

# **Unidade de Contagem de Pulsos utilizando a placa Altera DE2-115**

Pedro Henrique Oliveira, Guilherme Paulino e Cristiano M. Gallep  
Laboratório de Fotônica Aplicada, Faculdade de Tecnologia, UNICAMP  
Limeira-SP, Brasil.

À fim de obter uma alternativa de hardware e software mais viável para medição de pulsos de emissão espontânea de luz ultra-fraca em nossos testes no LaFA, nós implementamos uma unidade de contagem batizada de “LaFA Countig Unit (LCU)” em uma placa de desenvolvimento educacional ALTERA DE2. A LCU toma como entrada 8 válvulas fotomultiplicadoras (PMTs), fotodetectores que enviam pulsos elétricos ao FPGA, onde são contados ao longo do tempo através de 8 contadores de 32 bits. Os pulsos elétricos da PMT possuem uma largura de 20ns, acarretando na necessidade de uma taxa de amostragem de pelo menos 50 MS/s. Os dados são enviados da LCU para um computador hospedeiro via interface serial utilizando um conversor RS232-USB. Um script escrito em MatLab é responsável por ler e armazenar os valores de contagem enviados ao PC. Para que este trabalho fosse possível, nos baseamos nos experimento de contagem de coincidência de Mark Beck e Jesse Lord do Departamento de Física de Whitman College. Caso você tenha interesse em conhecer um pouco mais sobre este e outros experimentos de mecânica quântica para graduação, visite a página:

<http://www.whitman.edu/~beckmk/QM/>.

Neste tutorial são fornecidos software e instruções para implementação desta LCU.

## **I. Fundamentos**

Aqui estão os primeiros passos para que você possa implementar nossa LCU:

1. Adquirir uma placa Altera DE2-115. Esta é uma poderosa ferramenta para se estudar as aplicações do FPGA, por contar com um chip da família Cyclone IV-E e diversos periféricos integrados. Nós conseguimos comprar uma por cerca de R\$800,00 de revendedores nacionais.

<https://www.altera.com/solutions/partners/partner-profile/terasic-inc-/board/altera-de-2-115-development-and-education-board.html#board-quality-metrics>

Vale ressaltar que nosso programa em VHDL é compatível com qualquer FPGA da família Altera, tendo apenas a necessidade de realizar o posicionamento e roteamento de interface corretamente para o chip caso a família escolhida não seja a mesma que a nossa. Caso, você queira implementar este projeto em um FPGA da Xilinx por exemplo, será necessário reestruturar algumas partes do VHDL, pois são utilizados alguns blocos IP presentes apenas nos FPGA's Altera.

2. Para fazer o download dos arquivos do projeto em sua placa é necessário utilizar o software Quartus Prime da Intel, sendo a versão mais atualizada a 17.0. Há diversas edições, sendo que a edição Lite não requer licença, porém a Altera disponibiliza licenças gratuitamente das edições Pro e Standard para uso em ensino e pesquisa em universidades.

O download pode ser feito pela página:

<https://www.altera.com/downloads/download-center.html>

Ao comprar uma placa Altera DE2-115, percebe-se que ela contém um CD de instalação do Quartus, porém pode não se tratar da versão mais atualizada. Nós utilizamos a versão 17.0 para implementar nosso software, você provavelmente irá utilizar esta versão ou mais recente.

O Quartus é um ambiente para desenvolvimento de programas dos FPGA's (Arranjo de Portas Programáveis em Campo) da INTEL. Nós utilizamos o Quartus para desenvolver este projeto utilizando uma linguagem padronizada pela IEEE como VLSI-HDL, VHDL de maneira simplificada (Linguagem de Descrição de Hardware para Circuitos integrados em ultra-larga escala).

Instruções para instalação do Quartus acompanham o download. É conveniente seguir as instruções sugeridas de instalação e evitar que o programa seja instalado em uma pasta como "Arquivos de Programas" ou outras que contenham espaço no nome pois isso pode se tornar um problema futuro.

3. Para que o Quartus grave os programas na placa DE2-115, ele utiliza o driver "USB-Blaster". É necessário que você faça a instalação deste em seu computador. Há instruções para que você faça isso no CD da DE2-115: DE2\_tutorials\tut\_initialDE2.pdf.

4. Não é um necessário que você tenha conhecimento total e detalhado sobre como utilizar o Quartus para programar o FPGA da placa DE2-115, mas é bom que você se familiarize com o ambiente de programação e com a linguagem VHDL. Um arquivo para você seguir está contido no CD da DE2-115 no endereço: DE2\_tutorials\tut\_quartus\_intro\_vhdl.pdf.

