

Relatório Final

F609 - Tópicos de Ensino de Física I

Vídeo sobre fabricação de células solares de corante



Aluna: Natália de Faria Coutinho – 083948

nataliafcoutinho @ gmail.com

Orientador: Prof. Dr. Francisco das Chagas Marques

Coordenador: Prof. Dr. Jose Joaquín Lunazzi

Campinas, dezembro de 2017.

Sumário

1. Introdução.....	3
2. Objetivos.....	4
3. Importância.....	4
4. Procedimentos: fabricação das células.....	4
4.1. Lista de materiais.....	4
4.2. Produção das células.....	5
5. Edição do vídeo.....	6
6. Conclusões.....	11
7. Referências.....	11
8. Materiais.....	13
9. Opinião do orientador.....	13

1. Introdução.

Células solares de corante, conhecidas como DSSC (do inglês *dye-sensitized solar cells*), são dispositivos fotovoltaicos que foram desenvolvidos primeiramente por Michael Grätzel em 1991^[1]. Elas consistem de um fotoeletrodo, uma solução eletrolítica e um contraeletrodo. O primeiro é composto por um substrato de vidro recoberto com um óxido transparente condutor, TCO (do inglês *transparente conductive oxide*), sobre o qual é depositado um filme de nanopartículas de TiO_2 . Este, por sua vez, é sensibilizado por moléculas de corante. A solução eletrolítica é geralmente composta por uma solução de iodo I^-/I_3^- , e o contraeletrodo consiste de um substrato de vidro com um TCO onde é depositado um filme de um material catalisador, geralmente platina. Esse esquema está representado na Figura 1.

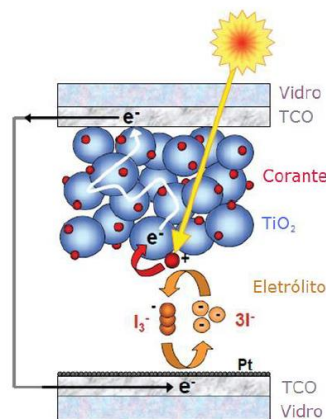


Figura 1: Representação de uma célula solar de corante. Adaptado de [2].

Para a geração de elétrons, este dispositivo funciona da seguinte maneira: a luz, ao incidir na célula, atinge as moléculas de corante, que assim vão para o seu estado excitado, e com isso injetam elétrons na banda de condução do TiO_2 . Esses elétrons se difundem pelo semiconductor em questão e atingem o TCO, onde são extraídos pelos contatos elétricos. O corante, que havia perdido um elétron para o TiO_2 , ganha um elétron que é trazido pela solução eletrolítica. A função desta solução é transportar íons de iodo entre o corante e o outro contato elétrico, no contraeletrodo. Deste modo, uma célula de corante consegue transformar energia luminosa em energia elétrica. Essas células possuem eficiências de até 11,9%, e são feitas geralmente com corantes produzidos em laboratório, com filmes de TiO_2 com nanopartículas de 20nm de diâmetro, filmes de

platina nanoporosos e soluções contendo diversos sais para aumentar a mobilidade dos íons e melhorar a extração de carga, além de *blocking layers* para evitar recombinações.

2. Objetivos.

A engenharia de bandas das células de corante é complexa, e os materiais utilizados também. Entretanto, para fins educacionais, é possível produzir células de corante com materiais simples, como sucos de frutas (corante), tintura de iodo (solução eletrolítica) e grafite (ao invés da platina). As eficiências de células feitas dessa maneira são muito baixas, mas é possível notar a geração de corrente através de um multímetro. Deste modo, o objetivo deste trabalho é produzir um vídeo ensinando a fazer essas células do modo mais caseiro possível, de modo que seja possível que professores de ensino médio, acompanhando o vídeo, consigam implantar esse experimento na sala de aula, ou mesmo apresentar o vídeo aos alunos caso não seja possível produzir as células.

