



REVISÃO SISTEMÁTICA: PLACAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES

Denilson Dias Ezequiel¹
Francisco Celio Ferreira Franco¹
Jean Chiltone Jacquet¹
Kaliany Araujo Coqueiro¹
Lucas Borges Silva¹
Orientador: Prof. Dr. Alexandre de Jesus Barros

RESUMO

A natureza em que estamos está cheia de estilo de vida diferente, mas também cheia de fontes de energias diferentes e que o ser humano vem descobrindo através de grandes invenções e/ou no dia a dia com experimentos. Então nesse trabalho, o foco será placas solares sensibilizadas por corantes. Sabemos que a Além da energia solar ser natural, ingredientes naturais poderiam ser utilizados como corantes nas células sensibilizadas por corantes (*Dye-sensitized solar cell*) o que as torna mais sustentável. Para esse procedimento podemos usar corantes extraídos das plantas que contêm antocianinas, carotenoides e betaínas, por exemplo, beterraba. TiO_2 que é um semicondutor, uma solução de iodo como eletrólito, duas placas de vidro condutor e um catalisador. Óxido de estanho dopado de flúor (FTO) e óxido de estanho dopado com índio (ITO) poderiam ser usados como revestimento, e depois calcinar os filmes de TiO_2 será colocado o corante. Além de mostrar como a combinação de corante natural e TiO_2 , luz do sol pode gerar energia utilizável, também mostra que o humano não precisa poluir o meio ambiente para ter esses tipos de energia.

Palavras-chave: DSSC. Placa Solar. Energia.

ABSTRACT

The nature in that we are is full of different lifestyle and also full of different energy sources and human has been discovering through great inventions and/or on a daily basis with. So in this work, our focus will be on solar panels sensitized by dyes. We all know that “the solar energy is abundant and free to use especially in tropical countries when solar energy is available a whole year.” (www.sciencedirect.com) Solar energy is natural and also natural ingredients could be utilized as dyes for dye-sensitized solar cell (DSSC) that turn it a cheap type of solar cell. For this procedure, we can use dyes extracted from plants containing anthocyanins, carotenoids and betains, for example beetroot. TiO_2 which is a semiconductor, an iodine solution such as an electrolyte, two conductive glass plates and a catalyst. Fluoride-doped tin oxide and indium-doped tin oxide could be used as a coating, and then calcining the TiO_2 films will be applied the dye.

In addition to showing how the combination of natural dye, TiO_2 , sunlight can generate usable energy, it also shows that humans don't need to pollute the environment to have these types of energy.

Keywords: DSSC. Solar Plate. Energy.

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
* tcc.etecia.solar@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de fontes alternativas de geração de energia, como a solar, eólica, biomassa, dentre outras, tem recebido cada vez mais atenção nas últimas décadas. A principal motivação se deve ao aumento da preocupação ambiental, em específico às consequências causadas pelo efeito estufa. Em 2013, cerca de 80% de toda a energia produzida foi de origem de combustíveis fósseis, que são considerados os que mais contribuem para o efeito estufa. Em contrapartida, essa dependência vem diminuindo nos últimos anos, graças ao uso de fontes renováveis de energia. (SONAI, 2015)

Agora enfrentamos graves problemas atmosféricos graças as altas taxas de emissão de dióxido de carbono. (EPA, 2000). As fontes de energias renováveis terão um aumento, em torno de 50%, nos períodos de 2019 a 2024. Sendo que as células fotovoltaicas representam 60% do aumento. (IEA, 2019).

Nas últimas décadas as células solares sensibilizadas por corante têm ganhado um foco de dezenas de grupos de pesquisa, devido às vantagens que apresentam em relação a células solares convencionais. (SARRATO, 2019). Pois além de fácil produção, é uma opção com baixo impacto ambiental para a demanda crescente de consumo de energia elétrica. (GOETZKE, 2019)

Apesar da energia solar ter tido um aumento considerável, um dos motivos de não ser uma energia popular, é por conta dos altos custos para a produção de seus materiais. Nesse contexto, surgiram essas células solares sensibilizadas por corantes, DSSC (do inglês *dye-sensitized solar cells*), que foram primeiramente desenvolvidas por Michael Grätzel e O'Regan em 1991. (COUTINHO, 2014)

Uma DSSC é uma placa fotovoltaica baseada em semicondutores sensibilizados, esses capazes de absorver a radiação solar e efetuar a conversão de energia solar em energia elétrica. E foi proposta inicialmente por Grätzel em 1991. (GRÄTZEL, 1991; GOETZKE, 2019)

Em 1991 Grätzel e colaboradores verificaram que a sensibilização do dióxido de titânio TiO_2 com elevada porosidade, e com um corante baseado em rutênio apresentava características únicas de aplicação no sistema fotovoltaico.