## **II. Gravando os arquivos do projeto na placa DE2-115**

Há duas formas de gravar o projeto no FPGA: na memória FLASH e na memória RAM. O projeto deve ser gravado na memória FLASH para que a placa não perca a programação ao ser desligada. Se você optar por gravar na memória RAM, o programa será perdido ao desligar a placa. Para gravar o programa na memória FLASH, o procedimento de gravação na DE2 é chamado “Active Serial Programming”, de modo que os arquivos fiquem armazenados na placa permanentemente:

1. A pasta LafaUnitCounter, contém todos os arquivos do projeto, deve ser descompactada para um diretório de seu computador que não contenha espaços em branco no nome. Pastas como “Meus documentos”, não são uma boa escolha.
2. Abrir a pasta, e clique duplo para abrir o arquivo “Lafaunitcounter.qpf”. Irá abrir um projeto no Quartus Prime.
3. Poderá abrir uma janela do Quartus com a mensagem “Do you want to overwrite the database...”, clique em “YES” e continue;
4. Certifique-se de que sua placa esteja ligada e que o cabo USB blaster esteja plugado. No Quartus, clicar no ícone “Programmer” no painel superior, conforme indicado na figura 1. Será aberto uma nova janela.

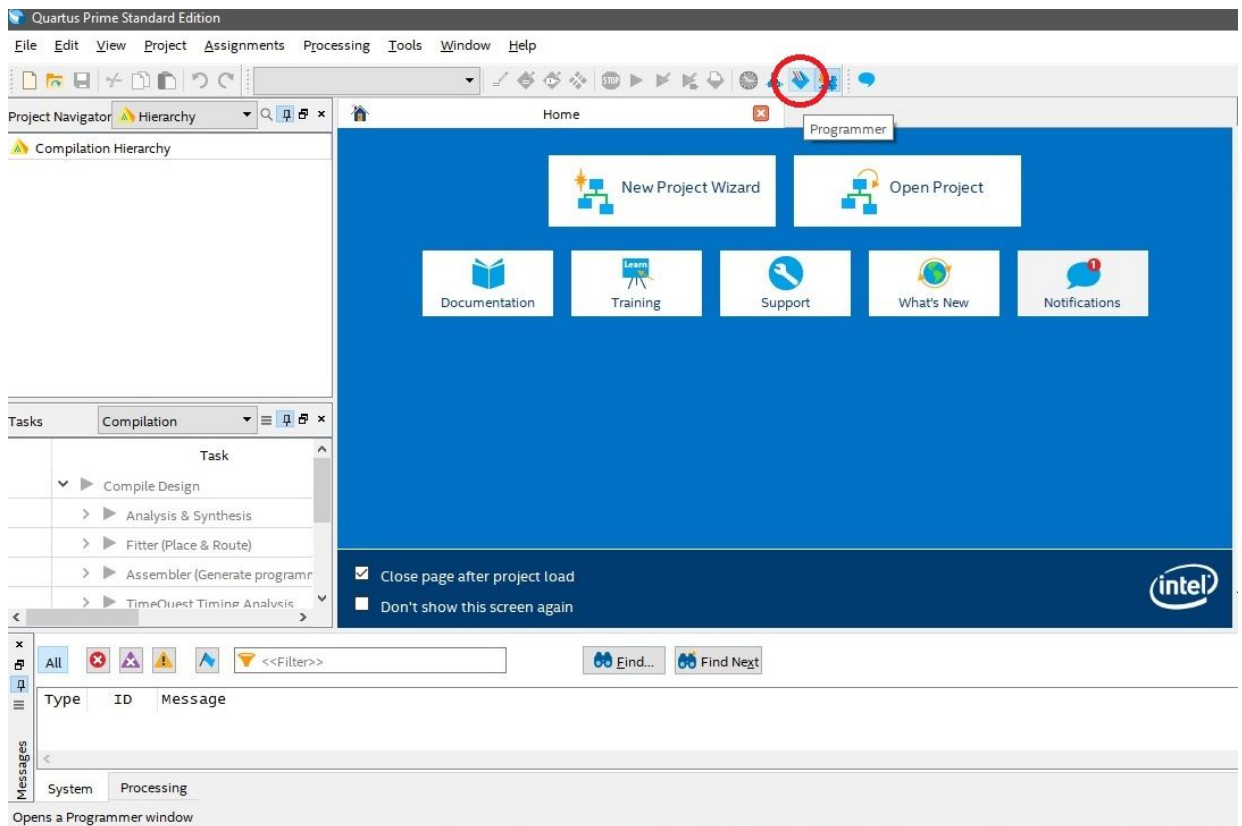


Figura 1: Botão Programmer circulado.

