



revista científica

LINKSCIENCEPLACE
interdisciplinar

Revista Científica Interdisciplinar. ISSN: 2358-8411

Nº 3, volume 3, artigo nº 6, Julho/Setembro 2016

D.O.I: <http://dx.doi.org/10.17115/2358-8411/v3n3a6>

ESTUDO DE CIRCUITOS RC UTILIZANDO O MICROCONTROLADOR ARDUÍNO

Cicero Jailton de Moraes Souza¹
Licenciado em Física

Marcelo Souza da Silva²
Doutor em Física.

Resumo

É bem reportada a utilização de lâmpadas e LEDs para visualizar o processo de carga e descarga de um capacitor em um circuito RC, assim, possibilitando um estudo qualitativo do circuito. Este trabalho se propõe a explorar o microcontrolador Arduino para realizar um estudo quantitativo do processo de carga e descarga de um circuito RC. Foram estudadas, para tanto, as variações da luminosidade de LEDs em função da descarga do capacitor. Foi verificado que o tempo de permanência do LED aceso está diretamente relacionado com a curva de descarga do capacitor e, conseqüentemente, com o valor da capacitância equivalente. Os resultados apontam Arduino como uma ferramenta promissora para aquisição de dados, tornando possível a medição de tempos característicos da ordem de milissegundos.

Palavras-chave: Física experimental; Ensino de Física; capacitores.

Abstract

It is often reported the use of lamps and LEDs to display the charging and discharging of a capacitor in an RC circuit, thus allowing a qualitative study of circuit. This study aims to explore the Arduino microcontroller to perform a quantitative study and qualitative of the charge and discharge of an RC circuit variations in LED brightness due to discharge of the capacitor were evaluated. It was found that on the brightness time of the LED is directly related to the capacitor discharge curve and consequently the value of the equivalent capacitance. The results show, the Arduino as a promising tool for data acquisition, making possible the measurement of characteristic times of the order of milliseconds.

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - Campus Salgueiro, cicerojailton@ifsertao-pe.edu.br

² Coordenação de Física, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia - Campus Salgueiro – PE, ssilva990@hotmail.com

Keywords: Instrumentation; Physics Education; capacitors.

INTRODUÇÃO

Atividades experimentais participativas, que estimulem a intervenção crítica por parte dos estudantes e utilizem recursos tecnológicos adequados disponíveis podem contribuir para uma aproximação entre as experiências vividas pelos estudantes em seu cotidiano e as atividades desenvolvidas nas salas de aula ou laboratórios didáticos de ciências. A atual falta de vínculo observada entre o ensino de física e a realidade dos alunos, pode ser superada com a utilização de elementos que promovam a relevância dos conteúdos, dotando o objeto de estudo de significado (PANIAGO, et. al.; 2014, SILVA e RIBEIRO; 2012). As diversas transformações sociais, culturais e educacionais vivenciadas nos últimos tempos, influenciam na constituição do novo homem e condicionam a forma como pensa sobre si mesmo e suas relações como o coletivo, (SILVA et. al. 2014). A sociedade contemporânea exige cidadãos com grande capacidade crítica e reflexiva diante das questões emergentes nas diferentes mídias, esses cidadãos devem demonstrar flexibilidade para transitar livremente pelos diferentes universos culturais, exibindo um amplo domínio das tecnologias disponíveis e uma rápida adaptação às novidades. A escola deste século deve ser um espaço de integração que garanta a formação sólida deste cidadão, disposto sempre a aprender e capaz de atuar de modo crítico diante das grandes transformações tecnológicas e científicas que vivenciamos (CAVALCANTE et. al. 2014; ROCHA et. al.). Processadores, lógica de programação e dispositivos autômatos, estão presentes na vida de uma grande parcela de estudantes. Este trabalho visa utilizar um microprocessador (Arduíno) e programá-lo, para obter medidas elétricas para o estudo de capacitores.

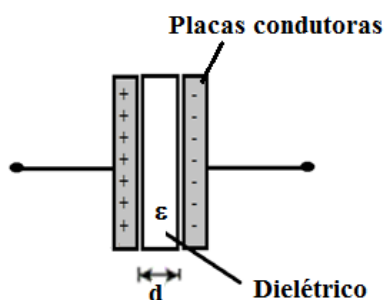


Figura 1: Ilustração de um capacitor de placas planas paralelas.
(Fonte: do autor, 2014).