A energia solar surge como uma alternativa promissora, em virtude do grande potencial energético, principalmente para o Brasil, que se encontra em uma posição geográfica privilegiada no planeta. Contudo, a produção de energia solar fotovoltaica mundial apenas detém 0,7% do mercado de energia renovável, dos quais 90% desses módulos solares, que são comercializados,

são baseados em células fotovoltaicas de silício mono e policristalino, que tem um alto custo. (SONAI, 2015).

1.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UMA DSSC.

As DSSC são constituídas principalmente de por moléculas de um dado corante (*dye*), um semicondutor (TiO_2), um eletrólito (solução de iodo), duas placas de vidro condutor e um catalisador (platina ou grafite). O corante é o elemento responsável em absorver a radiação do espectro visível de forma eficiente, injetar elétrons no semicondutor e aceitar elétrons do par redox presente no eletrólito para ser regenerado, repetindo este ciclo sucessivamente, condutora e rápida regeneração a partir de eletrólitos. (MARQUES, 2015)

Os semicondutores são constituídos por uma rede tridimensional de partículas de óxidos, que são incorporados de modo a permitirem a ocorrência de condução elétrica. De entre os vários semicondutores, o TiO_2 , atendendo às suas propriedades, é o mais usado em DSSC, por ter baixo custo, não ser prejudicial ao meio ambiente e apresentar boa estabilidade química sob a irradiação visível. (MARQUES, 2015)

2 MÉTODO

Estudo de revisão sistemática da literatura, para tal, foram consultadas as bases de dados SciELO, Google Acadêmico e Periódico CAPES, e foram selecionados artigos científicos publicados em Português e Inglês, dentro do período de 2011 a 2021.

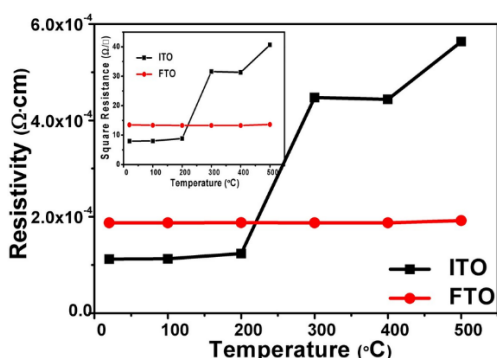
Os descritores utilizados para a pesquisa de artigos nas bases foram: DSSC, *dye-sensitized solar* e placas/células solares sensibilizadas por corantes. Com a busca identificou-se a média de 63.358 artigos, dentre os quais foram selecionados 12 de acordo com o objetivo desse estudo. Em um primeiro momento, analisou-se o título e após o resumo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PREPARAÇÃO DAS CÉLULAS

O revestimento mais utilizado nas placas são o óxido de estanho dopado de flúor (FTO) e o óxido de estanho dopado com índio (ITO). Em pesquisas realizadas, indicam que o FTO é o mais indicado, pois apesar do aumento de temperatura da placa, a mesma ainda permanece com uma quase nula variação de resistividade. (Figura 1) (COUTINHO, 2014)

Figura 1 - Comparação entre FTO e ITO. Retirado de COUTINHO, 2014



É preparada uma pasta de TiO_2 com acetil acetona, triton x20, polietileno glicol e água deionizada. Após isso a mesma é depositada em um substrato vítreo condutor de óxido de estranho dopado com flúor (FTO). Os filmes de TiO_2 são calcinados e posteriormente colocados o corante de algum vegetal ou outro material.

Nota-se que as pastas de TiO_2 produzidas em laboratório apresentaram uma eficiência menor em relação às pastas comerciais (Tabela 1), isso pode está relacionado a espessura, pois a comercial apresenta $12\mu\text{m}$, enquanto de laboratório é de $10\mu\text{m}$, sendo que quanto mais espesso maior a densidade da corrente de curto-circuito (J_{sc}). É importante lembrar que a técnica utilizada não permite uma alta precisão no depósito do óxido metálico, intitulado como doctor blading.