5. Nesta nova janela, clique em “Hardware Setup”

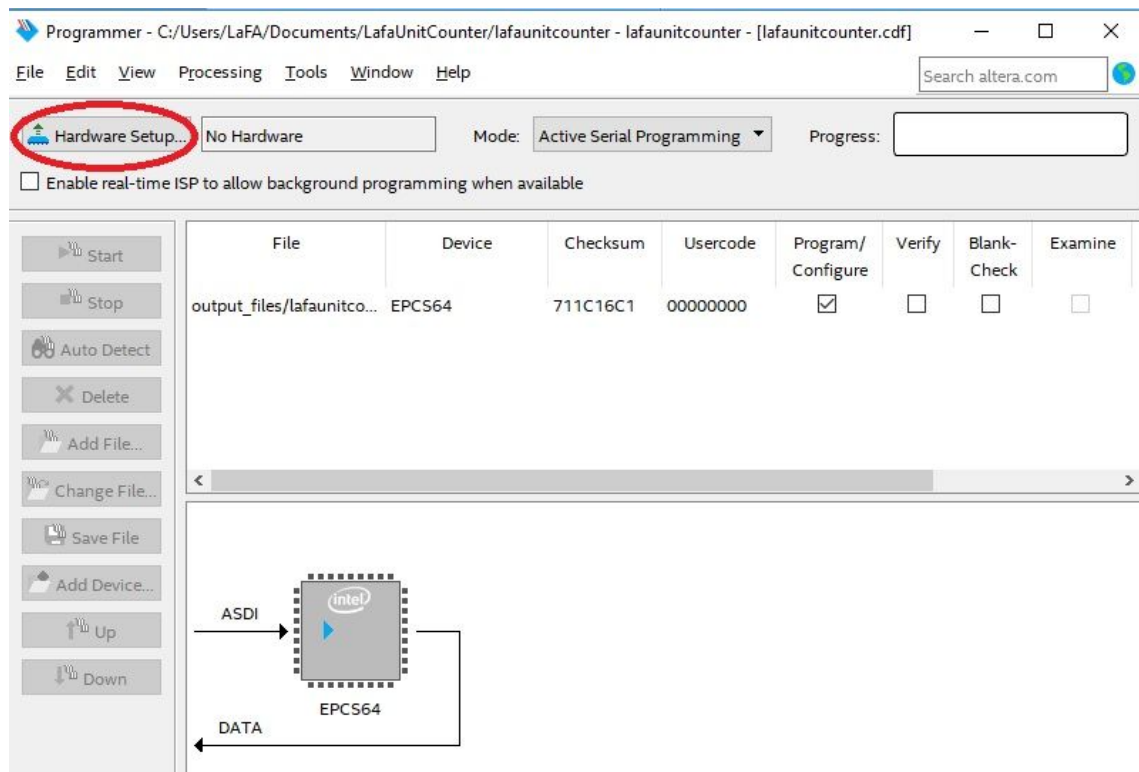
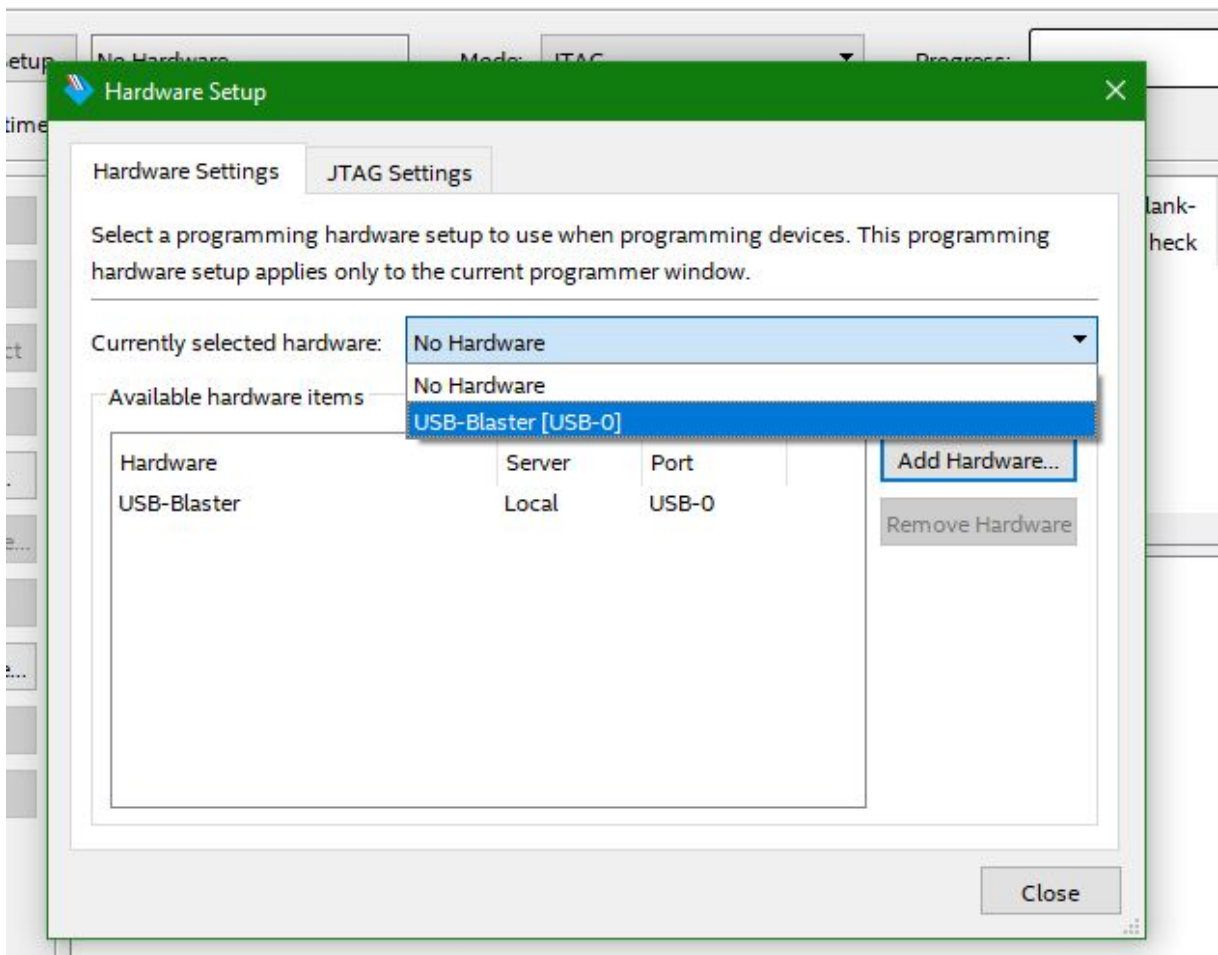


Figura 2: Botão Hardware Setup circulado.