3. Importância.

O ensino de física em muitas escolas é feito de tal maneira que passa aos alunos a visão de que a física é apenas um conjunto de fórmulas, sem aplicação no dia-a-dia. É sempre interessante mostrar aos alunos experimentos que tentem mostrar a beleza da física e como ela pode ser útil. Desse modo, esse experimento pode mostrar aos alunos de ensino médio que células solares são dispositivos capazes de converter a energia que vem do Sol em energia elétrica. É possível explicar essa conversão através do diagrama de bandas simplificado de um semicondutor, o que ajudaria a mostrar que ele não é algo abstrato e sem aplicação no cotidiano.

4. Procedimentos: fabricação das células.

4.1. Lista de materiais.

Os materiais utilizados foram:

- FTO – (Sigma Aldrich, resistividade de $7\Omega/\text{sq}$);
- Nanopartículas de TiO_2 (Sigma Aldrich, anatase 99,7%);

- Água (para a produção da pasta de TiO₂);
- Etanol (para a limpeza dos substratos e do filme de TiO₂ após a imersão no corante);
- 2 béquers;
- Multímetro;
- Espátula, pinça e pipeta;
- Fita adesiva (no nosso caso, Fita mágica 3M, rolo de 12mm x 10m);
- Bastão de vidro (ou pipeta de vidro);
- Chapa de aquecimento (de preferência até 300°C);
- Corante: fruta de sua preferência (no nosso caso, amoras);
- Grafite de lapiseira (no nosso caso, Faber Castell 0,5mm 2B);
- Papel toalha (guardanapo, lenço ou outro) e cotonete;
- Instrumento para raspagem (uma lâmina de vidro ou qualquer instrumento de plástico ou madeira);
- Tesoura;
- Solução eletrolítica (no nosso caso, Tintura de iodo 2%);
- Clips ou garrinhas de metal (para segurar a célula presa);
- Lâmpada (ou exposição à luz solar).

Dentre estes, notamos que quase todos são de fácil acesso, com exceção do vidro com FTO e das nanopartículas de TiO₂. Na seção 8 estão disponíveis os links onde foram comprados estes materiais. No nosso caso, tentamos substituí-los por visor de calculadora e pasta dental, mas não obtivemos sucesso. Entretanto, para trabalhos futuros sugerimos que se tente utilizar tela de celular e diferentes pastas dentais com diferentes composições.

Neste trabalho, os elementos da célula que conseguimos substituir por elementos com baixo custo e fácil acesso foram:

- Corante: suco de amora;
- Solução eletrolítica: tintura de iodo;
- Filme de Pt: grafite de lapiseira.

4.2. Produção das células.

No procedimento experimental de produção das células tentamos utilizar o menor número de detalhes possível, simplificando ao máximo o processo como um todo. Mesmo

quando utilizamos materiais que não são de tão fácil acesso, como o TiO_2 , simplificamos no sentido de não inserir todos os solventes e aditivos que tornam a pasta mais eficiente, utilizando apenas água.

As células deste tipo fabricadas em nosso laboratório possuem eficiências em torno de 7% [3], mas levam de 2 a 3 dias para serem feitas, incluindo etapas envolvendo mais detalhes, materiais de difícil acesso e altas temperaturas (de até 500°C para obtenção dos filmes de TiO_2). A célula que fizemos no vídeo foi feita de maneira simplificada, com processos menos complexos. Deste modo, a eficiência é bem baixa (não medimos, mas estimo algo abaixo de 0,01%), entretanto para fins didáticos é interessante observar a variação na tensão e corrente indicadas no multímetro quando se incide luz na célula, indicando que ela gera corrente elétrica quando iluminada. Todo o processo, incluindo todos os detalhes da produção, foi filmado e está disponível em https://youtu.be/e_4O83dSaJA.

5. Edição do vídeo.

O vídeo foi filmado utilizando uma câmera Canon e editado utilizando a versão de avaliação gratuita do *Adobe Premiere Pro CC*. A música de fundo foi editada utilizando o programa *Audacity*.

A primeira parte da edição do vídeo foi importar os vídeos gravados (ao todo foram 15 vídeos ao longo da fabricação da célula) e organizá-los com respeito à ordem e rapidez com o qual cada pedaço do vídeo iria ser apresentado. Por exemplo, partes demoradas foram ajustadas para ter uma velocidade maior, e portanto serem passadas mais rapidamente no vídeo. Para selecionar os fragmentos de vídeo que iriam ser cortados, movidos para outro lugar ou acelerados utilizamos a ferramenta indicada com um círculo vermelho na Figura 2. Para acelerar, basta clicar com o botão direito do mouse e clicar em velocidade e assim ajustá-la, tanto para mais como para menos de 100%.

