

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CÂMPUS GUARULHOS

MURILO FABRICIO SILVA, VICTOR HUGO DIAS LOPES

TRAÇADOR DE CURVA I-V PARA PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS DE BAIXA POTÊNCIA

GUARULHOS

2019

MURILO FABRICIO SILVA, VICTOR HUGO DIAS LOPES

Traçador de curva I-V para painéis fotovoltaicos de baixa potência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Prof.Dr. Marcelo Kenji Shibusawa

Coorientador: Profa.Dra. Vanessa Seriácopi

GUARULHOS

2019

Folha destinada à inclusão da Catalogação na Fonte - Ficha Catalográfica (a ser solicitada à Biblioteca IFSP – Câmpus Guarulhos e posteriormente impressa no verso da Folha de Rosto (folha anterior).

Catalogação na Fonte preparada pela Biblioteca Comunitária “Wolgran Junqueira Ferreira” do IFSP – Câmpus São João da Boa Vista

Murilo Fabricio Silva, Victor Hugo Dias Lopes

Traçador de curva I-V para painéis fotovoltaicos de baixa potência/ Murilo Fabricio Silva, Victor Hugo Dias Lopes. – Guarulhos, 2019-
55 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador Prof. Dr. Prof.Dr. Marcelo Kenji Shibuya

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Câmpus Guarulhos , 2019.

1. Palavra-chave 1. 2. Palavra-chave 2. 3. Palavra-chave 3. I. Orientador. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. III. Título

MURILO FABRICIO SILVA, VICTOR HUGO DIAS LOPES

TRAÇADOR DE CURVA I-V PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DE BAIXA POTÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia de São Paulo, como parte
dos requisitos para a obtenção do grau de
Tecnólogo em Automação Industrial.

Aprovado em DIA(número) de MÊS(por extenso) de ANO(Número).

Prof.Dr. Marcelo Kenji Shibuya

Orientador

Titulação

Instituição

Professor Convidado 1

Titulação

Instituição

Professor Convidado 2

Titulação

Instituição

Guarulhos

2019

Dedicatória (Opcional). Não digite a palavra Dedicatória. Texto no qual o autor do trabalho oferece homenagem ou dedica o seu trabalho a alguém (não usar ponto final)

AGRADECIMENTOS

Somos gratos primeiramente a Deus, em seguida pelo apoio familiar. Agradecemos aos ensinamentos dos mestres professores que guiaram e guiam nossa trajetória, em especial ao professor doutor Marcelo Kenji Shibuya pelo aprendizado que nos agregou e pela confiança depositada.

“Any fool can write code that a computer can understand. Good programmers write code that humans can understand”.

Martin Fowler

SOBRENOME, Prenome. **Título do trabalho de TCC colocado em negrito:** sub-título (se houver). Ano da defesa. Tipo de documento (Grau e vinculação acadêmica) – Instituição, Local. Ano da entrega.

Exemplo: RODRIGUES, Rosana Ferrareto Lourenço. **Verbos de movimento em inglês:** uma proposta de descrição e ensino por meio do modelo de integração conceptual. 2012. Tese (Doutorado em Linguística e Língua Portuguesa) – Faculdade de Ciências e Letras, Câmpus Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 2012.

RESUMO

Elemento obrigatório, constituído de uma sequência de frases concisas e objetivas, fornecendo uma visão rápida e clara do conteúdo do estudo. O texto deverá conter entre 150 a 250 palavras e ser antecedido pela referência do estudo. Também, não deve conter citações e deverá ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões. O resumo deve ser redigido em parágrafo único, seguido das palavras representativas do conteúdo do estudo, isto é, palavras-chave, em número de três a cinco, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. Usar o verbo na terceira pessoa do singular, com linguagem impersonal (pronome SE), bem como fazer uso, preferencialmente, da voz ativa.

Palavras-chave: Palavra-chave 1. Palavra-chave 2. Palavra-chave 3. Palavra-chave n.

SOBRENOME, Prenome. **Título do trabalho de TCC colocado em negrito:** sub-título (se houver). Ano da defesa. Tipo de documento (Grau e vinculação acadêmica) – Instituição, Local. Ano da entrega.

ABSTRACT

Elemento obrigatório. É a versão do resumo em português para o idioma de divulgação internacional. Deve ser antecedido pela referência do estudo.