6. Se o driver estiver instalado corretamente, a opção USB-Blaster[USB-0] estará disponível na aba “Currently selected hardware”, como pode ser visto na fig. 3. Selecione esta opção, e clique em “Close”;

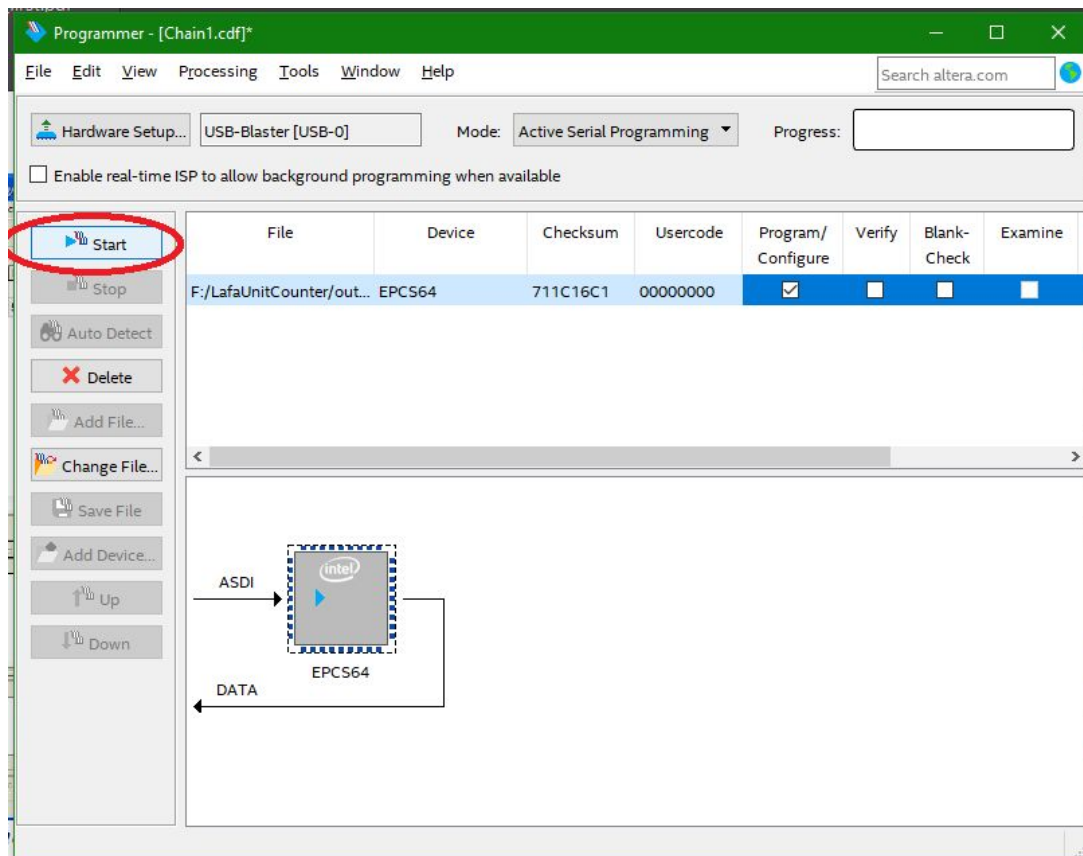


*Figura 3: Configurando a conexão por USB-Blaster*

7. Certifique-se de que na aba “Mode” a opção ‘Active Serial Programming’ está selecionada;

8. Não custa nada conferir se você selecionou o arquivo correto. Clique no nome do arquivo (a linha com a informação sobre o arquivo a ser compilado ficará colorida), então clique em “Change File” button. Como estamos gravando o programa na memória flash, selecione o arquivo “lafaunitcounter.pof”;

9. Certifique-se de que o checkbox na coluna “Program/Configure” esteja selecionado;
10. Na placa DE2-115, no lado esquerdo inferior há uma chave “PROG/RUN”. Ajuste para a posição “PROG”;
11. Pressione o botão “Start” para fazer o download do programa na placa DE2 (fig. 4). Uma vez que a barra de progresso indicar “100%”, a programação está feita (o que pode levar alguns minutos para terminar, não se esqueça de checar as mensagens no canto inferior se algum erro ocorreu);



