

# Controle de luminosidade de uma lampada LED

Luiz Henrique Nunes de Oliveira<sup>\*2</sup>, Rick Eichi Arnor Yamamoto<sup>#3</sup>

Docente: Prof<sup>o</sup> Gilmar Silva Beserra

Universidade de Brasília-FGA

<sup>2</sup>luizhenrique.nunesdeoliveira@gmail.com

<sup>3</sup>reay2595@gmail.com

**Resumo**— Este documento fornece o progresso do projeto de Controle de Luminosidade de uma Lâmpada LED a níveis de Software e Hardware utilizando o microcontrolador MSP430 FR2433, por meio de descrição da teoria utilizada por meio de programação no Software Code Composer Studio, avaliação de resultados preliminares e das dificuldades enfrentadas e solucionadas.

## 1. INTRODUÇÃO

O controle da luminosidade é muito importante, pois a má iluminação em indústrias ou salas de estudo, por exemplo, na primeira pode causar sérios acidentes e no outro exemplo sonolência e desânimo. Da mesma forma que a falta de iluminação pode atrapalhar, iluminação excessiva pode também prejudicar a visão e as atividades feitas em determinados lugares.

Isto posto este projeto busca controlar a luminosidade de uma lâmpada LED, podendo essa ser configurada manualmente ou deixar que o próprio sistema se regule automaticamente, para isso o usuário pode seguir a norma NBR 5413, que propõem a luminosidade em lux para diversos ambientes:

*“A Norma NBR 5413 estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.”*

A técnica usada para regular a luminosidade permite ainda um menor consumo energético, pois a lâmpada não fica o tempo todo ligada. Outra vantagem é que as lâmpadas LEDs têm uma eficiência energética maior em comparação com as lâmpadas convencionais (fluorescente e incandescente). Lâmpada incandescentes além de

estar em desuso tem durabilidade apenas de 1.000 horas, a fluorescente 6.000 horas e a LED 50.000 horas. A lâmpada LED ganha também no consumo, onde uma lâmpada LED de 8 Watts equivale a uma lâmpada incandescente de 60 Watts e uma fluorescente de 15 Watts, sendo a primeira com um consumo apenas de 1.000 kWh.(Talía Simões dos Santos et al., 2015).

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Hardware

#### 2.1.1. MSP430

A justificativa de utilizar a MSP430 FR2433 para este projeto por possuir um desempenho de baixo consumo, os modos de clock da MSP430 permite a utilização de diferentes frequências para modelar um pulso de onda para o funcionamento do PWM, que é o responsável pelo controle de luminosidade da lâmpada LED. Além disso, o microcontrolador apresentou rápida resposta à multiplexação, de forma a retornar os valores do sensores com especificações.

O MSP430 fará o papel do controlador do nosso sistema Fig. 1, onde o mesmo receberá o sinal do sensor e irá comparar com a luminosidade desejada no ambiente. Dependendo do valor da diferença entre a luminosidade desejada e a luminosidade medida, o controlador atuará enviando sinais de controle para o circuito analógico.

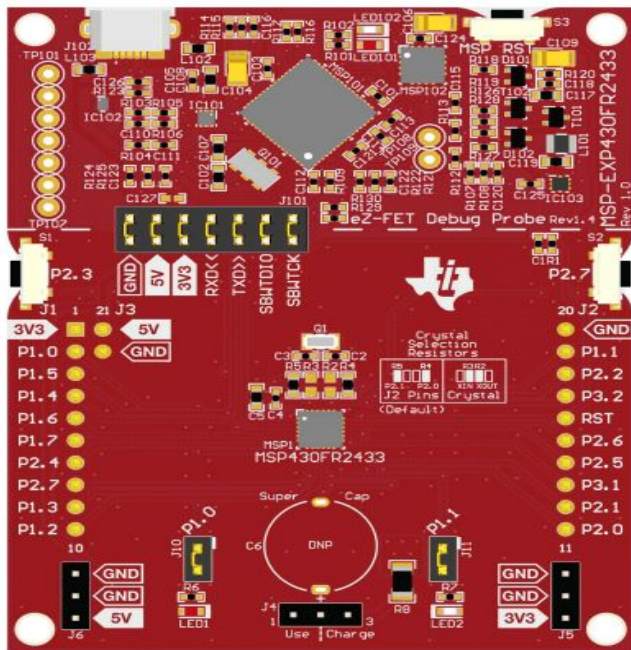
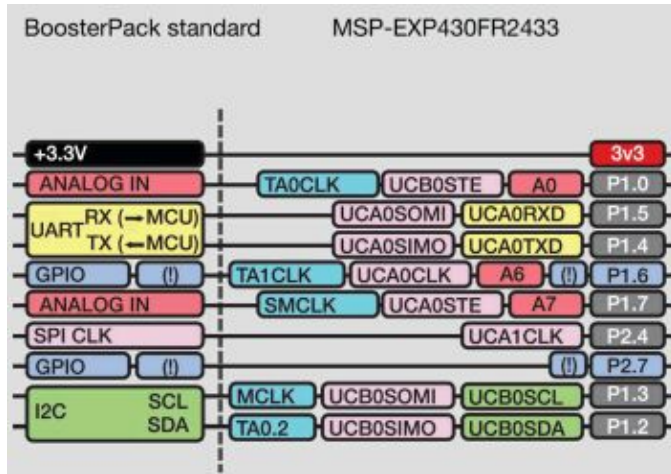
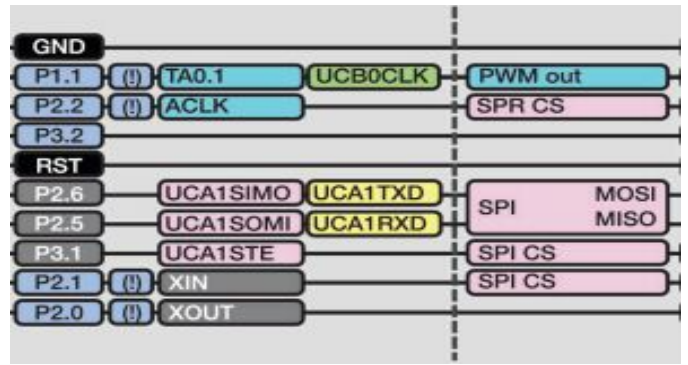