Usando a ferramenta de texto, destacada com um círculo vermelho na Figura 3, é possível inserir legendas e textos no vídeo para melhor entendimento do que está sendo apresentado. É possível estipular quanto tempo esse texto será apresentado aumentando ou diminuindo o tamanho do retângulo branco que está destacado dentro de um retângulo amarelo na Figura 3.

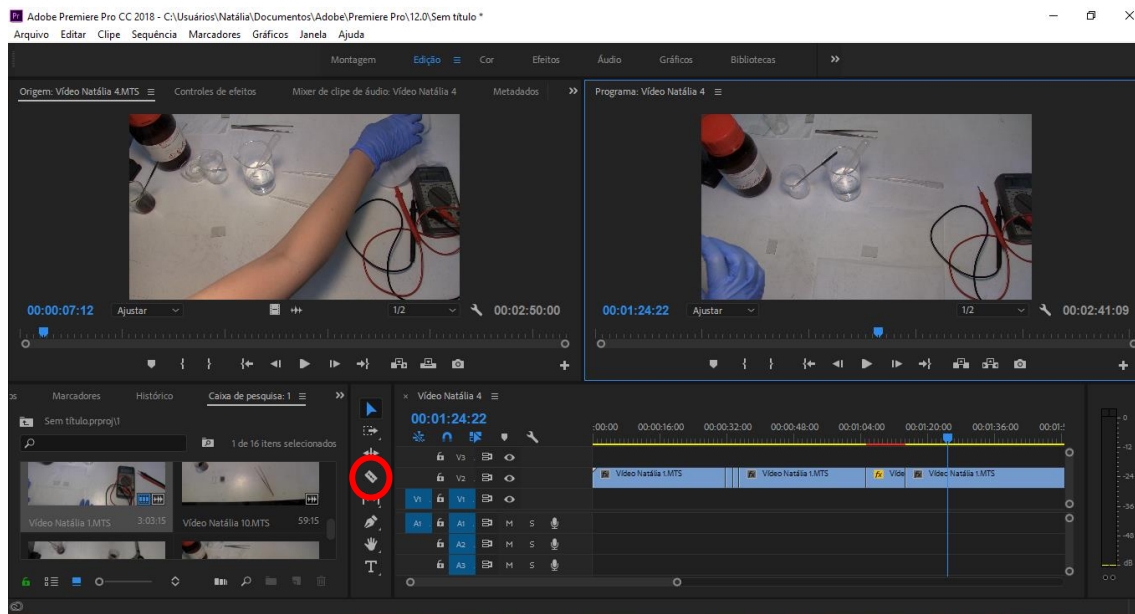


Figura 2: Cortando, movendo e acelerando pedaços do vídeo.