*Figura 4: Iniciando a gravação no FPGA com o botão START.*

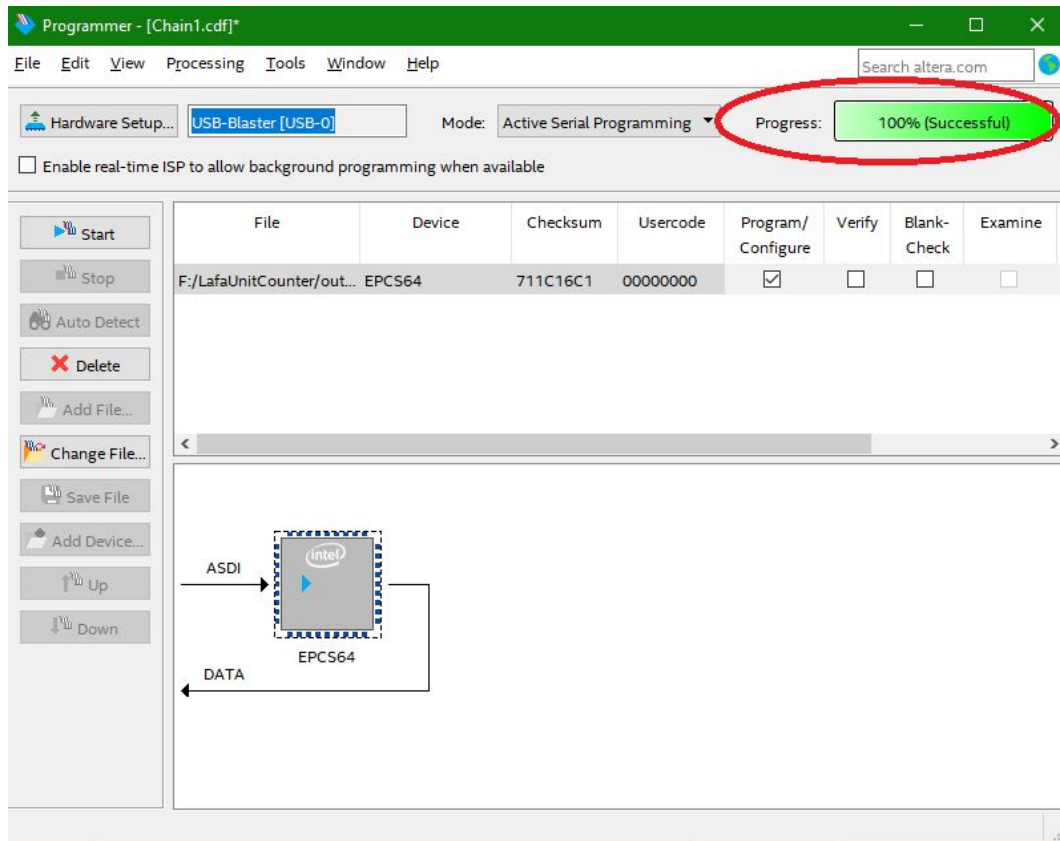


Figura 5: Caso tudo esteja correto, a barra de progresso indicará a gravação com 100%.

12. Quando o Quartus terminar, re-posicione a chave “PROG/RUN” no canto inferior esquerdo da placa DE2 para a posição “RUN”;

13. Se o led verde TXD1, no lado superior direito da placa, piscar a uma taxa de 10 Hz, possivelmente o programa foi gravado na placa DE2 com sucesso e está pronto para ser utilizado. Se não, pode ser que seja necessário desligar e ligar a placa novamente.

### III. Conectando seus detectores na placa

Pode ser necessário construir uma caixa adaptadora para que haja casamento de impedância de seus detectores com a placa DE2. É muito importante certificar-se dos níveis de tensão e corrente dos detectores que você estiver utilizando. Alguns pontos devem ser salientados aqui:

1. Você precisará de um cabo “flat” de 40 vias com um conector fêmea para conectar seus detectores à placa DE2;
2. O ideal é que você utilize apenas alguns centímetros do cabo. Um cabo longo pode conter muitas perdas, além de sofrer com interferência de ruídos. Em uma das pontas do cabo flat, separe os fios fazendo cortes individualmente no cabo com o auxílio de uma tesoura (seja cuidadoso, esses fios são muito sensíveis). Na outra ponta, fixe seu conector fêmea para que ele possa ser plugado na placa;
3. Um cabo serial é necessário para conectar a placa DE2 ao computador. Se você estiver utilizando um computador atual, muito provavelmente ele não contém uma porta serial RS232. Você pode utilizar um plug-in PCI que implementa a porta RS232. Neste projeto, nós utilizamos conversores RS232-USB, porém estes conversores são conhecidos por apresentarem alguns conflitos de drivers. Certifique-se de que esteja utilizando um driver apropriado ao seu conversor.
4. Dependendo de qual fotodetector você estiver utilizando, sua caixa adaptadora será construída de forma diferente. Talvez seja necessário utilizar divisores de tensão, por isso, não deixe de conferir as especificações de seu detector no datasheet. Você também pode optar por utilizar os chips conversores de níveis lógicos 5 V-3.3 V, uma vez que o FPGA pode ser ajustado para trabalhar em níveis de tensão de até 3.3 V. Nós utilizamos PMT's (Photon Multipliers Tubes) da Hamamatsu® da série H11870, um dispositivo de contagem de fótons de área sensível ampla, como mostra a fig. 6, contendo um tubo fotomultiplicador de 25mm de diâmetro, um circuito de alimentação de alta tensão e um circuito de contagem de fótons.