Um capacitor ou condensador é um dispositivo capaz de armazenar cargas elétricas, este dispositivo difere de baterias recarregáveis, que não acumulam cargas, seu funcionamento é baseado na conversão de energia química em energia potencial elétrica, disponibilizada ao circuito. O capacitor é construído com placas condutoras separadas por um dielétrico (Figura-1). Suas principais propriedades são a capacidade de acumular cargas elétricas e de promover uma rápida disponibilização destas cargas ao circuito elétrico (ROCHA FILHO, 2005). O processo de carregamento de um capacitor ocorre quando um capacitor descarregado é submetido a uma diferença de potencial. Ele vai acumular cargas até que a tensão em seus terminais seja aproximadamente a mesma tensão a qual fora submetido. A energia elétrica é armazenada no campo elétrico que surge entre suas placas (NUSSENZVEIG, 2002). A propriedade que os capacitores têm de armazenar energia elétrica sob a forma de um campo eletrostático é chamada de capacitância (C) dada pelo quociente da quantidade de carga armazenada (Q) pela diferença de potencial (V) que existe entre as placas ($V = \frac{Q}{C}$). Para um capacitor de placas planas e paralelas separadas uma distância d por vácuo, a capacitância é dada por:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}, \quad (1)$$

Em que ϵ_0 e A são respectivamente a constante de permissividade dielétrica do vácuo e a área superficial das placas. Em um circuito onde um capacitor de capacitância C , inicialmente descarregado, e um resistor de resistência R são ligados em série a uma fonte com tensão V_0 , ocorrerá o processo de carregamento do capacitor. De acordo com a 1ª Lei de Kirchhoff, a relação entre a tensão da fonte (V_0), a tensão nos terminais do resistor ($U(t)$) e a tensão nos terminais do capacitor ($V(t)$) é dada por:

$$U(t) - V_0 + V(t) = 0, \quad (2)$$

Utilizando a equação (1) e sabendo que de acordo com a lei de Ohm $U(t) = R \cdot i(t)$, a equação (2) pode ser escrita como:

$$R \cdot i(t) = V_0 - \frac{Q(t)}{C} , \quad (3)$$

Derivando a equação (3) em relação ao tempo obtemos que:

$$\frac{di(t)}{dt} = -\frac{dQ(t)}{dt} \cdot \frac{1}{RC} , \quad (4)$$

A equação (4) equação pode ser integrada no intervalo de t_0 à t . O produto da resistência pela capacitância (RC) é definido como uma constante τ .

$$\int_{t_0}^t \frac{di}{i(t)} dt = - \int_{t_0}^t \frac{dt}{RC} , \quad (5)$$

$$i(t) = i_0 e^{-t/RC} , \quad (6)$$

A equação (6) fornece a função que define a variação da intensidade de corrente elétrica em função do tempo durante um descarregamento do circuito RC. A corrente parte de um valor inicial $i_0 = V_0/R$, que equivale à condição de curto circuito, esse valor inicial da corrente decai exponencialmente à medida que o capacitor se carrega. A constante de tempo $\tau = R \cdot C$ representa o tempo necessário para que a corrente caia para $1/e$ do seu valor inicial i_0 . Durante o carregamento o efeito da corrente é análogo, por tanto a equação (6) continua válida, porém com (t) positivo (NUSSENZVEIG, 2002). É bem relatado na literatura a utilização de lâmpadas e LEDs para estudar qualitativamente o transiente de circuitos RC (MARTINS et. al.; 2005, COSTA et. al.; 2013, MCDERMOTT E SHAFFER; 1992, SHAFFER E MCDERMOTT; 1992).

Com a utilização de capacitores de alta capacitância, ou supercapacitores, são obtidos valores elevados para τ , possibilitando a observação do transiente de circuitos RC usando lâmpadas ou LEDs. Contudo, estes capacitores se afastam do modelo de um capacitor ideal, devido a sua relevante resistência interna, implicando em uma redução na luminosidade da lâmpada e uma descontinuidade na curva de carga ou descarga na tensão em $t = 0$.

Este trabalho propõe a utilização do microprocessador Arduíno, como instrumento para estudar qualitativa e quantitativamente os processos de carga e descarga de capacitores em circuitos RC. Adicionalmente, comparou-se o comportamento da luminosidade de LEDs em função do tempo com a variação da

tensão do capacitor durante o processo de descarga. Foi observado que a precisão dos dados possibilita uma diversidade de estudos a serem explorados didaticamente. Por exemplo, é possível obter com precisão a tensão de corte dos LEDs de diferentes cores, e a partir delas calcular experimentalmente a constante de Planck, este exemplo será abordado em outro trabalho.

PROCEEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O principal instrumento de coleta de dados foi o Arduíno, uma plataforma física de computação de código aberto, constituída de uma placa microcontroladora com base em *hardware* e *software* fáceis de usar. Com ele, foram realizadas as medidas de tensão em função do tempo do capacitor. Essa plataforma também foi utilizada para medir a intensidade da luminosidade do LED durante o processo de descarga. O Arduíno possui protótipos eletrônicos flexíveis, atua como placa de aquisição e conversão de sinais e pode ser programável para exercer ações a partir de informações capturadas por sensores. Tem sua linguagem de programação baseada em um conjunto de funções C e C++. Além disso, o Arduíno pode operar autonomamente ou se comunicar com o programa rodando em um computador através de uma porta USB. Mesmo com uma grande potencialidade do Arduíno no desenvolvimento de projetos na área educacional, ainda são poucos os trabalhos publicados que fazem uso dessa ferramenta visando facilitar o ensino e a aprendizagem de Física (CAVALCANTE, 2014). O Arduíno é responsável tanto pela alimentação do circuito como pela captura dos dados, realizada por uma das entradas USB. Para que o Arduíno possa fazer a leitura dos dados de tensão, ele utiliza um conversor analógico-digital (ADC), que tem uma resolução de 10 bits. Assim, o valor máximo que se pode obter na leitura de uma porta analógica é de $2^{10} = 1024$ valores (0 a 1023). Ou seja, uma tensão de 0V será interpretada como tendo valor 0, enquanto uma tensão de 5V será interpretada como tendo o valor 1023. Foram utilizados os seguintes itens eletrônicos: 30 capacitores eletrolíticos de 1000 μ F/50V, 4 resistores de filme de carbono de 300 Ω /¼ W, 2 chaves momentâneas pequenas (*PushButtons*), fios (*jumpers*) de diferentes cores, placas *protoboards* e placas de circuito montáveis, LEDs de 5mm de diâmetro (alto brilho branco, azul, vermelho, amarelo, verde). Para análise da variação da luminosidade

dos LEDs, utilizou-se um sensor LDR. Os instrumentos de medida empregados foram um multímetro digital e a placa Arduino UNO ligada a uma das entradas USB do computador. Os circuitos montados para determinar as curvas de carga e descarga das diferentes capacitâncias e analisar a relação entre a tensão no capacitor e a variação de luminosidade do LED ligado em série com o capacitor, durante o processo de descarga, estão representados na figura 2. Em ambos os circuitos, a resistência R_1 foi de 100Ω (resultado da associação em paralelo de 3 resistores de 300Ω), esta foi ligada ao pino 13 do Arduino e em série com o capacitor. Quando a chave fechou o circuito para o capacitor ligado ao pino GND, ocorreu automaticamente o carregamento. Os dados referentes à tensão sobre o capacitor foram capturados através do pino A0.

Quando a tensão sobre seus terminais atingiu valores estáveis próximos a 5V iniciou, também, automaticamente, o processo de descarga, até que a tensão sobre o capacitor fosse nula, quando recomeçou o processo de carga (Figura 2(a)). No caso da figura 2(b), ao abrir a chave S_1 e fechar a chave S_2 , o capacitor descarregou e ascendeu o LED. O circuito contendo o sensor LDR foi montado ao lado do circuito principal, de forma a sofrer influência direta da luminosidade do LED.

