 15A$ ou mais;
- Nível máximo de corrente suportada deve ser no mínimo $\pm 20A$.

Quanto maior for a banda de passagem dos sensores, melhor será.

Especificações do sistema (*hardware*)

Tabela	P_{av} (W)	P_{av} dos os aparelhos com potência ≤ 4400 W (W)	Potência Máxima (W)	Potência Mínima (W)	I_{av} para tensão de 127 Vrms (A)	I_{av} para tensão de 220 Vrms (A)
1	2531	718	52200	10	6	3
2	1079	1079	4400	40	9	5
3	1418	798	12100	10	6	4
4	1606	1023	7500	50	8	5
5	2243	737	38000	5	6	3
6	592	487	5500	3	4	2
7	741	602	6600	9	5	3
8	522	447	4500	6	4	2

Especificações do sistema (*hardware*)

Conversor A/D:

- Taxa de amostragem próxima de 1000 amostras por segundo;
- A resolução deve ser de 12 bits;
- A quantidade de canais deve ser 4.

Microcontrolador:

- Deve possuir um *hardware* e *firmware* que facilite a comunicação Wi-Fi;
- Deve possuir memória suficiente para armazenar o programa que processará os dados e estabelecerá a comunicação com o servidor web.

O tipo de comunicação entre o conversor A/D e microcontrolador deve ser serial.

Especificações do sistema (*hardware*)

Para todos:

- As tensões de operação devem ser de 0 a 5V ou 0 a 3,3V;
- O consumo de energia dos módulos deve ser o menor possível.

Especificações do sistema (*software*)

Servidor web:

- Deverá ser capaz de tratar 400 requisições por segundo;

API:

- Deverá tratar as requisições entregues ao servidor;
- Bibliotecas ou frameworks devem ser utilizados para facilitar a realização do tratamento.

Banco de dados:

- Deverá existir um banco de dados para que os dados da aplicação possam ser armazenados e recuperados de uma forma estruturada.

Especificações do sistema (*software*)

Interface de visualização:

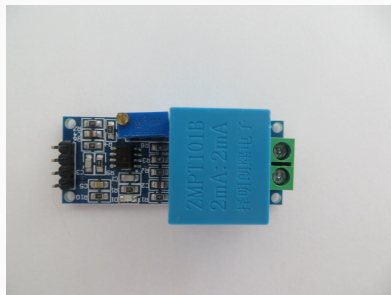
- Deverá ser desenvolvida para o ambiente de navegadores e deverá possuir informações (gráficos e consumo total) relevantes ao usuário;
- Deverá ser desenvolvida com a utilização de bibliotecas ou frameworks mais utilizados atualmente.

Microcontrolador:

- O software do microcontrolador deverá comunicar com o conversor A/D para processar os dados convertidos por ele e enviar a informação gerada ao servidor web.

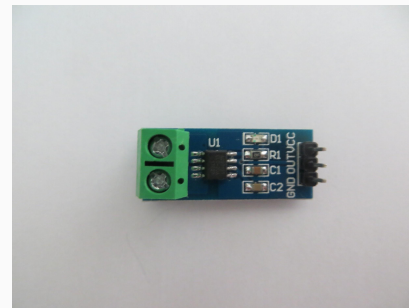
Materiais e métodos (*hardware*)

Sensor de tensão ZMPT101B:



Parâmetro	Valor
Tensão de alimentação do módulo	5 a $30V_{dc}$
Corrente de consumo	$2mA$
Potência consumida	$10mW$ (à $5V_{dc}$ de alimentação)
Tensão de entrada	$\pm 250V_{ef}$
Tensão de saída	0 a $5V$
Frequência de operação	50 a $60Hz$
Precisão de leitura	$\pm 0,5\%$
Temperatura de operação	$-40^{\circ}C$ a $70^{\circ}C$
Dimensões	$49mm \times 19mm \times 22mm$
Peso	20g