Figura 1: Esquemático MSP430-FR2433.

As características de cada pino corresponde com a imagem do *datasheet* abaixo:



(a)



(b)

Figura 2: Mapeamento das funções da portas da MSP430 nas figura (a) e (b).

#### 2.1.1.1. Conversor Analógico/ Digital

O conversor utilizado no projeto é o conversor A/D por aproximação sucessiva do MSP430, que converte um sinal analogico apresentado na porta em um sinal digital de 10 bits. Esse tipo de conversor utiliza vários ciclos de clock para realizar a conversão, assim o clock do conversor é uma variável importante no projeto. O conversor da MSP possui um clock interno de 5 MHz.

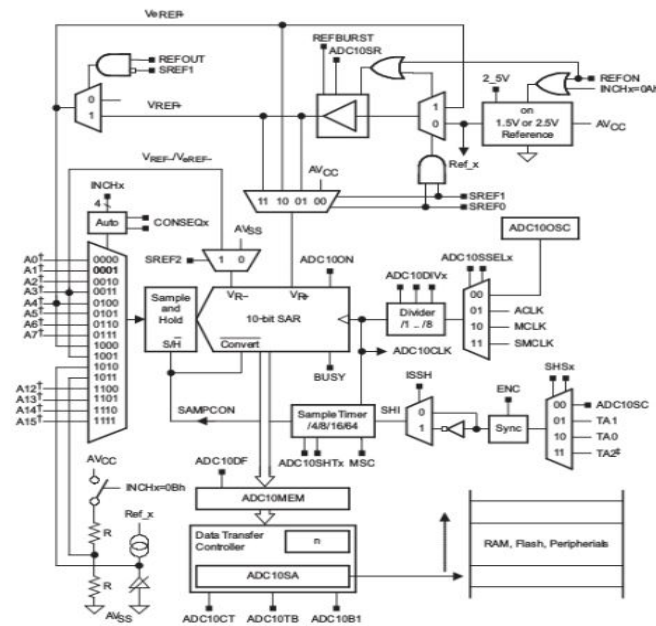


Figura 3: Esquemático conversor A/D MSP430.

O conversor A/D que ler o valor da tensão em cima dos sensores está configurado de acordo com o código abaixo:

```

void ConfigADC10(){
    SYSCFG2 |= ADCPCTL0; //Configura A0
    ADCCTL0 |= ADCSHT_4 | ADCON;
    // ADCON, S&H=64 ADC clks
    ADCCTL1 |= ADCSHP | ADCSSEL_1;
    // Tempo de amostragem
    ADCCTL2 |= ADCRES; // Conversor de 10 bits
    ADCMCTL0 |= ADCINCH_0;
    ADCCTL0 |= ADCENC;
}

```

A resolução em volt por bit do conversor A/D pode ser calculado por:

$$Res = V * \frac{1}{2^n - 1}, \quad (2.1)$$

onde  $V$  é a tensão 5 V do conversor da MSP, e  $n$  é o número de bits que representam a tensão convertida. O erro máximo deste conversor é igual a:

$$Erro = \frac{Res}{2}. \quad (2.2)$$

#### 2.1.1.2. Timer A

Como dito anteriormente para fazer o controle da lâmpada LED foi utilizado a técnica de PWM( Pulse Width Modulation), que consiste em modular uma onda quadrada mantendo a frequência de operação dessa onda constante, porém mudando quanto tempo ela fica em nível alto ou em nível baixo.

Isto posto, foi necessário utilizar o contador da MSP430, o *Timer A* (Fig. 4). O Timer A é um contador muito versátil e se encontra na maioria das versões da MSP430. Basicamente existem duas funcionalidade principais do Timer A: modo de captura e o modo de comparação.

O modo de captura funciona como um conversor de 1 bit, que ao ocorrer uma mudança na entrada ele salva o valor em que estava o contador. Já o modo de comparação gera interrupções em intervalos de tempos específicos podendo assim gerar ondas quadradas na saída.

Desta forma para atender os requisitos do projeto configurou-se o Timer A, para operar com um clock de 1MHz e contar até 500, ou seja, o período da onda do PWM vai ser de:

$$T = \frac{500}{1 \cdot 10^6} = 0,5 \text{ ms} \quad (2.3)$$

$$f = 2,0 \text{ kHz} \quad (2.4)$$

Nesta configuração a cintilação da lâmpada não será perceptível a olho nu, pois segundo Guido

Stolfi(2008) esta cintilação crítica, a depender do ângulo de observação, pode variar entre 15 Hz e 100 Hz e o Timer A esta configurado a uma frequência  $f$  de 2,0 kHz.