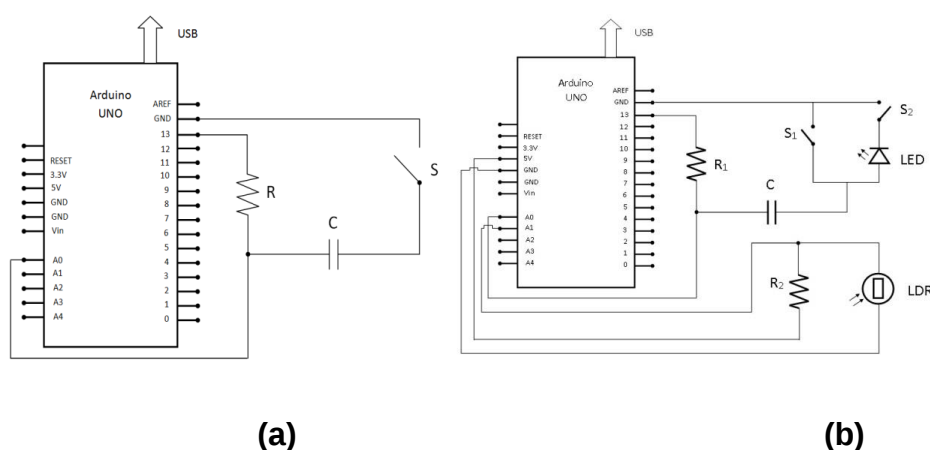


Figura 2: Circuitos montados com o Arduino para estudar (a) o processo de carga e descarga do capacitor e (b) a luminosidade do LED em função da queda da tensão no capacitor durante o processo de descarga. (Fonte: do autor, 2015).

O pino 13 foi o responsável pela alimentação do circuito principal e o pino de 5V pela alimentação do circuito contendo o LDR. Neste circuito, foi colocada a resistência R_2 (de 300Ω) ligada entre o LDR e o pino de 5V. Os dados de tensão do capacitor e tensão do LDR foram obtidos através dos pinos analógicos A0 e A1,

respectivamente. Foram coletados dados de seis montagens, cada uma com uma associação de capacitores que permitiu obter diferentes valores para a capacitância equivalente, em cada montagem foram realizadas medidas para todos os cinco LEDs. Os valores das capacitâncias usadas foram de aproximadamente 30,2mF, 10,3mF, 6,2mF, 2,09mF, 513 μ F e 188,3 μ F. Inicialmente, para a realização do experimento, fez-se o carregamento do capacitor até que o valor lido pelo Arduino chegasse próximo de 5V, o passo seguinte foi descarregar o capacitor fazendo com que a corrente de descarga passasse pelo LED. Os dados obtidos pelo Arduino foram mostrados instantaneamente na tela do computador em duas colunas, a primeira representa a leitura do pino A0, já convertida em volts, e a segunda representa a leitura obtida no pino A1, já convertida em uma escala de luminosidade em que o valor 100% seria a maior intensidade luminosa que se pôde captar pelo sensor. Os dados de tensão exibidos na primeira coluna correspondem à tensão medida entre o capacitor equivalente e o GND, enquanto a chave S_2 permaneceu pressionada. Ou seja, o valor lido para a tensão representa a tensão sobre o capacitor menos a tensão de corte do LED. A tensão de corte do LED, que somada às tensões medidas pelo Arduino, pelo tempo em que a chave S_2 esteve pressionada, representa a tensão sobre o capacitor em cada instante da sua descarga.

Com o aparato experimental montado e com a placa conectada via USB ao computador, clicou-se no ícone *Upload* e depois em *Serial Monitor* no *software* do Arduino para que fosse inicializada a captura de dados. A programação definiu até quando as ações de carga ou descarga do capacitor deveriam ocorrer. Os algoritmos de programação completos são apresentados nos anexos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 exibe os resultados obtidos para o ciclo de carga e descarga do circuito RC, os valores de tempo total obtidos para o processo de carga e descarga variaram de entre 300ms para a capacitância de 188,3 μ F e 40s para 30,2mF. A precisão dos dados permitiu obter os valores da constante de tempo característico do circuito (τ), uma vez que esta representa a quantidade de tempo necessária para o capacitor atingir o valor de 3,16V, o que equivale dizer que ele atingiu

aproximadamente 63% da sua carga total, ou $1 - 1/e$ da sua carga total no processo de carregamento. Como τ é o produto entre a resistência R e a capacitância C de um circuito RC, foi possível, através da análise dos dados, verificar a confiabilidade das medidas realizadas.

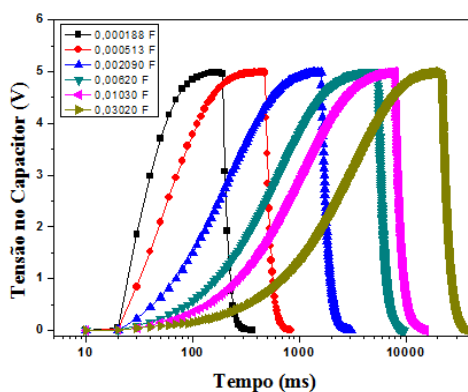


Figura 3: Tensão nos capacitores em função do tempo.
(Fonte: do autor, 2015).