Figura 6: PMT Hamamatsu H11870

Essas PMT's têm pulsos de saída de 2,4 V em  $50\Omega$ , o que é suficiente para estar acima do limiar do nível lógico de 3.3 V na DE2. Os sinais dessas PMTs são transmitidos através de cabos com conectores BNC, por isso a necessidade de uma interface adaptadora para conectar os fios do cabo flat a uma terminação BNC fêmea, por onde você pode plugar os cabos das PMTs.

Quando estiver construindo sua interface, a única artimanha necessária é ter certeza de que o pino correto no cabeçote está conectado na interface. Os pinos no cabeçote da DE2 são rotulados começando na esquerda superior, os pinos ímpares do lado esquerdo e os pares do lado direito. Conecte o conector fêmea ao cabeçote GPIO que contém o conector macho. Os sinais da PMTs devem ser conectados aos pinos como mostra a tabela 1.

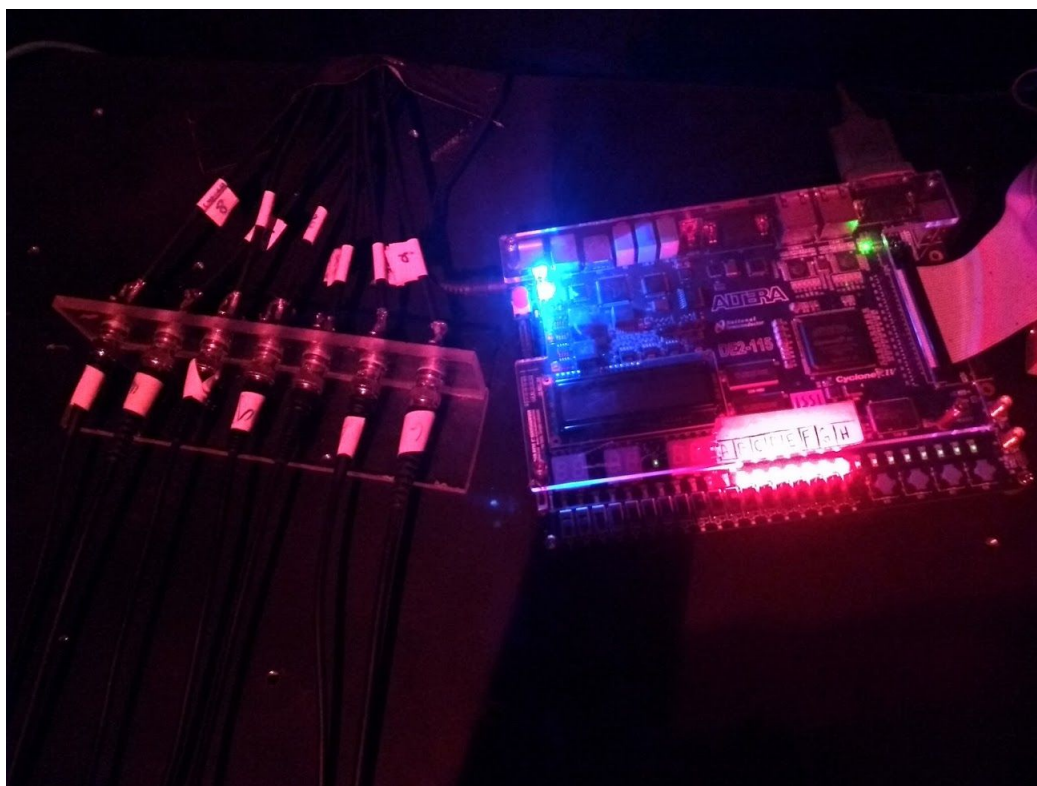
PMT	Pino no cabeçote GPIO
A	(+)4, (-)5
B	(+)8, (-)9
C	(+)12, (-)13
D	(+)16, (-)17
E	(+)22, (-)23
F	(+)26, (-)27
G	(+)30, (-)31
H	(+)34, (-)35

Por último, para garantir a integridade do sinal, os seguintes pinos do GPIO devem ser conectados ao terra (GND) de sua interface: 12, 30.

#### **IV. Utilizando a LCU**

Nosso setup atual utiliza 7 dos 8 contadores disponíveis para esse programa. Durante um tempo janela fixo de 0.1s, os contadores realizam a contagem, escrevem os dados na porta serial e então resetam. Assim, os dados da DE2 são enviados ao computador em uma taxa de 10 Hz. Se você gravou o programa na placa corretamente, ele começa a contar assim que você liga a placa.

Nós escrevemos um script em Matlab para ler e armazenar os dados da DE2 com a opção para o usuário definir o tempo de aquisição e também a quantidade de loops da contagem. Você pode usar nosso programa para melhorá-lo e escrever o seu próprio caso ache necessário.