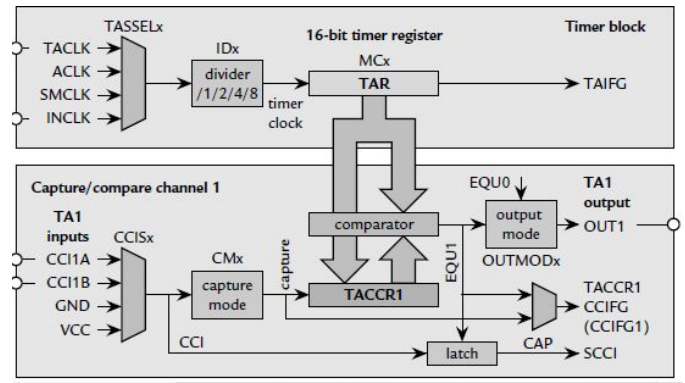


Figura 4: Diagrama de blocos do Timer A.

#### 2.1.2. Sensor de Luminosidade

O sensor de luminosidade utilizado é um Resistor Dependente de Luz (LDR, Fig.5). Isto posto ao se incidir luz sobre o LDR sua resistência diminui e quando não incidência de luz sua resistência aumenta.



Figura 5: Sensor resistivo dependente de luz.

A depender do seu material de fabricação algumas características são modificadas como sua resposta espectral(Fig. 6). Na equação 2.5 a variável  $\alpha$  também muda a depender do material na Seção 3 é analisado como o sensor que foi utilizado varia sua resistência com a variação da intensidade da luz e qual é o seu  $\alpha$ .

$$R_{LDR} = R_{DARK} \times L^{-\alpha} \quad (2.5)$$

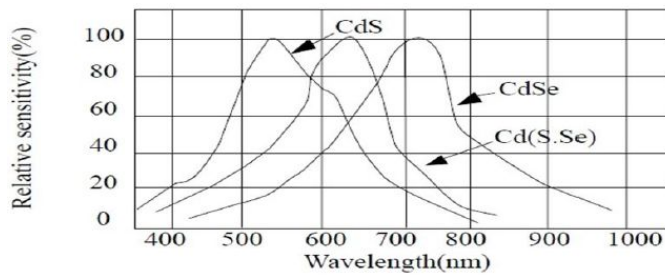


Figura 6: Resposta espectral do LDR, onde o eixo das abscissas é a largura de onda da luz e o eixo das ordenadas é a sensibilidade relativa.

### 2.1.3. Multiplexador

A utilização do Multiplexador CI HEF4052 se deve ao fato do modelo da MSP430 utilizado apenas conter 3 portas de entradas analógicas, sendo que é necessária utilização de mais portas, portanto, foi utilizado 4 portas multiplexadas para cada um dos 4 sensores LDR, com o intuito de otimizar o projeto.

O multiplexador analógico de 8 canais com chave de seleção digital. Este CI pode ser usado tanto como multiplexador ou demultiplexador a depender das conexões feitas com o CI. Na Figura 8 se encontra o *Data sheet* do dispositivo.



Figura 7: CI multiplexador analógico.

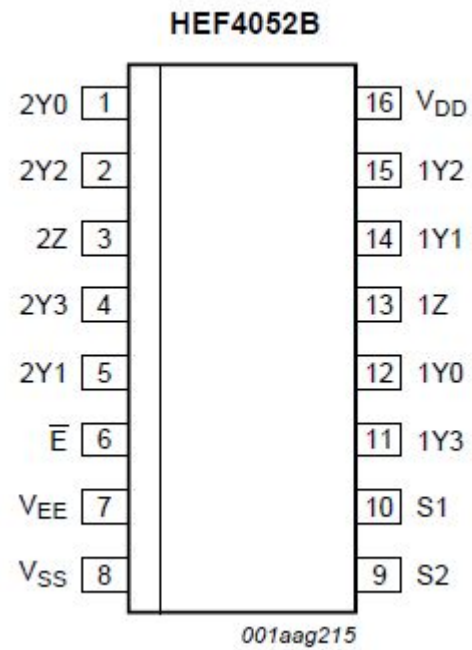


Figura 8: Esquematico do multiplexado HEF4052B.

Segue então a configuração das portas do CI onde cada saída/entrada do CI está configurada:

1. 2Y0: *Input* independente 2Y0
2. 2Y2: *Input* independente 2Y2
3. 2Z: Saída comum 1
4. 2Y3: *Input* independente 2Y3
5. 2Y1: *Input* independente 2Y1
6. E: Enable
7. Vee: Tensão de alimentação negativa
8. Vss: *Ground* do chip
9. S2: Bit mais significativo
10. S1: Bit menos significativo
11. 1Y3: *Input* independente 1Y3
12. 1Y0: *Input* independente 1Y0
13. 1Z: Saída comum 2
14. 1Y1: *Input* independente 1Y1
15. 1Y2: *Input* independente 1Y2
16. Vdd: Tensão de alimentação positiva

#### 2.1.3.1. Circuito Multiplexador

O sistema de controle utiliza a MSP para calcular o nível de intensidade luminosa e controlar a luminosidade da lâmpada, esse cálculo de luminosidade é baseado na resistência dos sensores LDR. Para medir essas resistências é necessário um



resistor de comparação em série com cada sensor LDR, assim a partir desse divisor resistivo de tensão o valor de resistência do LDR é passado indiretamente como tensão para o MSP. Com objetivo de minimizar espaço e principalmente economizar o número de portas lógicas utilizadas na implementação o CI multiplexador foi utilizado conforme a figura abaixo.