A figura 4 exibe o gráfico de τ em função da capacitância (C), o ajuste linear da reta obtido fornece com precisão o valor da resistência R . Os dados coletados para o circuito RC mostram como o Arduino pode ser útil para o estudo didático do circuito, permitindo análise quantitativa do transiente de circuitos RC.

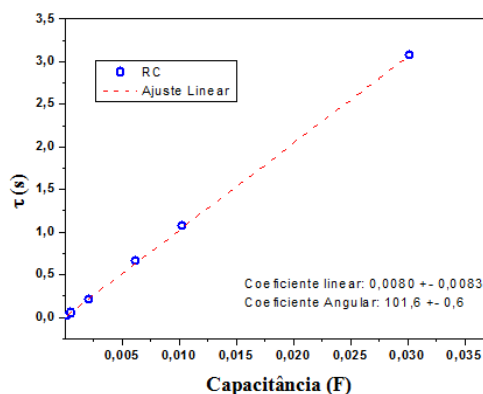


Figura 4: Tempo característico em função da capacitância.
(Fonte: do autor, 2015).

A figura 5 ilustra a queda da luminosidade dos LEDs de diversas cores em função do tempo, durante o processo de descarga. É possível observar que os LEDs de diferentes cores apresentaram luminosidades iniciais distintas, esse efeito está relacionado com a eficiência do semiconductor que compõe cada LED e com a sensibilidade do sensor LDR. O perfil da curva da luminosidade em função do tempo

foi mantido para as diferentes capacitâncias, mostrando a confiabilidade do circuito proposto para realizar medidas em diversas capacitâncias.

Diversos trabalhos reportam a utilização de lâmpadas e LEDs para realizar um estudo qualitativo deste processo, as lâmpadas incandescentes apresentam um comportamento não ôhmico em altas temperaturas, justamente quando estas passam a emitir luz; os LEDs, por sua vez, não respondem com luminosidade para toda a faixa de tensão à qual são submetidos. O circuito exibido na figura 2(b) permite observar a relação entre a queda de tensão nos terminais do capacitor e a luminosidade emitida por LEDs diversos. É possível observar, no gráfico da figura 5(a), que, para a capacitância de 10,3mF, o tempo de queda da luminosidade foi por volta de 10s. A figura 5(b) indica claramente que o capacitor de 188,3μF apresentou um tempo de queda na luminosidade da ordem de 100ms. Em uma observação visual do processo de descarga desse capacitor, muitos detalhes se perderiam e o transiente seria simplesmente categorizado como um piscar. Embora ocorra uma queda na luminosidade em função do tempo, essa queda não representa a variação da tensão no capacitor, como exibido na figura 6.

Os gráficos da figura 6 apresentam uma escala logarítmica no eixo vertical. Nesses gráficos, a região que se aproxima de uma reta apresenta um comportamento exponencial, assim, é possível observar que, para os LEDs de todas as cores, a luminosidade caiu exponencialmente até aproximadamente 150ms, nesse intervalo de tempo, a queda na tensão no capacitor não foi exponencial.

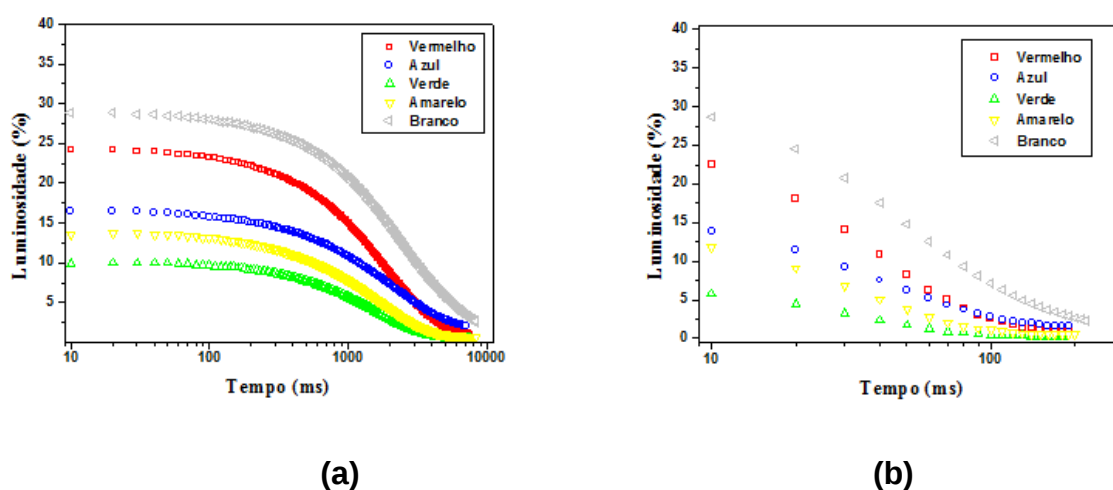


Figura 5: Variação da luminosidade emitida pelo LED em função do tempo para as capacitâncias de: (a) 10,3mF e (b) 188,3μF.