*Figura 7: Interface adaptadora para cabos BNC que conectam as PMTs ao FPGA*

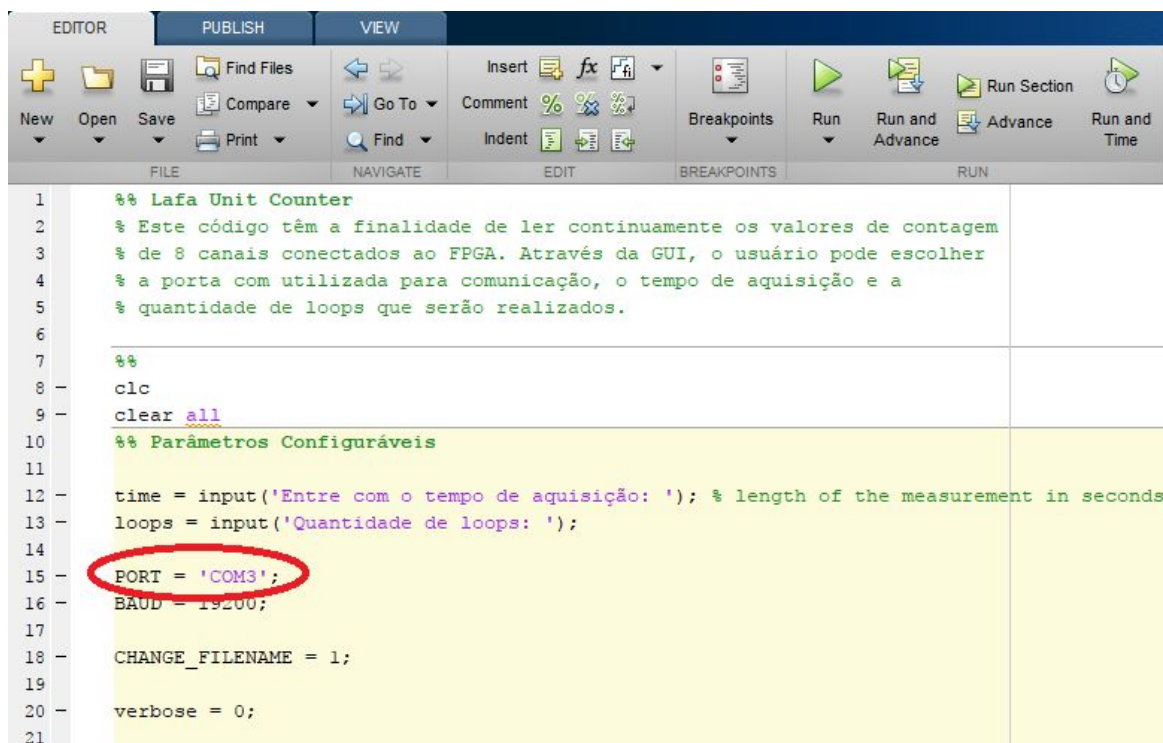
Essencialmente, a DE2 envia ao computador uma sequência de 8 números de 32 bits, que representam os dados dos 8 contadores diferentes. Os dados só são enviados quando as chaves SW(0) - SW(7) estão “ON” na placa DE2. Através dela você pode escolher quais contadores estarão ligados durante o experimento. Quando a chave está ligada, o led vermelho correspondente é aceso, por isso não deixe de conferir. Feito isso, você já está pronto para ler e armazenar dados de contagem de seus experimentos.



*Figura 8: Chaves SW(7) - SW (0) que ligam os 8 canais*

Para ler os dados no Matlab, na pasta anexada, copie a pasta LafaCountingUnit, para uma de seu diretório e abra o arquivo “MainLafaUnitCounter.m”;

Irá abrir tanto o workspace do matlab quanto uma janela com o código principal. Antes de iniciar o programa, você precisa configurar corretamente a comunicação, de forma a escolher qual porta COM de seu computador que a placa DE2 está conectada. Se estiver utilizando o Windows, abra seu gerenciador de dispositivos e na seção Portas COM, verifique qual porta é ativada quando você conecta o cabo RS232 ao computador. Nesse exemplo a porta que estamos utilizando é porta “COM3”



*Figura 9: Configurando a porta COM para comunicação serial*

No script do Mainlafaunitcounter, configure a porta serial a ser lida pelo matlab apenas substituindo a porta atual para a porta que você estiver utilizando. Basta substituir manualmente e então salvar o script, em seguida, aperte o play. No workspace, o programa irá perguntar o tempo total que você quer realizar a aquisição, digite esse valor, em segundos (caso queira uma aquisição de uma hora por exemplo, entre com 3600 e pressione “Enter”). Em seguida o programa perguntará a quantidade de loops a serem realizados. Se você escolheu um tempo de aquisição de 3600 s, e em seguida entrar com ‘2’ para a quantidade de loops, o programa irá realizar dois loops sequências de uma hora cada, salvando os dados em um arquivo .txt na pasta data output ao final de cada loop.