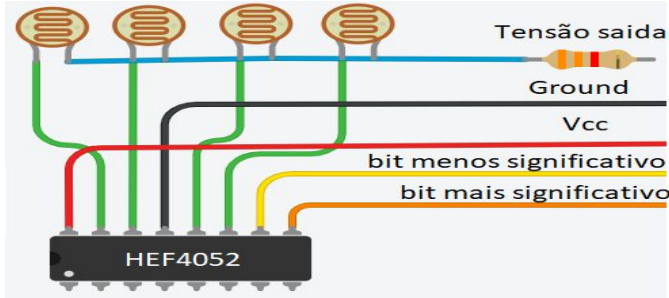


Figura 9: Circuito esquemático dos sensores LDR.

No circuito foram utilizados apenas 4 das 8 canais de multiplexação do CI. O *ground* e a tensão *Vcc* utilizadas foram as portas *gnd* e 5 Volts da MSP, e os terminais *Vee* e *Vss* foram conectados juntos ao *ground* para garantir um funcionamento correto do CI. As portas de bit mais e menos significativo foram conectados a duas saídas digitais da MSP, e a tensão de saída do circuito acima foi conectada a uma entrada analógica do microcontrolador.

O circuito descrito anteriormente, juntamente com o algoritmo programado no microcontrolador conecta um LDR ao *ground*. Com isso a tensão da porta analógica do MSP pode ser calculada como um divisor resistivo de tensão com o seguinte equacionamento:

$$V_{in} = 5 * \frac{R_{LDR}}{R_{teste} + R_{LDR}}, \quad (2.6)$$

onde  $R_{LDR}$  é a resistência do sensor LDR e  $R_{teste}$  é um resistor de teste de valor 3,3 K $\Omega$ . A partir da equação 2.6 foi encontrado uma equação que relaciona a tensão do divisor a resistência do sensor LDR.

$$R_{ldr} = \frac{V * R_{3,3}}{V_+ - V} \quad (2.7)$$

Na equação 2.7  $V$  é a tensão medida no divisor,  $R_{3,3}$  é o resistor de 3,3 K $\Omega$  escolhido e  $V_+$  é a tensão de 5 volts.

## 2.2. Software

Para fazer o controle da lâmpada, a lógica implementada seria de estabelecer limites de erro entre a média de referência e a média do ambiente e assim dessa forma decidir se o valor de *Duty Cycle* aumenta ou diminui.

Porém esta lógica não funcionava como o esperado e foi optado por fazer limites de entre as diferenças das médias. Na Figura 10 observa se como a primeira solução funcionava e na Seção 3 discutiremos os resultados e como foi aumentado a complexidade do algoritmo.

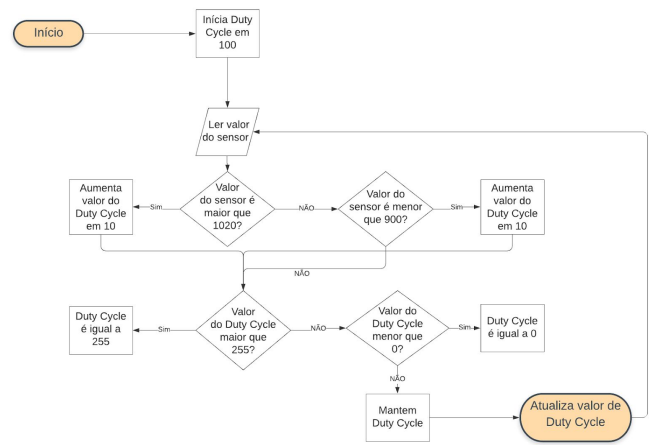


Figura 10: Diagrama de blocos primeira versão.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Hardware

A nível de hardware chegou se ao resultado da Figura 11, que expõem como ficou organizado as conexões da MSP430 com os outros dispositivos. Nos tópicos seguintes será detalhado os resultados de cada parte do hardware implementado.

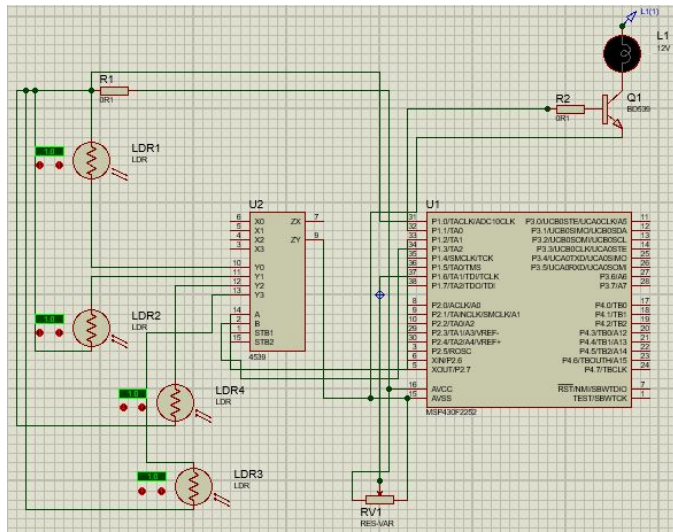


Figura 11: Esquema do hardware do prototipo.