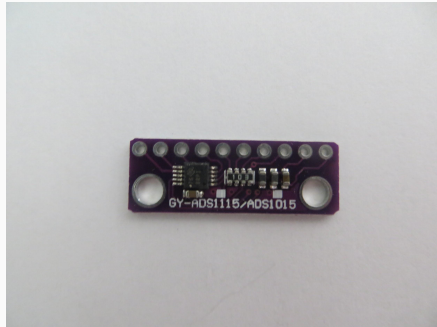
Sensor de corrente ACS712:



Parâmetro	Valor
Tensão de alimentação do módulo	$5V_{dc}$
Corrente de consumo	$10mA$
Potência consumida	$50mW$
Corrente de entrada	$\pm 20A$
Tensão de saída	0,5 a $4,5V$
Sensibilidade	$100mV/A$
Banda de passagem	$80kHz$
Precisão de leitura	$\pm 1,5\%$ em $25^{\circ}C$
Temperatura de operação	$-40^{\circ}C$ a $85^{\circ}C$
Dimensões	$31mm \times 13mm \times 11mm$
Peso	$< 1g$

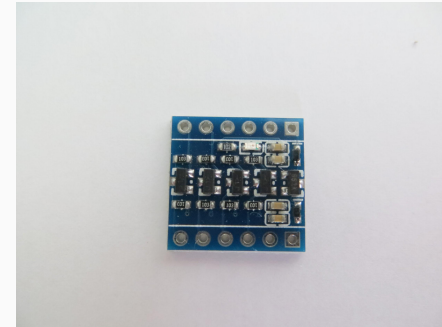
Materiais e métodos (*hardware*)

Conversor A/D ADS1015:



Parâmetro	Valor
Tensão de alimentação do módulo	2 a $5V_{dc}$
Corrente de consumo	$150\mu A$ em $25^{\circ}C$
Potência consumida	$0,75mW$ (à $5V_{dc}$ de alimentação)
Quantidade de canais	4
Resolução	12bits
Taxa de amostragem programável	128sps a 3,3ksps
Comunicação serial	I2C
Temperatura de operação	$-40^{\circ}C$ a $125^{\circ}C$
Dimensões	25mmX9mmX2mm
Peso	< 1g

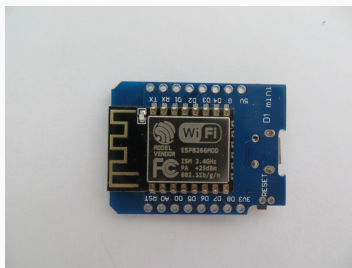
Conversor lógico:



Parâmetro	Valor
Tensões de alimentação	3,3V e 5,5V
Máxima corrente suportada	150mA
Máximo <i>baud rate</i> estável	28800bps
Dimensões	16mmX16mmX2mm
Peso	< 1g

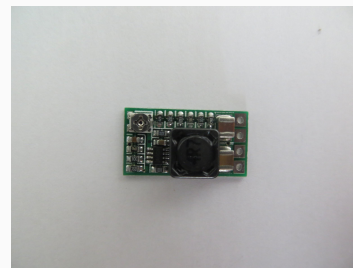
Materiais e métodos (*hardware*)

Microcontrolador ESP8266 D1 mini:



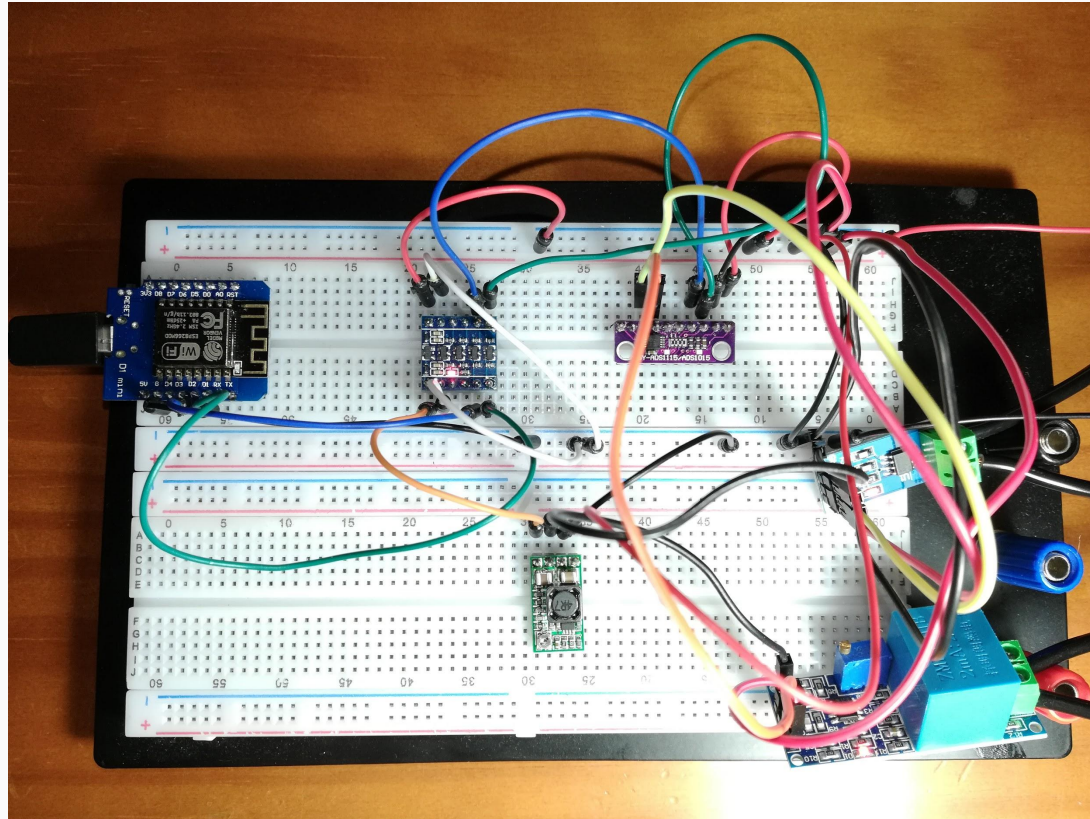
Parâmetro	Valor
Tensão de alimentação	$3,3V_{dc}$
Corrente de consumo	$80mA$
Potência consumida	$264mW$
Quantidade de pinos digitais I/O	11
Quantidade de pinos analógicos	1
Mémoire flash	$4MB$
Comunicação serial	I2C
Firmware	NodeMCU
Stack TCP/IP integrada	Sim
Suporte aos protocolos Wi-Fi	802.11 b/g/n
Tipo de antena	PCB Trace
Temperatura de operação	$-40^{\circ}C$ a $125^{\circ}C$
Dimensões	$34mm \times 25mm \times 8mm$
Peso	$5g$

Conversor DC/DC:



Parâmetro	Valor
Tensão de alimentação	$4,5$ a $24V_{dc}$
Máxima corrente suportada	$3A$
Eficiência	$97,5\%$
Precisão da conversão de tensão	$\pm 0,5\%$
Dimensões	$20mm \times 10mm \times 5mm$
Peso	$< 1g$