Células	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
1	0,78	12,02	0,56	5,21
2	0,77	9,16	0,66	4,70
3	0,78	10,01	0,54	4,22
4	0,76	10,45	0,65	5,09
5	0,78	11,75	0,51	4,68
Pasta preparada	$0,77 \pm 0,01$	$10,7 \pm 0,5$	$0,58 \pm 0,03$	$4,8 \pm 0,2$
6	0,77	9,52	0,64	4,73
8	0,75	11,71	0,66	5,84
9	0,76	14,02	0,62	6,56
10	0,76	14,55	0,60	6,66
Pasta comercial	$0,76 \pm 0,01$	13 ± 1	$0,63 \pm 0,01$	$6,0 \pm 0,4$

Tabela 1 - Resultados das placas de oxido metálico comercial e o que é produzido em laboratório. Adaptado de COUTINHO, 2014

É importante também ressaltar que o ato de regeneração tende a ser mais rápido ao invés do decaimento do corante oxidado. Uma forma de deter tal desvantagem da reação de recombinação entre os elétrons no semiconductor e o eletrólito é através do tratamento da superfície do semiconductor. (SONAI, 2015) Por conta disso, foi analisado que na preparação do filme de TiO_2 fazendo um pós tratamento de tetracloreto de titânio (TiCl_4) demonstrou uma eficiência das células de 15%. Preparou-se dois grupos de células, o grupo C, no qual não houve o pós-tratamento de TiCl_4 , e o grupo D, no qual houve. O grupo D obteve maior densidade de corrente de curto-circuito. (Tabela 2) (COUTINHO, 2014)

Grupo	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)
C	$0,71 \pm 0,02$	$10,0 \pm 0,1$	$0,54 \pm 0,03$	$3,9 \pm 0,3$
	$0,74 \pm 0,01$	$10,6 \pm 0,3$	$0,57 \pm 0,01$	$4,51 \pm 0,04$

Tabela 2 - V_{oc} : tensão de circuito aberto; J_{sc} : Densidade da corrente de curto-circuito; FF: fator de preenchimento; η : eficiência de uma célula solar.

Um dos empecilhos do eletrólito líquido é sua possibilidade de vazar ou a volatilização, logo para evitar é utilizado o eletrólito polimérico em gel. Entretanto, notou-se que tal eletrólito pode apresentar dificuldade na penetração com o fotoânodo, logo não entrando em contato com as moléculas de corantes e causando uma baixa eficiência. (SONAI, 2015) Outra manobra de impedir é através da prensagem e utilização de eletrólito comercial (EL-HPE High Performance Electrolyte, Dyesol) ao invés da preparação em laboratório de acordo com a metodologia Agnaldo et al indicado na Figura 2 (COUTINHO, 2014)

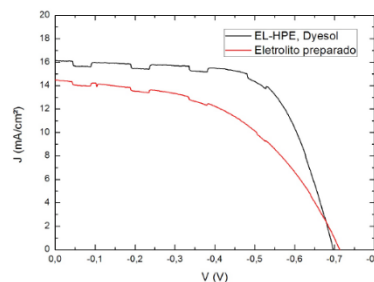


Figura 2 – Curva entre densidade da corrente J e Tensão V . Retirado de COUTINHO, 2014

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS CORANTES

Os corantes são testados a fim de determinar em quais comprimentos de onda ocorre a maior absorção e se há a presença de alguma banda característica da presença de antocianinas, na estrutura molecular. (TRACTZ, 2020)

Para uma melhor potencialização das células é necessário utilizar um corante, que seja responsável pela absorção de luz, no qual consiga absorver uma ampla faixa do espectro. Os mais aplicados são os que tem na sua composição o elemento rutênio (Ru) ou complexos do mesmos, pois além de transferir elétrons excitado no semicondutor de maneira rápida, possui uma absorção larga no espectro que vai do visível até o infravermelho, seu pico vai de 530 nm. Mas o processo de purificação e por não ser muito abundante acaba exigindo um alto valor para sua produção. Por isso tem-se estudado novos corantes que sejam de baixo custo. Já os corantes naturais são extraídos de plantas que contêm as Esqueraínas, que possui uma maior estabilidade por conta do seu anel aromático, sua eficiência chega de 3% a 5% ao contrário do Ru (II) que podem chegar até 14%. As Cianinas possuem a possibilidade de adaptar os níveis energéticos pela mudança dos grupos funcionais, por isso permite uma absorção no espectro infravermelho e no visível de 500 nm a 700 nm, além disso, existem os carotenoides e betaínas, porém vale ressaltar que os corantes podem degradar durante o funcionamento das placas, como por exemplo, as antocianinas têm sensibilidade a variações de pH, sendo instável em meio alcalino. (BRITO, 2013)

Tractz 2020, também destaca que ao ponto que mesmo que as placas solares sensibilizadas por corantes sejam mais baratas em comercialização em larga escala e possuem uma facilidade na produção, ainda estão longe de ser mais eficientes que as placas baseadas em silício. Como dito por Fonash, tornar-se mais atrativo quando de compara a eficiência vezes o tempo de vida da placa com o seu custo de produção e venda.