### 3.1.1. Conversor A/D

A resolução do conversor A/D é quantificada a partir da equação:

$$Res = 5 * \frac{1}{2^n - 1} = 5 * \frac{1}{2^{10} - 1} = 4,88 \text{ mV/bit} \quad (3.1)$$

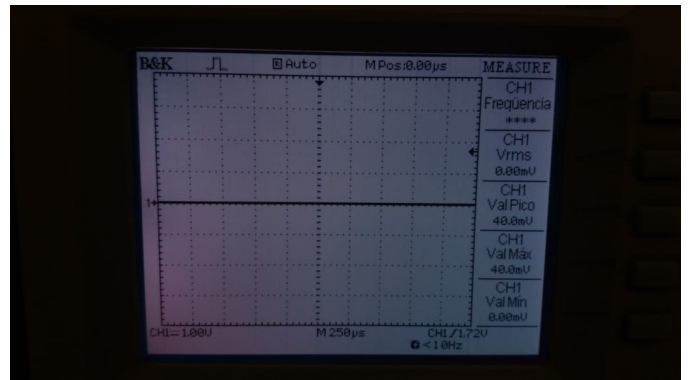
O erro máximo deste conversor foi calculado de forma:

$$Erro = \frac{Res}{2} = \frac{4,88 \text{ mV}}{2} = 2,44 \text{ mV} \quad (3.2)$$

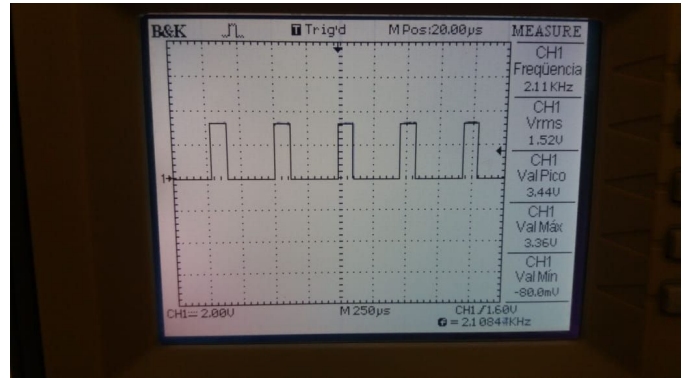
Esses resultados atendem ao escopo do projeto, pois trás valores de sensibilidades aceitáveis de tensão por bit e erro de 2,44 mV na medição da tensão dos sensores.

### 3.1.2. Timer A

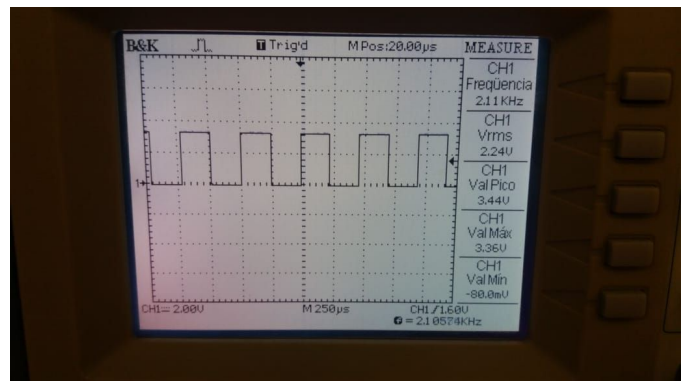
Na Figura 12, pode se observar que a frequência de da onda é de 2,1 kHz, que da um erro absoluto de 5% em relação a frequência calculada na equação 2.4.



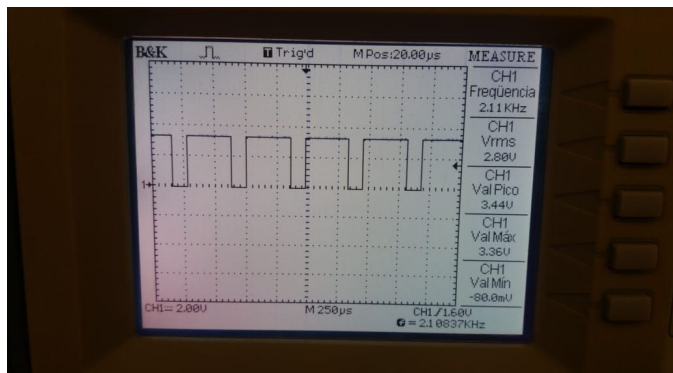
(a)



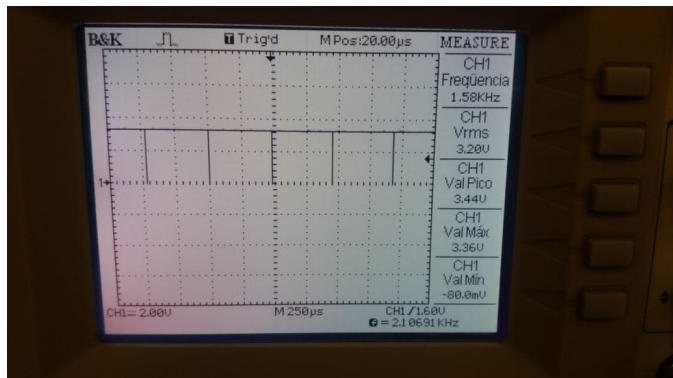
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 12: (a) Duty cycle em 0%; (b) Duty cycle em 25%; (c) Duty cycle em 50%; (d) Duty cycle em 75%; (e) Duty cycle em 100%.