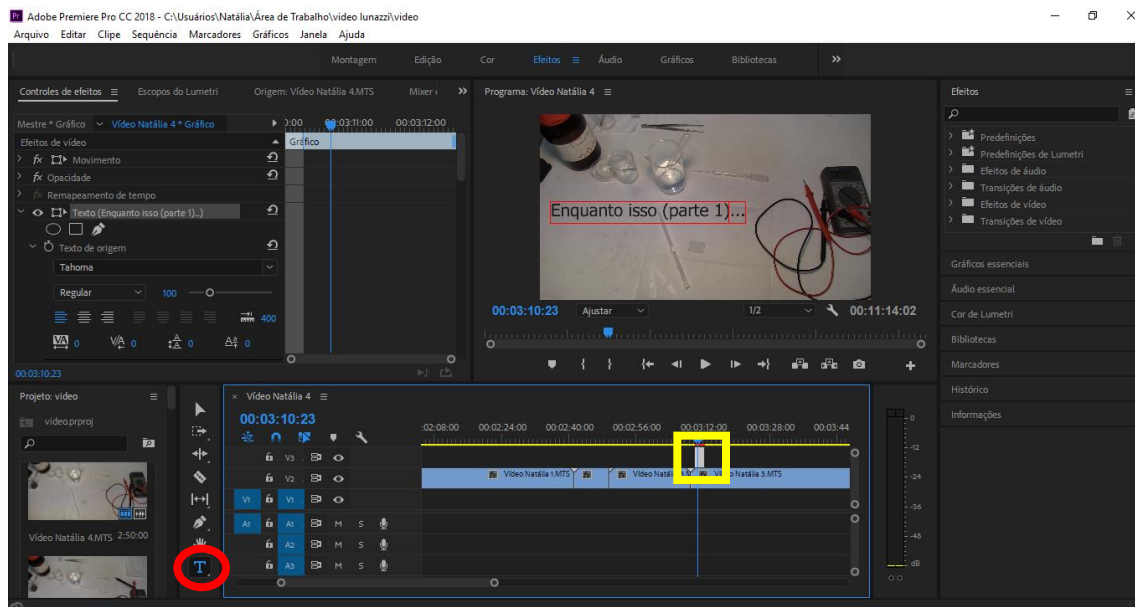


Figura 3: Inserindo caixas de texto.

Do mesmo modo é possível inserir imagens (importando elas primeiramente) ou animações, como o relógio utilizado em algumas partes do vídeo (que extrai de https://www.youtube.com/watch?v=rbsNZ12_Alw). Para retirar o fundo branco do relógio, foi necessário usar a ferramenta Ultra Key, indicada na Figura 4.

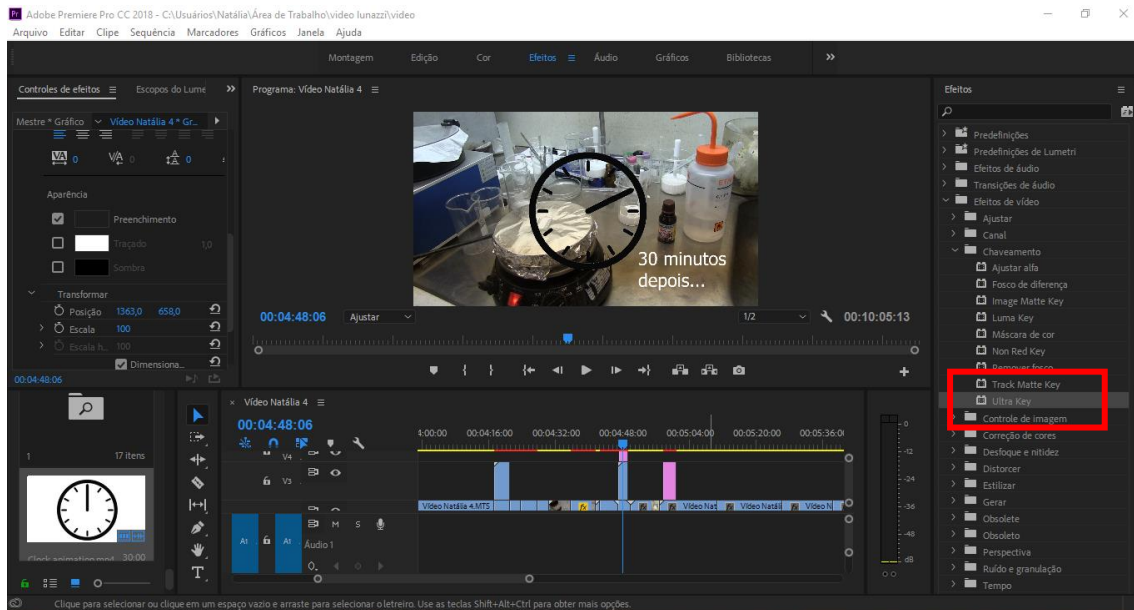


Figura 4: Inserindo imagens e animações.

Depois de ter ajustado todo o vídeo com relação à ordem da apresentação e duração de cada parte, fizemos a narração do vídeo. Para isso, escrevi um texto que deveria ser dito, e li pausadamente. Importei esse arquivo logo abaixo dos arquivos de vídeo, e cortei entre as falas, novamente usando a ferramenta indicada na Figura 2. Movendo os pedaços de áudio (indicados na Figura abaixo) para os locais apropriados, ficamos então com o vídeo e áudio sincronizados, como indicado na Figura 5.