Feitosa em 2016 preparou extratos de pétalas de duas espécies vegetais, extraindo o corante natural em solventes orgânicos. E indicaram que na luz visível, os corantes testados apresentaram uma boa reação, a autora indica que é devido a presença das antocianinas nessa espécie vegetal, que tem uma absorção no espectro da luz visível

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As placas solares sensibilizadas por corante tem uma grande chance de substituir as placas solares atuais por serem mais práticas e acessíveis, no entanto novas pesquisas ainda

devem ser realizadas para melhora-las, no que tange a sua eficácia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a ETEC Irmã Agostina, ao nosso orientador Professor Alexandre, pelas ajudas e dicas na melhoria do trabalho e agradecemos aos demais professores pela formação do nosso caminho.

ANEXOS

Em anexo temos a instrução de trabalho (IT), proposta pelo grupo para analisar uma célula fotovoltaica.

REFERÊNCIAS

BRITO, R. C.. **Estudo de caracterização de Células Solares Sensibilizadas por Corante**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013.

COUTINHO, N. de F. (2014). **Células Solares Sensibilizadas por Corante** (p. 106). UNICAMP.

EPA. **Inventory of US greenhouse gas emission and sinks: 1990-1998**. U.S. Environmental Protection Agency. 2000.

FEITOSA, A.V. SOUSA, J. H. A. CAVALCANTE, F.S. **Células Solares sensibilizadas com corantes naturais extraídos das plantas *Nerium oleander* e *Portulaca grandiflora***. Ciência e Natura, Santa Maria V.38 n. 3, 2016.

GOETZKE, V. **Avaliação do desempenho da DSSC com a variação de parâmetros físicos**. Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas. 2019.

IEA. (2019). **Renewables 2019**. <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>

MARQUES, C. **Células Solares Sensibilizadas por Corantes AZO: Eficiência e Fotodegradação**. Departamento de Química, Universidade de Coimbra. 2015.


O'REGAN, B.; GRÄTZEL, M. **A low-cost, high-efficiency solar cell based in dyesensitized colloidal TiO₂ films**. Letters to Nature. 1991

SARRATO, J. P. C. **Síntese de novos corantes á base de cumarinas para aplicações em DSSC**. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. 2019.

SONAI, G. G., Jr, M. A. M., NUNES, J. H. B., Jr, J. D. M., & NOGUEIRA, A. F. (2015). **Células solares sensibilizadas por corantes naturais:**

Um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. Química Nova. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150148>

TRACTZ, G. T.; Dias, B. V.; BANCZEK, E.P.; da Cunha, M.T.; RODRIGUES, P.R.P. **Células solares sensibilizadas por corante (CSSC): Perspectivas, Materiais, Funcionamento e Técnicas de Caracterização.** Revista Virtual de Química, 2020.

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Célula fotovoltaica			
Código DTCCQ-2021	Área/Curso Técnico em Química	Data de Emissão 30.03.2021	Última Revisão 30.03.2021	Versão N° 02

1. OBJETIVOS

Analisar o potencial das células solares sensibilizada por corante proveniente de origem central a partir de extrato.

2. CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta IT se aplica unicamente ao Laboratório de Análises Microbiológicas e Alimentos (LMA) e ao Laboratório de Análises Instrumentais (LAI)

3. EMISSÃO, REVISÃO E APROVAÇÃO.

Esta IT foi:

- ✓ Emitida por: Denilson Dias, Francisco Celio, Jean Chiltone, Kaliany Araujo e Lucas Borges.
- ✓ Revisada por: Prof. Dr. Alexandre de Jesus Barros
- ✓ Aprovada por: Profa. Thais Taciano dos Santos

4. HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES

Versão	Data	Alteração(ões) efetuada(s)
01	30/03/2021	Emissão do documento
02	30/04/2021	Alteração e correção do documento