### 3.1.3. Sensor

Foram feitos teste para obter o valor de  $\alpha$  que caracteriza o sensor. Para achar este valor foi utilizado um aplicativo Android chamado Medidor de Luz o2 Led. Para medir o valor da resistência no LDR foi utilizado o multímetro MXT-DT830D, isto posto foi incidido diferentes intensidades de luz e foi obtido o seguinte resultado apresentado na Tabela 1.

Para o cálculo do  $\alpha$  foi utilizado a equação 3.3, que foi desenvolvida a partir da equação 2.5.

$$\alpha = \frac{\log_{10}(R_{\text{LDR}}) - \log_{10}(R_{\text{LDR}})}{\log_{10}(L)} \quad (3.3)$$

Tabela 1: Resultados do calculo de  $\alpha$ .

L (lux)	$R_{\text{LDR}}$ ( Ohm)	$\alpha$
2890	744	0,472
2770	765	0,471

2684	800	0,467
2598	824	0,465
2500	855	0,462
2392	885	0,461
2381	897	0,459
2273	934	0,457
2183	973	0,454
2035	1032	0,450
1960	1085	0,446
1794	1168	0,441
1686	1211	0,440
1506	1318	0,435
1365	1413	0,432
1250	1530	0,426
1181	1588	0,424
1102	1660	0,422
954	1818	0,418
843	1989	0,412
778	2100	0,409
681	2300	0,409
554	2690	0,391
475	2910	0,389
367	3460	0,376
252	4420	0,358
115	6660	0,330
91	7950	0,308

46	8900	0,334
----	------	-------

Fazendo o somatório de todos os valores de alpha e dividindo pela quantidade de amostras medidas, obtivemos um alpha médio igual:

$$\alpha_{Medio} = \frac{\sum \alpha_i}{N} = 0,421 \quad (3.4)$$

Desta forma para validar o valor de alpha obtido, comparou-se o valor medido no aplicativo que foi utilizado como referência e o valor da equação 3.4 onde a substitui-se o valor de  $R_{LDR}$  pela equação 2.4, assim é possível relacionar a tensão em cima do sensor em Volts e a intensidade de luz em lux. A equação da resistência do LDR é

$$R = R_{dark} * L^{-\alpha}, \quad (3.3)$$

onde  $R_{dark}$  é o valor de resistência do LDR sem a presença de luz, L é a quantidade de luz medida em lux e  $\alpha$  é uma constante fornecida pelo fabricante. A partir da equação 3.3 foi obtida a seguinte expressão que calcula a quantidade de luminosidade incidente em lux.

$$L = \left( \frac{R}{R_{dark}} \right)^{\frac{1}{-\alpha}}, \quad (3.4)$$

Com a equação 3.4 chegou se ao seguintes gráficos de Lux por Volts:

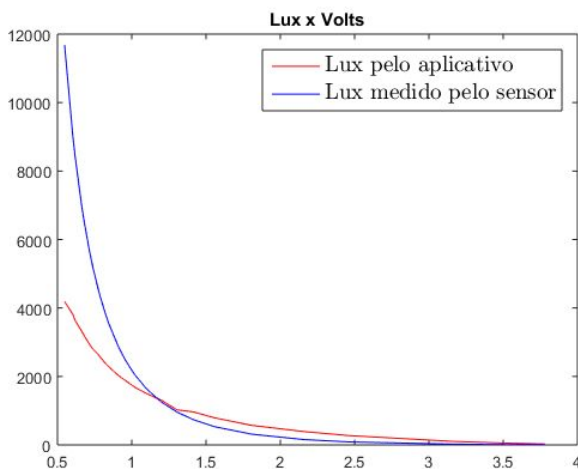


Figura 13: Gráfico de lux versus tensão em escala normal.

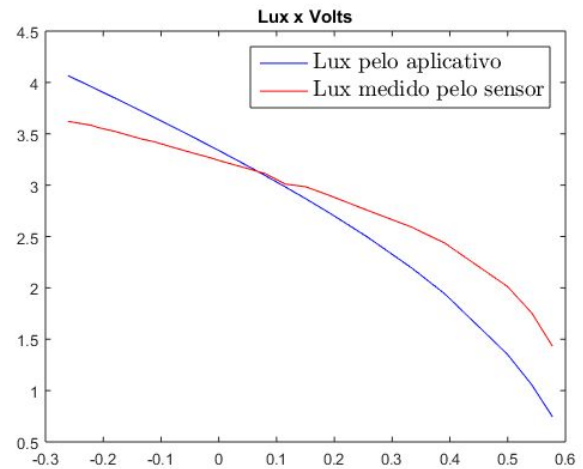


Figura 14: Gráfico de lux versus tensão escala log log.

Analisando os resultados obtidos, é fácil ver que o valor de alpha está adequado e próximo do valor real.

#### 3.1.4. Condicionamento do sinal

Nesta etapa de condicionamento de sinal é onde é traduzido o sinal natural do sensor, como resistência, em tensão ou corrente. Assim sendo nesta seção será apresentado como foi condicionado o sinal e como foi selecionado para que fosse possível ler diversos sensores.