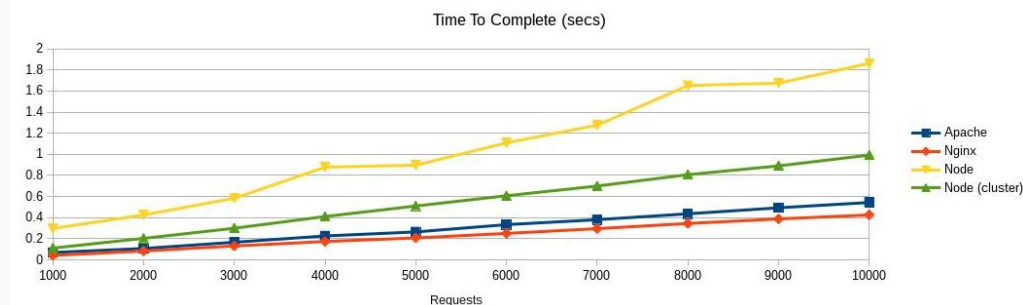
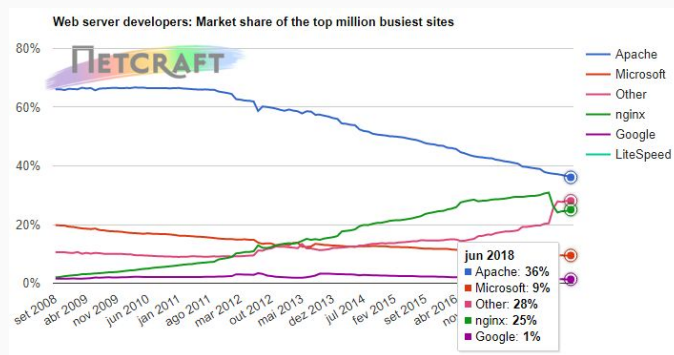
Materiais e métodos (*hardware*)



Materiais e métodos (software)

Servidor HTTP Apache:

- Facilidade de encontrar informações;
- Boa documentação;
- *Open source*;
- Desempenho suficiente.



Materiais e métodos (*software*)

Banco de dados MySQL:



- Facilidade de encontrar informações;
- Boa documentação;
- *Open source*;
- Desempenho suficiente.

API Python:



- Facilidade de encontrar informações;
- Boa documentação;
- Muitos frameworks, bibliotecas e pacotes disponíveis;
- Simplificação do desenvolvimento de softwares complexos.

Materiais e métodos (*software*)

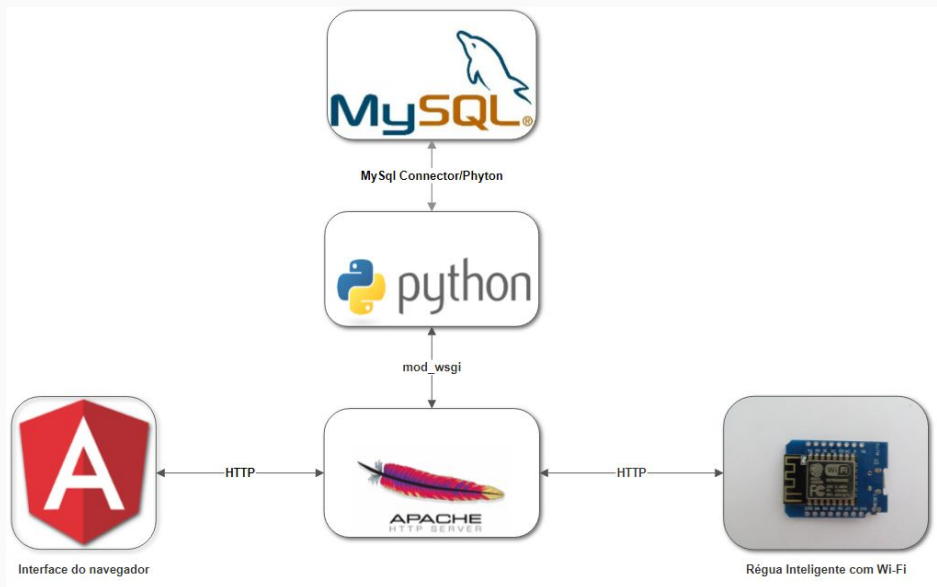
Interface Angular:



- *Single page application;*
- Alta performance;
- Facilita a implementação de requisições HTTP;
- *Open source.*

Materiais e métodos (software)