(Fonte: do autor, 2015).

Essa discrepância entre as curvas de luminosidade e tensão pode ser explicada pelo fato de o LED ser um tipo de diodo (diodo emissor de luz) e, portanto, possuir uma pequena capacitância não linear que varia de acordo com a tensão.

Assim, quando o capacitor inicia o processo de descarga, a tensão sobre o LED é máxima e sua capacitância é mínima. À medida que o capacitor descarrega, a tensão sobre o LED diminui, o que faz com que sua capacitância aumente.

O gráfico da figura 6 exibe a relação entre a luminosidade do LED e a tensão no capacitor, obtida com o Arduino, desse modo, corroborando os dados exibidos nos gráficos da figura 5, pois, embora fosse esperado que a luminosidade caísse em função do tempo, esta grandeza não apresentou uma relação linear com a tensão no capacitor.

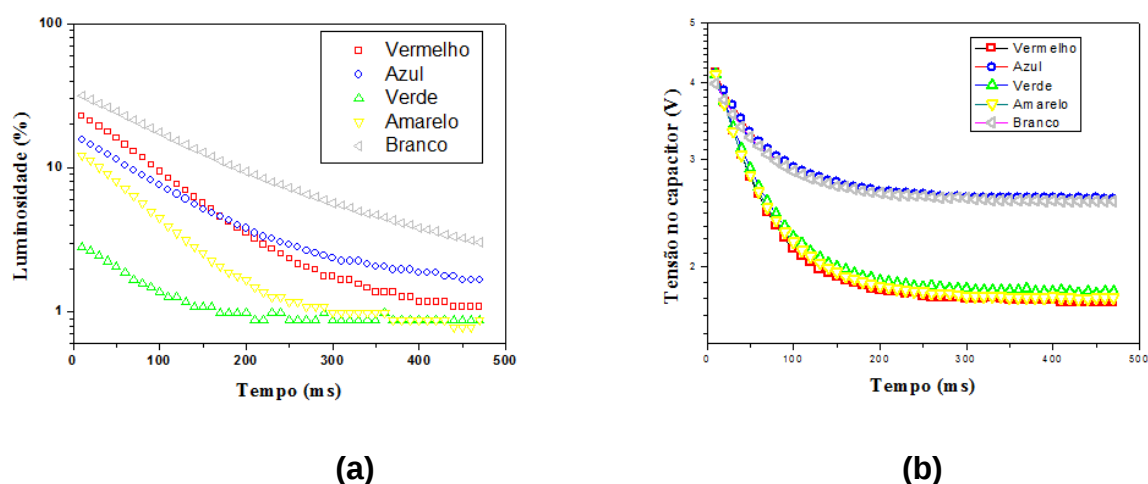
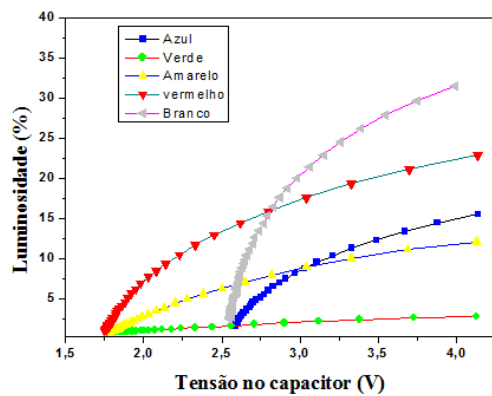


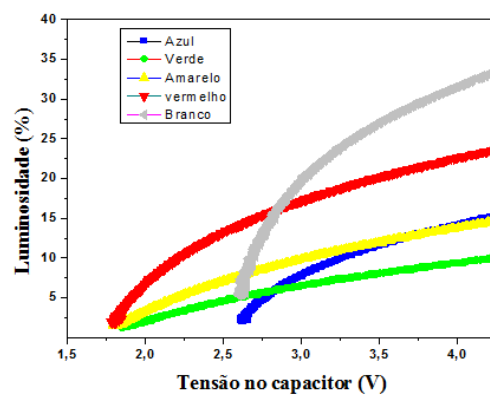
Figura 6: Curvas de luminosidade do LED e de Tensão no capacitor de $513\mu\text{F}$ em função do tempo.