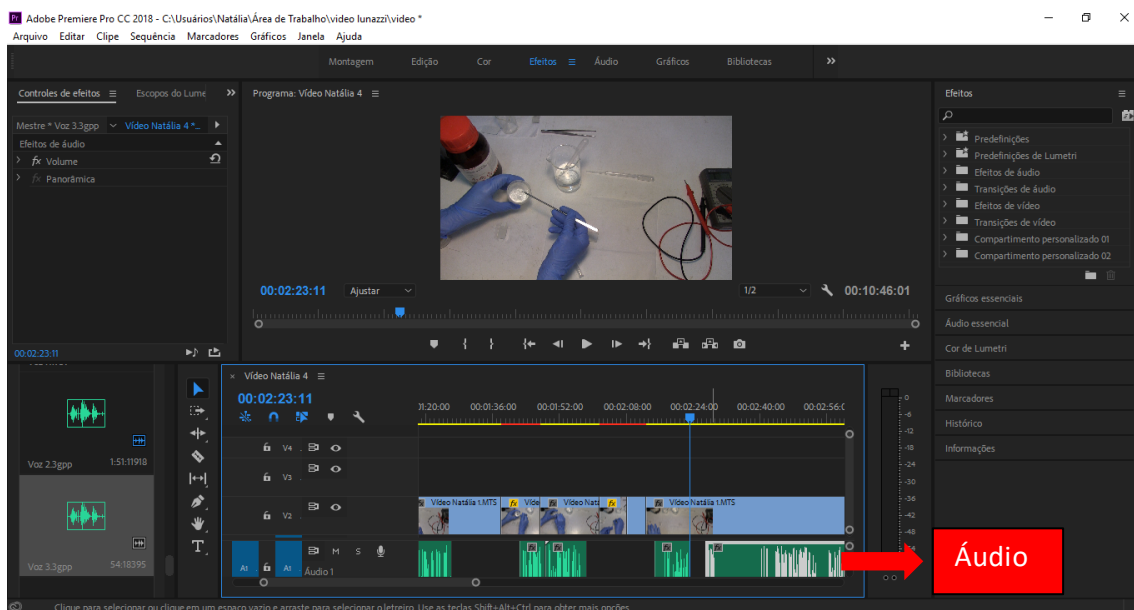


Figura 5: Inserindo o áudio de narração.

Depois de ter sincronizado o vídeo, fizemos então uma apresentação de slides no *Powerpoint* para servir como a introdução e o final do vídeo. Exportando essa apresentação como Vídeo MPEG-4 e importando no Adobe Premiere, inserimos essas apresentações no início e no fim, e novamente editamos com relação à velocidade, posicionamento e sincronização com a narração. Na Figura 6 está destacado o local onde foi inserida a apresentação de slides do início do vídeo.