##### 3.1.4.1. Multiplexador e Divisor de Tensão

O circuito que traduz o sinal de resistência do LDR em tensão foi o circuito de divisor de tensão como mostrado na Figura 4. Estes tipo de condicionamento foi escolhido, pois além da simplicidade na montagem e de baixa complexidade no seu funcionamento, consegue atender os requisitos e que o projeto se propõem.

Foram testados outras formas de condicionamento de sinal como a ponte de deflexão, porém para isto é necessário um número maior de sensores e uma lógica invertida em relação ao divisor de tensão. Enquanto no divisor quando se aumenta a luminosidade a tensão em cima do LDR diminui e quando a luminosidade diminui a tensão no LDR aumenta, com a ponte de deflexão quando a luminosidade aumenta a tensão no LDR aumenta e quando a luminosidade diminui a tensão também diminui.



Para controlar a luminosidade de um ambiente como uma sala ou até uma industria, feito os devidos ajustes, se faz necessário a utilização de vários sensores, porém a utilização de varios conversores Analogicos para Digitais (A/D) deixaria o projeto inviável pois elevaria o custo monetário e o custo energético. Desta maneira foi utilizado um multiplexador HEF4052 que multiplexa o terra entre os multiplexadores.

Alguns problemas no decorrer no desenvolvimento do projeto, como a informação errônea de tensão máxima na entrada do conversor A/D, foi resolvido conectando a saída Ë do multiplexador (Fig. 8) no terra comum do sistema.

### 3.1.5. Amplificação

A MSP430 fornece uma corrente nas portas analogicas de aproximadamente 6 mA (mili Amperes), porém a carga conectada a porta digital P1.1, que controla a luminosidade da lâmpada LED, é de 12 Volts e 1 Ampere, desta forma foi utilizado um transistor bipolar de junção(TBJ) com o objetivo de amplificar a corrente da porta digital. O circuito utilizado é mostrado na Figura 14.

Para determinar o valor do resistor  $R_b$  foi utilizado a equação 3.5:

$$R_b = \frac{(V_{DD} - 0,7)\beta}{I_c} = \frac{(3 - 0,7)300}{1} = 690 \Omega \quad (3.5)$$

Como este resultado não é um valor comercial foi utilizado um resistor de 1 k $\Omega$  (kilo Ohm).

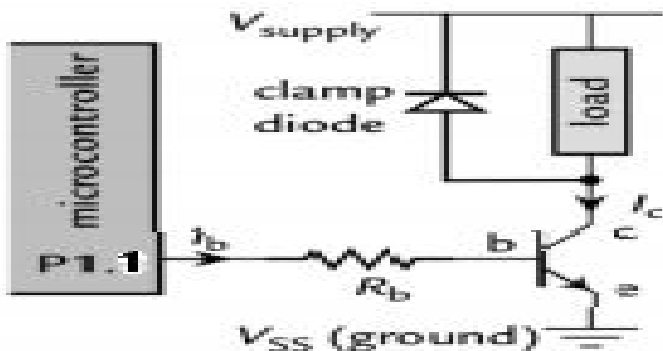


Figura 15: Circuito esquemático para conectar a porta digital da MSP430 a cargas que requerem corrente superior à fornecida pela MSP430.

### 3.2. Software

Para validar o funcionamento o protótipo foi submetido em diversos ambientes, mais iluminado, mais escuro, submetido luz intensa utilizando a

lanterna do celular e obstruindo a leitura do sensor tampando o sensor.

Dessa forma conseguiu se o algoritmo da Figura 16, que mostra de maneira geral como é feita a aquisição dos dados do sensor e a lógica de controle juntos, além também dos limites estabelecidos através de experimentos, para evitar a cintilação da lâmpada ou que o contador ultrapasse o valor máximo.

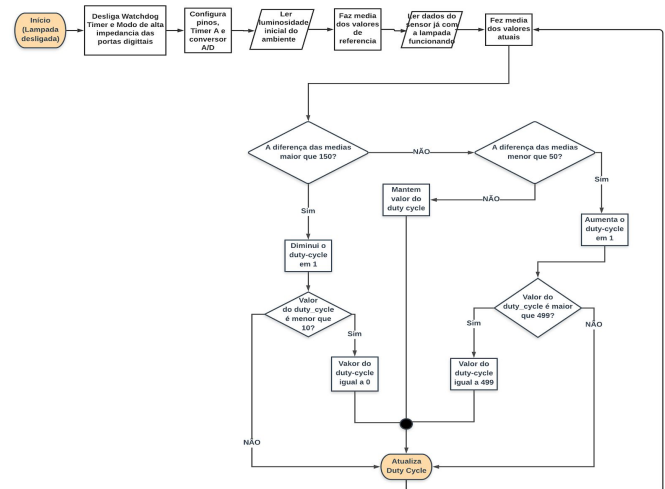


Figura 16: Diagrama de blocos projeto final.

#### 3.2.1. Controle da lâmpada LED

O valor o qual utilizamos para definir a taxa de luminosidade é decidida a partir dos sensores do LDR, o qual capta inicialmente a taxa de luminosidade ambiente por meio da média dos 4 sensores utilizados, onde a partir desse valor de referência segue se tá mais claro ou mais escuro, onde a lâmpada faz esse controle. A lógica implementada para o controle do PWM foi definida como mostra i diagrama de blocos da Figura 17.