(Fonte: do autor, 2015).

Os dados exibidos na figura 7 fornecem os valores das tensões de corte para cada LED.



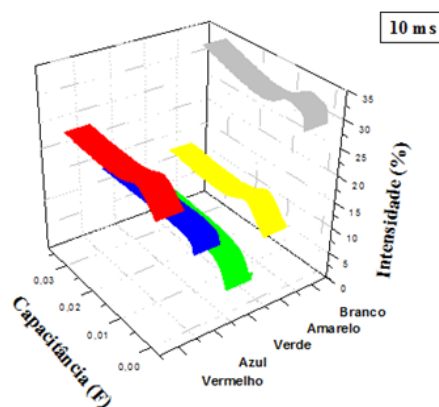
(a)



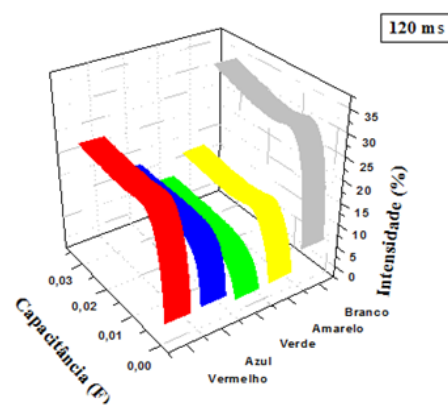
(b)

Figura 7: Relação entre a luminosidade e a tensão no capacitor. (a) $C=188,3\mu\text{F}$ (b) $C=30,2\text{mF}$.
(Fonte: do autor, 2015).

Tanto o perfil da curva como os valores da luminosidade obtidos praticamente não variaram em função da capacitância, indicando que, se os diferentes capacitores são submetidos ao mesmo potencial, neste circuito, o aumento da capacitância vai implicar apenas no aumento do tempo de descarga, e não na luminosidade (Figura 8).



(a)



(b)

Figura 8: Relação entre a luminosidade, capacitância, cor do LED. (a) 10ms, (b) 150ms.
(Fonte: do autor, 2015).

A precisão de aquisição de dados possibilitada pelo Arduino é da ordem de milissegundos, permitindo que a comparação do transiente do circuito RC e a evolução temporal possam ser avaliadas com detalhes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou alternativa para o estudo qualitativo e quantitativo de circuitos RC, bem como uma análise da variação da luminosidade de diferentes LEDs ligados em série ao circuito, de um modo geral, os materiais utilizados têm um custo relativamente baixo. Algumas medidas de caráter quantitativo foram bastante satisfatórias. Foram obtidas medidas de tempo de descarga da ordem de 100ms. A partir da determinação do coeficiente angular da curva de $(\tau \times C)$ foi obtido R experimental igual a $(101,6 \pm 0,6) \Omega$, perfeitamente coerente com o valor esperado. Os curtos intervalos de tempo de descarga e a relação não linear entre a luminosidade e a tensão no processo de descarga, observadas em alguns casos, tornam inviável ou imprecisa a análise qualitativa utilizando lâmpadas e LEDs, de modo que a utilização da placa Arduino pode se configurar em alternativa para o estudo, bem como, potencialmente, pode propiciar boa interatividade dos alunos com o dispositivo, dessa forma, possibilitando aos estudantes uma compreensão mais profunda das tecnologias disponíveis na sociedade atual. Finalmente, é importante ressaltar que, embora a utilização da placa Arduino permita o estudo quantitativo de circuitos RC, o modo como o experimento é conduzido deve permitir ao estudante uma participação ativa. O estudante precisa participar como sujeito ativo em todos os processos, empreendendo esforços para superar os desafios, bem como levantando suas próprias dúvidas e sugerindo proposições para solucioná-las.

REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. *Física com Arduino para iniciantes*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 4, p. 4503. São Paulo, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172011000400018&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 12 mai. 2014.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; RODRIGUES, Thais Tokashiki Tavares; BUENO, Darlene Andrea. *Controle Remoto: observando códigos com o Arduino (parte 2 de 2)*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 3, p. 614-641, dez. 2014622 . <Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2014v31n3p614/27970>> Acesso em: 10 novembro de 2014.