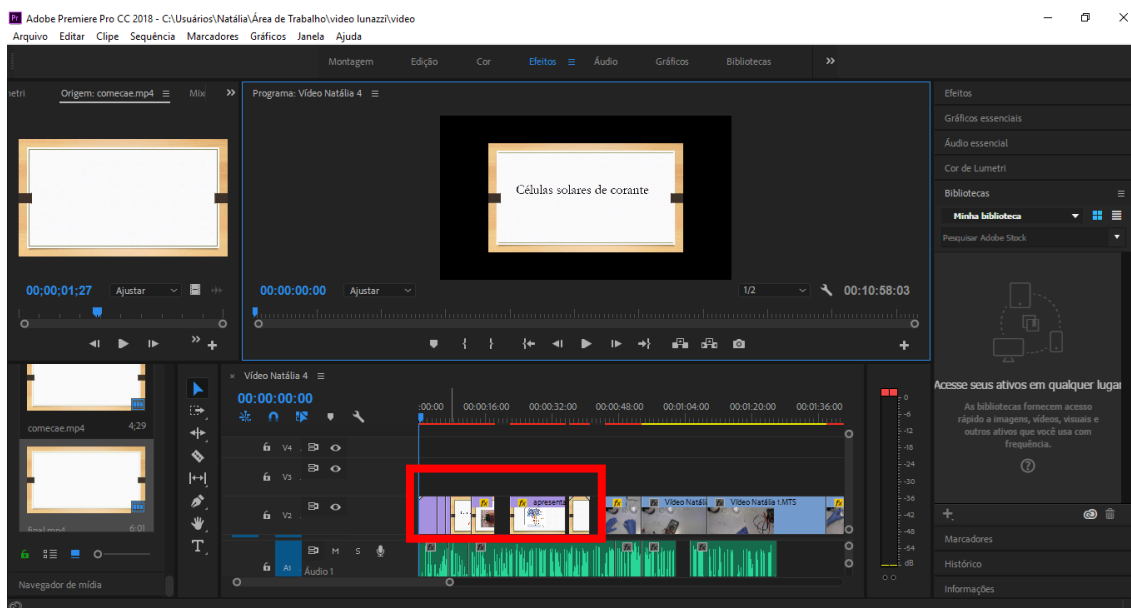


Figura 6: Inserindo apresentações de slides no início do vídeo.

Por fim, escolhemos uma música (Happiness, disponível no site de “royalty free music” <https://www.bensound.com/royalty-free-music/acoustic-folk>) e utilizando o programa *Audacity* selecionamos as partes da música que deveriam estar mais baixas (quando havia a narração do vídeo) e mais altas. Para isso, entramos em efeitos, amplificação e selecionamos o quanto queremos abaixar no volume, sempre sincronizando com o vídeo. Depois disso, a música de fundo fica como indicado na Figura 7.

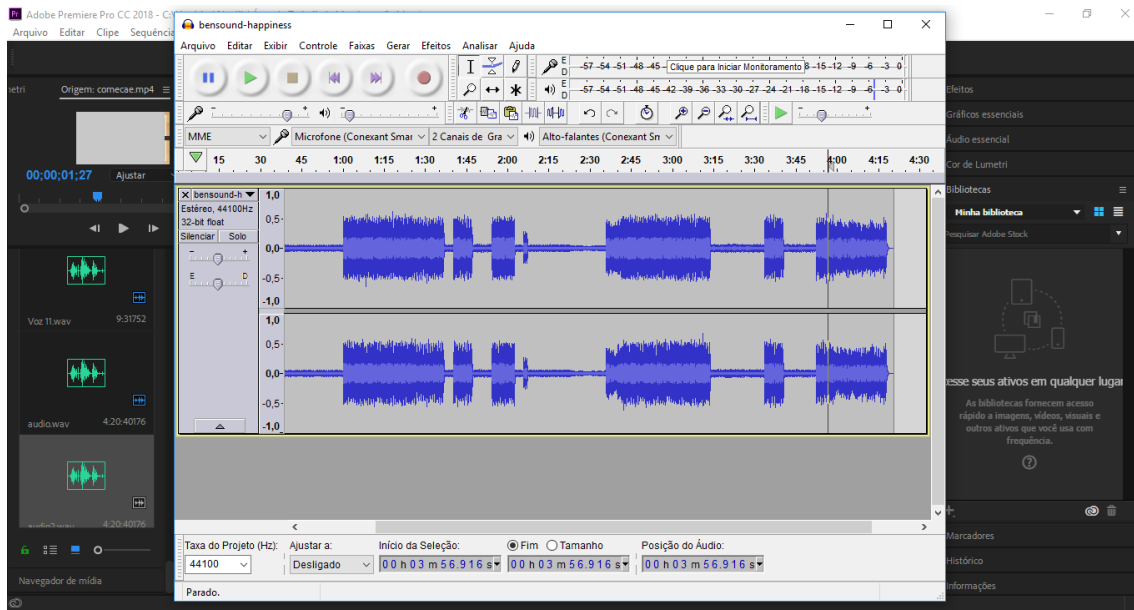


Figura 7: Editando a música de fundo.

Ao final, o arquivo ficou como mostrado na Figura 8, sendo que a música de fundo foi inserida logo abaixo do áudio da narração, como indicado.