5. INTRODUÇÃO

Em 2013, cerca de 80% de toda a energia produzida foi de origem de combustíveis fósseis, que são considerados os que mais contribuem para o efeito estufa. (SONAI, 2015), logo desenvolvimento de fontes alternativas de energia, como a solar, eólica, biomassa, dentre outras, tem recebido cada vez mais atenção nas últimas décadas. Segundo o relatório da Agência Internacional de Energia (sigla em inglês IEA), prevê que fontes de energias renováveis terá um aumento, em torno de 50%, nos períodos de 2019 a 2024. (IEA, 2019)

As células solares são compostas de um fotoeletrodo e um contra eletrodo e uma solução eletrolítica. O fotoeletrodo é formado por um vidro recoberto com uma fina camada de óxido condutor, neste caso, dióxido de titânio (TiO_2), que é transparente à luz, dessa forma não absorve parte do espectro solar. Para isso, é necessário conter uma camada de algum corante, que é o elemento ativo da célula, em outras palavras é quem absorve os fótons e gera elétrons, através do processo de oxidação. Tais elétrons são posteriormente injetados no óxido semiconductor, e um par redox contido no eletrólito faz a redução do corante oxidado e é regenerado no contra-eletrodo é composto, geralmente, com um material catalisador, como a platina. (COUTINHO, 2014)

a. Cuidados a se tomar nesse experimento

O uso de EPI é obrigatório.

Tenha atenção durante a realização dos procedimentos.

6. DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO

a. Materiais e Reagentes

Os materiais e reagentes necessários para o experimento estão descritos na Tabela 1 e correspondem à necessidade de todos os grupos.

Tabela 3: Reagentes necessários para o experimento.

Unidades/Quantidades	Descrição do Reagente
<i>q.s.p.</i>	Acetona (C ₃ H ₆ O)
<i>q.s.p.</i>	Metanol (CH ₃ OH)
<i>q.s.p.</i>	Álcool isopropílico (C ₃ H ₈ O)
<i>q.s.p.</i>	Detergente neutro
<i>q.s.p.</i>	Dióxido de titânio (TiO ₂)
1	Tintura de Iodo 2% (I ₂)
<i>q.s.p.</i>	Polietilenoglicol 400 HO(C ₂ H ₄ O) _n H
<i>q.s.p.</i>	Água destilada (H ₂ O)
<i>q.s.p.</i>	Etanol

Tabela 4: Materiais necessário para o experimento.

Unidades/Quantidades	Descrição de materiais
2	Almofariz
4	Béquer
1	Fita adesiva
1	Pipeta
1	Mufla
2	Bastão de vidro
3	Placas de FTO (F:SnO ₂)
1	Multímetro
5	Resistores (220Ω~2kΩ)
5	LEDs (Qualquer cor)
1	Protoboard (opcional)

b. Procedimento

Preparação do fotoanodo:

1. Pegar uma placa de FTO (*fluorine-doped tin-oxide*) e lavar com detergente e enxaguar com água.
2. Deixar imerso em banho ultrassônico por 5 minutos, separadamente e nesta ordem, os solventes; acetona, metanol e álcool isopropílico.
3. Pesar 3,0 g de TiO₂ e em um almofariz triturá-lo por 30 minutos.
4. Adicionar 1,2 g de polietilenoglicol (400) e TiO₂ em um béquer, em seguida, com uma pipeta, adicionar 5 ml de água destilada e 100μL de etanol, logo após, adicionar uma gota de detergente.

5. Pegar a placa de substrato de FTO, já higienizada, e colar nas laterais fita adesiva, para controlar a espessura, usando a técnica *doctor blading* depositar em uma extremidade a pasta de TiO_2 e espalhar com a bagueta.
6. Deixar a placa de substrato com TiO_2 de por 15 minutos em temperatura ambiente.
7. Aquecer o filme de TiO_2 no forno mufla por 30 minutos em $450\text{ }^\circ\text{C}$.

Preparação do contra eletrodo:

1. Pegar uma placa de FTO e lavar com detergente e enxaguar com água.
2. Deixar imerso em banho ultrassônico por 5 minutos, separadamente e nesta ordem, os solventes: acetona, metanol e álcool isopropílico.
3. Inserir uma camada fina de carbono (grafite) sobre o substrato de vidro.
4. Aquecer por 10 minutos em $450\text{ }^\circ\text{C}$.