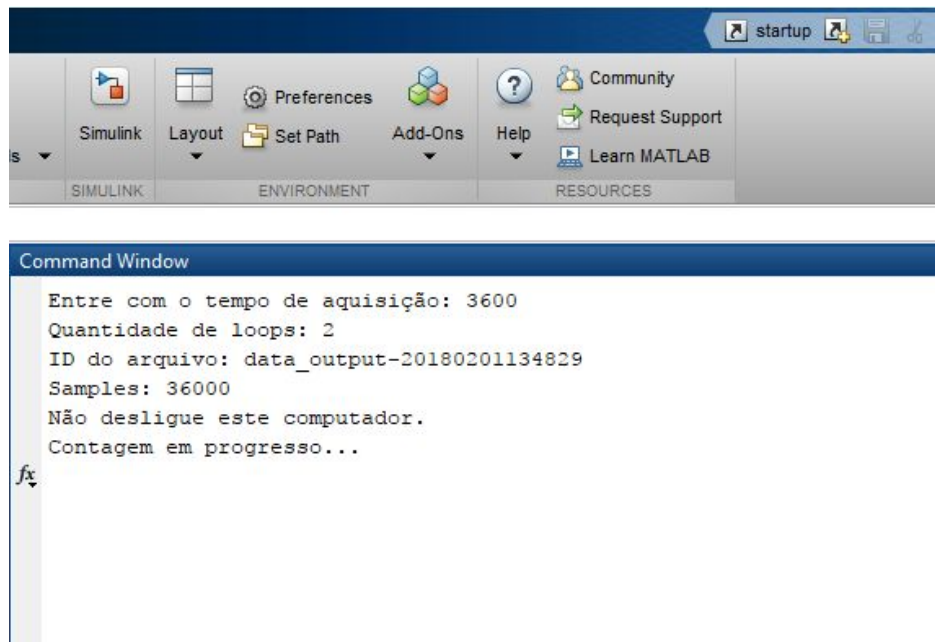


Figura 10: Na janela de comandos, o usuário entra com os parâmetros de tempo e quantidade de loops a serem realizados.

## V. Desempenho

Uma característica importante dos detectores de contagem de fótons os diferenciam de outros detectores, sendo uma de suas principais características a contagem escura, chamada de *dark count*. A taxa de contagem escura é a taxa média de contagens registradas sem qualquer fonte luz incidente. Isso determina a taxa de contagem mínima na qual o sinal é predominantemente causado por fótons reais. Os eventos de detecção falsa tem sua principal origem no ruído térmico e, portanto, podem ser fortemente suprimidos usando um tipo de detector arrefecido. Em nossas caracterizações do sistema foram realizadas algumas aquisições de contagem escura, indicando que em uma de nossas PMTs apresentavam uma taxa média de 2,5 fótons contados a cada 0,1 s., enquanto outras 6 PMTs com uma média de contagem escura de 5 fótons a cada 0,1 s.

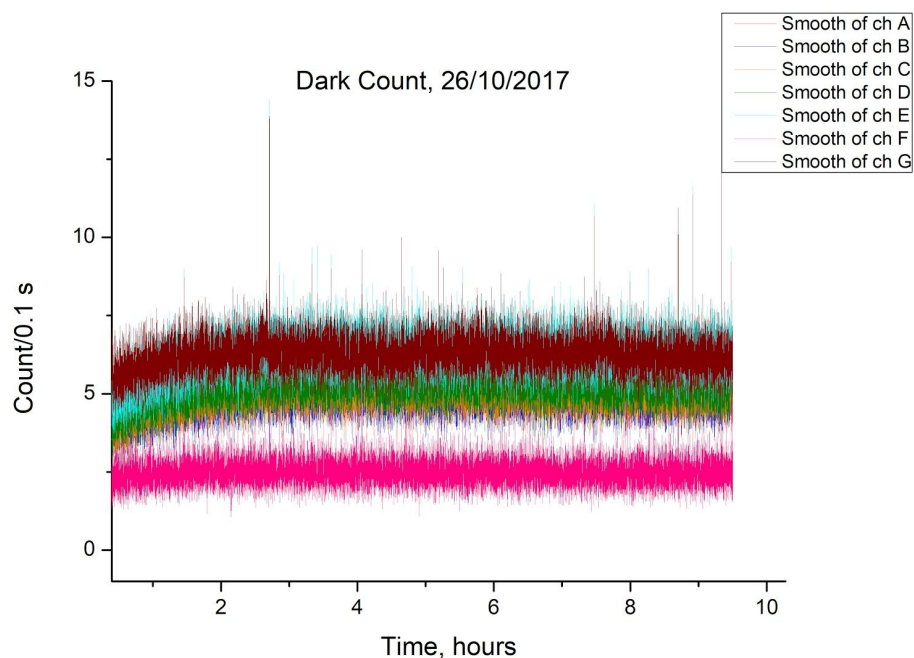


Figura 11: Caracterização do sistema através da contagem escura utilizando 7 canais.

## VI. Referências

- [1] EDITORIAL COMMITTEE HAMAMATSU PHOTONICS K. K. **Photomultiplier tubes, basics and applications**, 3<sup>o</sup> edition. Technical report. Japan, 2007. 323 p.
- [2] Gallep, Cristiano M. **Ultraweak, spontaneous photon emission in seedlings: toxicological and chronobiological applications**. DOI 10.1002/bio.2658
- [3] Pedroni, Volnei A. **Circuit Design and Simulation with VHDL**. 2nd ed. 2004
- [4] D. Branning<sup>1,a</sup> and S. Bhandari. M. Beck. **Low-cost coincidence-counting electronics for undergraduate quantum optics**. 2009. DOI: 10.1119/1.3116803.
- [5] J.W. Lord and M. Beck. Dept. of Physics, Whitman College, Walla Walla, WA 99362 **Coincidence Counting Unit using Altera DE2**