COSTA, Gláucia Grüninger Gomes; PIETRONERO, Rui Carlos; CATUNDA, Tomaz. Experimentos com supercapacitores e lâmpadas. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 35, n. 1, p. 01-06, Mar. 2013 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172013000100005&lng=en&nrm=iso>. access on 26 Sept. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172013000100005>

Mc DERMOTT L.C. and Shaffer P.S., Am. J. Phys 60, 994 (1992).

NUSSENZVEIG, Hech Moysés. Curso de Física básica. Vol3. 4ed-São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

PANIAGO, Rosenilde Nogueira; ROCHA, Simone Albuquerque da; PANIAGO, Josenilde Nogueira. *A pesquisa como possibilidade de resignificação das práticas de ensino na escola no/do campo*, Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.16, n. 01, p. 171-188, jan-abr, 2014. Disponível em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/viewArticle/1756> acessado em Janeiro de 2015.

ROCHA FILHO, João Bernardes da; SALAMI, Marcos Alfredo; GALLI, Cláudio; FERREIRA, Manuela Klanovicz; MOTTA, Thiago Stein; COSTA, Rita de Cássia da. *Construção de capacitores de grafite sobre papel, copos e garrafas plásticas, e medida de suas capacitâncias*. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 22, n. 3: p. 400-415, dez. 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6378> acessado em Julho de 2014.

SILVA , Marcelo Souza da; RIBEIRO, Daiane Maria dos Santos: *Ensino de Física no Sertão: Literatura de cordel como ferramenta didática*. Revista Semiárido De Visu, v.2, n.1, p.231-240, 2012. Disponível em: <http://periodicos.ifsertao-pe.edu.br/ojs2/index.php/revista/article/view/61> acessado em Janeiro de 2014.

SILVA S. L. R. da; BIÉGAS P. S. G; GAUDÊNCIO, J. da S; ANTUNES, D. M; MAINARDES, A. V; GLUGOSKI, L. P. Perfil tecnológico de acadêmicos de cursos de licenciatura das ciências da natureza, R. Bras. de Ensino de C&T, vol 7, núm. 3, set-dez.2014. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1974> acessado em Janeiro de 2015.

ROCHA, Fábio Saraiva da; MARRANGHELLO, Guilherme Frederico; LUCCHESI, Márcia Maria. *Acelerômetro eletrônico e a placa Arduino para ensino de Física em tempo real*, Cad. Bras. Ens. Fís., v. 31, n. 1, p. 98-123, abr. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n1p98>. Disponível em: <file:///C:/Users/Marcelo/Downloads/27006-110089-3-PB.pdf> acessado em Março de 2015.

T. M. G. Martins, A. N. Ribeiro, D. C. Oliveira, N. S. Ferreira, R. A. Santos, V. M. Santana, M. A. Macêdo. *Visualização do Processo Carga Descarga em Capacitores*.

Anexo – Programa do microprocessador

```
/*Carga e descarga do capacitor*/

#define analogPin 0 //Define o pino analógico (A0) como sendo
analogPin

#define tensaoPin 13 //Define o pino 13 como sendo tensaoPin

void setup(){ //Inicia o programa

    pinMode(tensaoPin, OUTPUT); //Define o pino tensaoPin como saída

    digitalWrite(tensaoPin, LOW); //Define o pino tensaoPin como tendo nível
lógico baixo

    Serial.begin(9600); // Inicializa a comunicação serial

}

void loop(){ //Programa principal que ficará rodando por tempo
indeterminado

    digitalWrite(tensaoPin, HIGH); //Define o pino tensaoPin como tendo nível
lógico alto

    while(analogRead(analogPin) < 1023){ //Define até quando a ação será
executada

        Serial.println(analogRead(A0)*0.0048876); //Escreve a leitura do pino A0 em
```

volts

```
    delay(10);      //Espera 10 milissegundos para executar a próxima ação  
  }
```

```
    digitalWrite(tensaoPin, LOW); //Define o pino tensaoPin como tendo nível  
lógico baixo
```

```
    while(analogRead(analogPin) > 0){ //Define até quando a ação será  
executada
```

```
        Serial.println(analogRead(A0)*0.0048876); //Escreve a leitura do pino A0 em  
volts
```

```
        delay(10);      //Espera 10 milissegundos para executar a próxima ação  
    }  
}
```