Preparação do eletrólito:

1. Solução eletrolíticas, responsável pelo transporte de carga dos corantes ao contra eletrodo. Utilizaremos uma solução de iodo a 2% diluído em álcool, tinta de iodo. Com uma pipeta, transportaremos o eletrólito a placa de TiO_2 .

c. Procedimento de análise

Para a realização da análise de tensão gerada pela placa fotovoltaica e o corante, será montada um circuito de teste, com a finalidade de obter-se a corrente contínua (CC) gerada. A figura 1 exemplifica como deve-se montar o circuito.

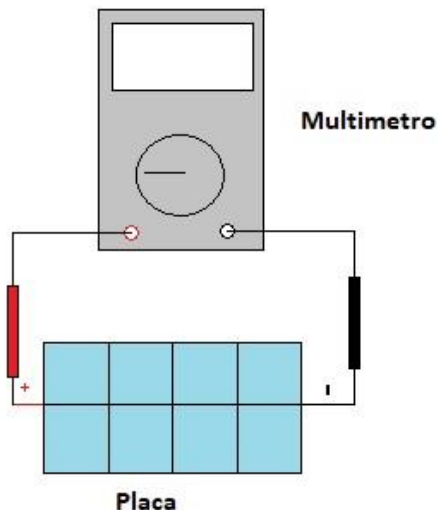


Figura 2 – Placa solar e multímetro. Fonte: Autores

d. Análise de corrente

Para se descobrir a corrente em ampère (A), deve-se montar o esquema representado na figura 2. O multímetro deve estar na escala de ampere.

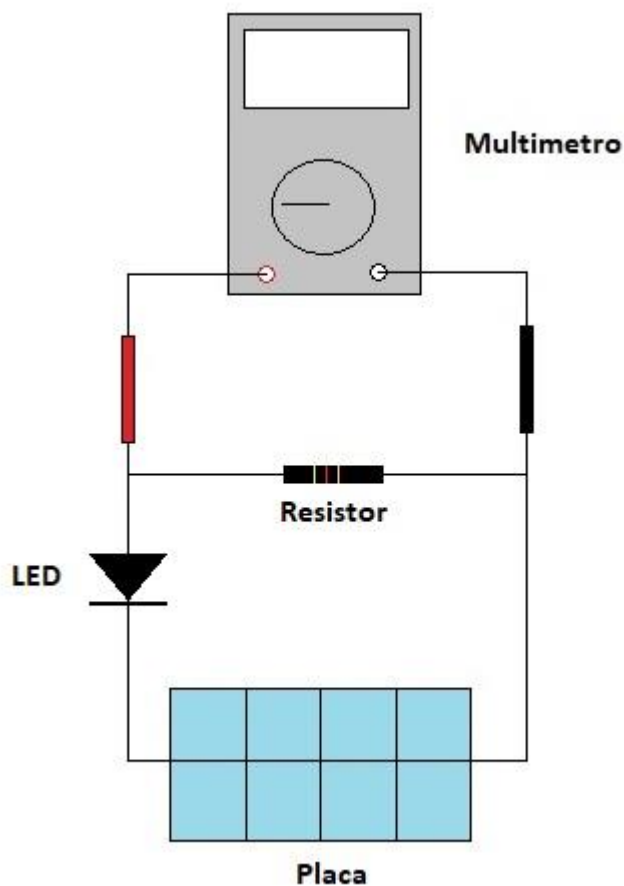


Figura 3 – Circuito para amperagem. Fonte: Autores

6.5. Acondicionamento/Tratamento de Resíduos

Para realizar o tratamento de resíduos, os resíduos devem ser levados para a capela de exaustão, em recipiente apropriado, para ser neutralizado com NaOH (Hidróxido de Sódio) e posteriormente destinar os resíduos para descarte na pia.

7. Registro de dados

Para se obter a potência em watts obtida pela placa, é necessário usar a fórmula abaixo.

$$W = A \times V$$

Placa	CC (V)	Amperagem(A)	Potência(W)
1			
2			
3			

a. Rascunho do Procedimento (utilizem o verso se necessário)

8. REFERÊNCIA

COUTINHO, N. de F. (2014). Células Solares Sensibilizadas por Corantes. UNICAMP

IEA. (2019). Renewables 2019. <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>

SONAI, G. G., Jr, M. A. M., Nunes, J. H. B., Jr, J. D. M., & Nogueira, A. F. (2015). Células solares sensibilizadas por corantes naturais: Um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. Química Nova. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150148>.