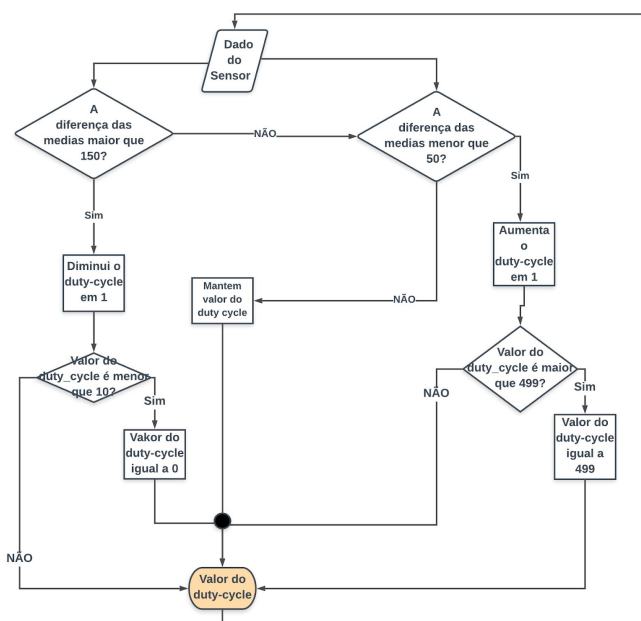


Figura 17: Lógica de controle do valor do Duty Cycle.

A lógica funciona da forma a pegar a diferença dos valores da média de referência e compara ao valor da média da leitura do sensor, caso a diferença for acima do limite definido, no caso 150, indica que o ambiente está claro, portanto reduz o *Duty Cycle*, implicando a redução da intensidade da lâmpada, segue a mesma lógica por inversamente quando o valor de referência estiver abaixo do valor do limite de 50.

### 3.3. Apresentação do sinal

Os valores captados do LDR é apresentado no *software* “Code Composer Studio”, onde foi utilizado a linguagem em C, configurado a partir de registradores onde armazena configurações de cada função utilizada pelo projeto.

Na apresentação do sinal, o “Code Composer” apresenta o valor medido na parte superior direita do programa:

Expression	Type	Value	Address
(x)= media_result	int	966	0x002014
(x)= media_ref	int	1023	0x002012
(x)= Potenciometro	unknown	identifier not foun...	
ADC_Result	int[4]	[752,1023,915,1023]	0x002008
(x)= [0]	int	752	0x002008
(x)= [1]	int	1023	0x00200A
(x)= [2]	int	915	0x00200C
(x)= [3]	int	1023	0x00200E
(x)= duty_cycle	int	48	0x002010

Figura 17: Apresentação do sinal através do IDE Code Composer Studio.

## 4. CONCLUSÃO

O projeto proposto teve com funcionalidade por em prática os conhecimentos adquiridos na disciplina Eletrônica Embarcada o qual proporcionou aplicações e fundamentação teórica em sistemas Embarcados utilizando o microcontrolador MSP430.

O projeto correspondeu com os limites impostos, alcançando um por um, sendo a utilização de um sensor, multiplexação dos 4 sensores, amplificação do sinal da lâmpada e por fim utilização de periféricos como o potenciômetro.

A captação dos valores dos sensores foram aprimorados e consequentemente apresentava um valor de sinal preciso e sensível.

Uma das melhorias que poderiam ser feitas futuramente no projeto é de fato controlar a luminosidade de uma sala utilizando as lâmpadas fluorescentes do local.

## REFERENCIAS

[1]ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas.**NBR 5413**: Iluminância de interiores. 1992:

<<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM802/NBR5413.pdf>>. Acesso em: novembro, 2019.

[2]Santos,Tália Simões dos. Batista, Marília Carone. Pozza, Simone Andréa. Rossi, Luciana Savoi. **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais.** Eng Sanit Ambient.2015.Disponível

em:<<http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n4/1413-4152-esa-20-04-00595.pdf>>. Acesso em: setembro de 2019.

[3]Silveira, Bruna Dorneles. Machado, Daiane Renata. Bezerra, Elda Celine da Silva. Otávio, José Marcos Souza. Machado, Celso Pessanha. Blando, Eduardo. Ogliari, Lucas Nunes. **Desenvolvimento de um protótipo de Luxímetro utilizando como elemento sensor um resistor dependente de luz(LDR).** Anais da IX mostra científica do CESUCA. 2015. Disponível em: <<http://ojs.cesuca.edu.br/index.php/mostrac/article/view/990>>. Acesso em: outubro, 2019.

[4]Souza, Edilson Santana. Melo, Leandro Terra C. Rodrigues, Viviane Bicalho. **Controle de Luminosidade de LED.** Laboratório de Controle e Automação 1. Disponível em:<[http://www.cpdee.ufmg.br/~palhares/relfinal\\_1ab.pdf](http://www.cpdee.ufmg.br/~palhares/relfinal_1ab.pdf)>. Acesso em: outubro, 2019.

[5]Stolfi, Guido. **PERCEPÇÃO VISUAL HUMANA.** 2008. Disponível em:<[http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/mack/Ap2\\_PercepVisual\\_M8.pdf](http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/mack/Ap2_PercepVisual_M8.pdf)>. Acesso em: novembro, 2019.