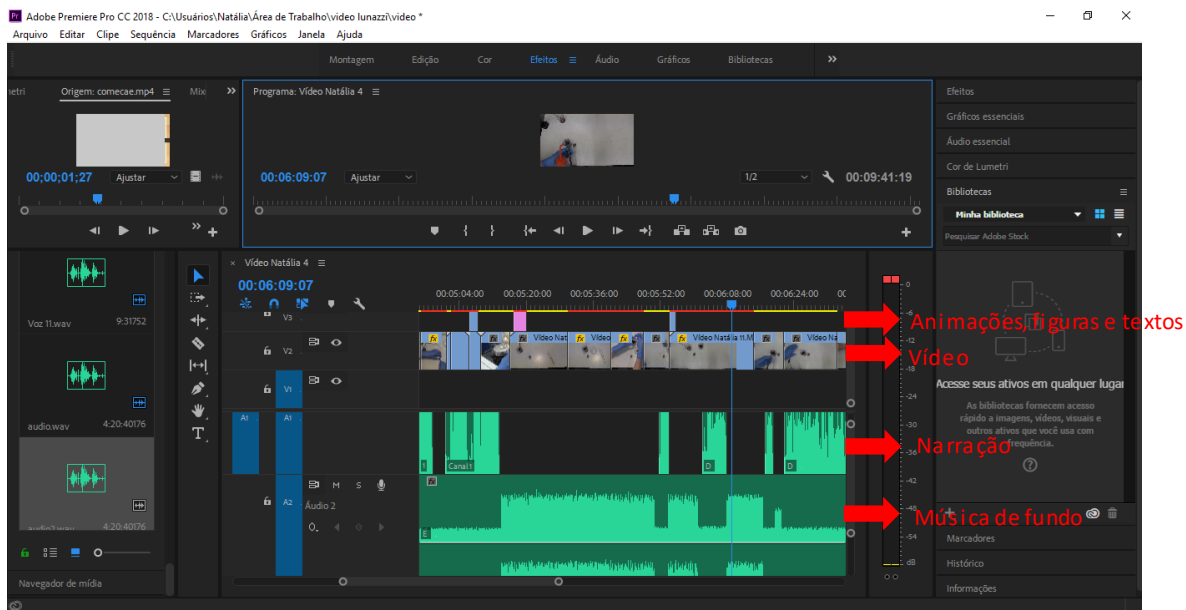


Figura 8: Imagem de como ficou o arquivo após todas as edições.

Depois de pronto, o vídeo foi exportado como mostrado na Figura 9, com resolução máxima.

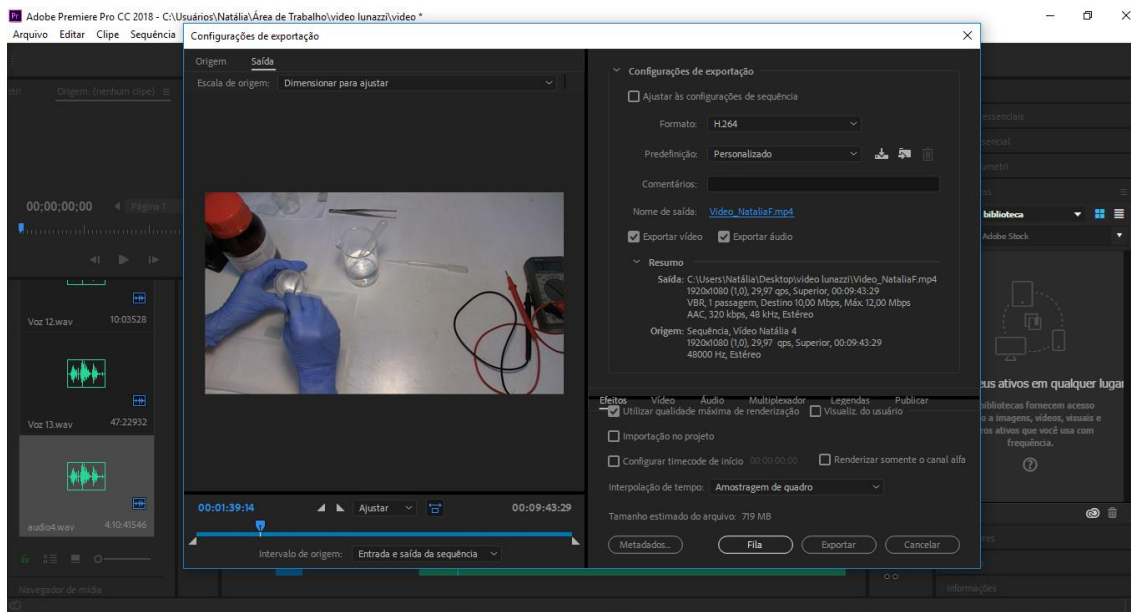


Figura 9: Exportando o vídeo.