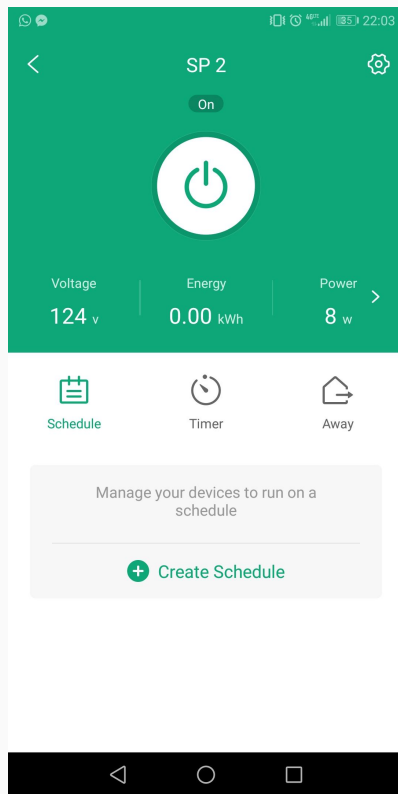
Estrutura completa:



Resultados



Voltson WiFi Outlet



```
COM4
n: 1252
V_rms: 124.01540
V_max: 174.38400
V_min: -177.49800
I_rms: 0.07333
I_max: 0.10264
I_min: -0.11618
apparent_power: 9.09374
active_power: 7.82305
reactive_power: 4.63638
power_factor: 0.86027
2018-12-5-4 21H 4M 1S

n: 1251
V_rms: 124.10073
V_max: 174.38400
V_min: -177.49800
I_rms: 0.07277
I_max: 0.10264
I_min: -0.11618
apparent_power: 9.03141
active_power: 7.77906
reactive_power: 4.58830
power_factor: 0.86133
2018-12-5-4 21H 4M 6S

n: 1253
V_rms: 124.33552
V_max: 174.38400
V_min: -177.49800
I_rms: 0.07269
I_max: 0.10264
I_min: -0.11618
apparent_power: 9.03737
active_power: 7.76238
reactive_power: 4.62813
power_factor: 0.85892
2018-12-5-4 21H 4M 11S
```

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v[n]i[n]$$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u[n]^2}$$

$$S = V_{rms}I_{rms}$$

$$F.P. = \frac{P}{S}$$

Resultados

Cargas Testadas	Pi(W)	Ii(A)	F.P.i	Pv(W)	Pr(W)	Ir(A)	F.P.r
Lâmpada LED Philips	8	0,075	0,92	9,000	7,733	0,07503	0,827
Lâmpada fluorescente FLC	15	0,216	0,55	15,821	12,955	0,21343	0,481
Lâmpada fluorescente Golden	15	0,191	0,50	14,750	11,909	0,18397	0,515
Lâmpada incandescente OSRAM	100	0,790	-	91,136	90,871	0,78904	0,919
Ventilador Mondial maxi power 30	50	0,390	-	47,563	45,283	0,40905	0,879
Ventilador Britânia C50 turbo 200W	200	1,500	-	114,000	101,567	1,02235	0,797
Secador de cabelo Taiff	1200	9,500	-	610,523	623,890	5,50658	0,944
TV Samsung	110	0,870	-	65,793	62,076	0,59632	0,834

Cargas Testadas	$(Pr-Pi)*100/Pi$	$(Ir-Ii)*100/Ii$	$(F.P.r-F.P.i)*100/F.P.i$	$(Pr-Pv)*100/Pv$
Lâmpada LED Philips	-3,336	0,036	-10,152	-14,077
Lâmpada fluorescente FLC	-13,635	-1,188	-12,598	-18,119
Lâmpada fluorescente Golden	-20,604	-3,679	2,947	-19,259
Lâmpada incandescente OSRAM	-9,129	-0,121	-	-0,291
Ventilador Mondial maxi power 30	-9,433	4,885	-	-4,792
Ventilador Britânia C50 turbo 200W	-49,216	-31,843	-	-10,906
Secador de cabelo Taiff	-48,009	-42,036	-	2,189
TV Samsung	-43,567	-31,458	-	-5,650

Conclusões

- Os módulos de *hardware* selecionados funcionam;
- Melhorar a calibração dos sensores;
- Resta desenvolver o servidor e a interface de visualização;
- Desenvolvimento de habilidades.

Informações

- <https://github.com/fabianojardim/smart-plug>

Obrigado!