O vídeo encontra-se disponível em https://youtu.be/e_4O83dSaJA.

6. Conclusões.

Este trabalho consistiu em produzir células solares de corante substituindo alguns elementos da célula por materiais de fácil acesso, como frutas, tintura de iodo e grafite de lapiseira. Infelizmente não conseguimos substituir o FTO e o TiO_2 , mas disponibilizamos links de onde eles podem ser encontrados. Esse processo de produção foi filmado e editado e está disponível em https://youtu.be/e_4O83dSaJA. Para fins didáticos esse experimento é útil no sentido de observar a geração de corrente elétrica quando a célula solar é iluminada, ou seja, a conversão de energia luminosa em energia elétrica através de um dispositivo cuja produção foi inteiramente apresentada no vídeo. Em escolas onde não é possível comprar esses materiais para a produção das células, é interessante mostrar aos alunos o vídeo, explicando a conversão de energia através do diagrama de bandas simplificado de um semicondutor, o que ajudaria a mostrar que ele não é algo abstrato e sem aplicação no cotidiano.

7. Referências.

7.1. Primeira célula de corante, desenvolvida em 1991:

[1] O'regan, Brian, and Michael Grätzel. "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films." *nature* 353.6346, 737-740 (1991).

7.2. Artigo interessante sobre funcionamento dessas células, de onde extrai a Figura 1:

[2] Janne Halme, Paula Vahermaa, Kati Miettunen, and Peter Lund. Device physics of dye solar cells. *Advanced Materials*, 22(35):E210–E234, 2010

7.3. Minha dissertação de mestrado, onde o funcionamento das células, os materiais utilizados e como é feita a caracterização estão descritos:

[3] Coutinho, Natália de Faria. "Células solares sensibilizadas por corante." Dissertação de Mestrado (2014).

7.4. Artigos sobre a fabricação de células solares de corante como instrumento didático para o ensino médio:

[4] Mayrinck, C., et al. "Célula Solar de Grätzel: Uma Proposta de Experimentação Interdisciplinar." *Rev. Virtual Quim*, vol 9, No. 2. (2017).

[5] Azevedo, Manuel, and António Cunha. "Fazer uma célula fotovoltaica." *Rev. Physical on Stage*. Avareio, Portugal 2.4, 1-3 (2015).

[6] Tonolli, Michele Seferino, and Diego Alexandre Duarte. "Desenvolvimento de células solares com frutas e materiais de baixo custo.", VII Congresso de Engenharia de Projetos, Joinville, Brasil (2016).

7.5. Vídeos onde mostra-se a preparação de células solares de corante (todos em inglês):

[7] <https://www.youtube.com/watch?v=fOhKsbhgt1U>

[8] <https://www.youtube.com/watch?v=8hertoGXWtE>

[9] <https://www.youtube.com/watch?v=8DQt8Sd1qgY>

[10] <https://www.youtube.com/watch?v=-rtm8tMLS2U>

7.6. Animação de como fazer e como se dá o funcionamento das células de corante (em inglês):

[11] <https://www.youtube.com/watch?v=h7Iaa2pE2FQ>

8. Materiais.

- O FTO utilizado foi comprado em:

<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=735167&interface=Product%20No.&N=0+&mode=mode%20matchpartialmax&lang=pt®ion=BR&focus=productN=0%20220003048%20219853286%20219853075>

- As nanopartículas de TiO₂ utilizadas foram compradas em:

<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=637254&interface=Product%20No.&N=0+&mode=mode%20matchpartialmax&lang=pt®ion=BR&focus=productN=0%20220003048%20219853286%20219853075>

9. Opinião do orientador.

Meu orientador concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião:

“O processo de fabricação das células envolvendo alguns materiais de fácil acesso foi interessante. O vídeo está claro e bem editado e o relatório está bem apresentado. Acredito que o trabalho como um todo está bom.”