Keywords: Keyword 1. Keyword 2. Keyword 3. Keyword n.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Variação na temperatura geral da superfície da Terra durante os anos de 1986-2005 para 2081-2100. Fonte: IPCC(2003).	20
Figura 2 – Simulação do uso de energias renováveis na Alemanha, utilizando-se diferentes ponderações na divisão entre fontes de geração solar e eólica. Fonte: Weitemeyer et al. (2015)	21
Figura 3 – Distribuição da matriz energética brasileira. Fonte: Wanderley (2013).	21
Figura 4 – Curva IxV Característica de um painel fotovoltaico. Fonte: (GAO et al., 2018).	22
Figura 5 – Variação na temperatura de células fotovoltaicas em um arranjo em curto-círcuito. Fonte: Bressan et al. (2016)	24
Figura 6 – Curva característica de um sistema composto por 3 módulos de 245 W: (a) módulos sobre uma mesma irradiação com funcionamento pleno; (b) ao sombrear mais de 50% de sua área, há uma grande diferença em sua curva característica. Fonte: Oliveira, Rampinelli e Krenzinger (2016)	25
Figura 7 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre influência de neve, a qual foi removida no dia 01/01. Fonte: Schill, Brachmann e Koehl (2015).	25
Figura 8 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre diferentes temperaturas. Fonte: Martin, Vladislav e Pavel (2017).	26
Figura 9 – Uso de MOSFET como carga eletrônica para uso em painéis fotovoltaicos. Fonte: Willoughby e Osinowo (2018).	26
Figura 10 – Exemplos de Arduinos Uno. Fonte: arduino.cc	27
Figura 11 – Exemplo simplificado de um sistema de interruptor como chaveando a tensão sobre a carga, simulando assim o sinal PWM .Fonte:<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a> .	28
Figura 12 – Chaveamento do sinal PWM e sua tensão média. Fonte:<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>	29
Figura 13 – Diferentes tempos de tensão alta para diferentes valores médios de tensão. Fonte: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>	29
Figura 14 – Exemplo de gerador de sinal PWM. Fonte: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>	30
Figura 15 – Diagrama de blocos. Fonte: Datasheet do fabricante(Texas Instruments).	31
Figura 16 – Exemplo de comunicação utilizando o protocolo I2C. Fonte: (SEMI-CONDUCTORS, 2000).	32

Figura 17 – Modelos de Cartão SD. Fonte: SD Association.	32
Figura 18 – Exemplo comunicação SPI. Fonte: Leens (2009)	33
Figura 19 – Representação de um transistor de efeito de campo(FET). Fonte: Braga (2016).	34
Figura 20 – Exemplo simplificado de um <i>MOSFET</i> . Fonte: Braga (2016).	34
Figura 21 – Acionamento de um <i>MOSFET</i> e seus 3 estados:(a)chave aberta, ,(b)amplificador de corrente e (c)chave fechada. Fonte: Braga (2016) adaptado.	35
Figura 22 – Amplificador operacional no circuito de carga eletrônica. Fonte: Braga (2008) adaptado.	35
Figura 23 – Circuito eletrônico completo. Fonte: Elaborado pelo Autor.	37
Figura 24 – Circuito eletrônico, foco no componentes mais próximos ao Arduino. Fonte: Elaborado pelo Autor.	38
Figura 25 – Circuito eletrônico, foco nas conexões com o módulo. Fonte: Elaborado pelo Autor.	38
Figura 26 – Circuito eletrônico, foco na carga eletrônica. Fonte: Elaborado pelo Autor.	39
Figura 27 – Circuito eletrônico, foco no conjunto de LEDs. Fonte: Elaborado pelo Autor.	40
Figura 28 – 30 diferentes valores de tensão e comparação entre o sensor e um multímetro comercial. Fonte: Elaborado pelo Autor.	41
Figura 29 – Curva IV deformada devido ao uso de um resistor de 5 Ohms. Fonte: Elaborado pelo Autor.	43
Figura 30 – Curva IV deformada devido. Fonte: Elaborado pelo Autor.	44
Figura 31 – Curva IV com poucos pontos. Fonte: Elaborado pelo Autor.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela do hardware do microcontrolador do Arduino Uno(Atmega328p)	28
Tabela 2 – Combinação dos LEDs de sinalização	42

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1D	Uma dimensão
2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
RS	Resistor Shunt
LED	<i>Light-Emitting Diode</i> , Diodo Emissor de Luz

LISTA DE SÍMBOLOS

α Letra grega minúscula Alfa

β Letra grega minúscula Beta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Justificativa	18
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3	Metodologia	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	Componentes	27
2.1.1	Arduino	27
2.1.1.1	PWM	28
2.1.1.2	ADC	30
2.1.2	ADS1115	30
2.1.2.1	I2C	31
2.1.3	Cartão SD	32
2.1.3.1	SPI	32
2.1.4	Carga Eletrônica	33
2.1.4.1	MOSFET	33
2.1.4.2	Amplificador Operacional	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.0.1	Arduino	36
3.0.2	I2C e SPI	36
3.0.3	Carga Eletronica	37
3.0.4	Circuito Completo	37
3.0.4.1	Conexões com o Arduino	37
3.0.4.2	Conexões Módulos	38
3.0.4.3	Carga Eletrônica	39
3.0.4.4	Conjunto de LEDs	39
3.0.5	Métodos	40
3.0.5.1	Controle de Variáveis	40
3.0.5.2	Comportamento do Protótipo	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5	CONCLUSÕES/CONCLUSÕES PARCIAIS	46

6	CRONOGRAMA	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICES	50
	APÊNDICE A – TÍTULO DO APÊNDICE A	51
	APÊNDICE B – TÍTULO DO APÊNDICE B	52
	ANEXOS	53
	ANEXO A – TÍTULO DO ANEXO A	54
	ANEXO B – TÍTULO DO ANEXO B	55

1 INTRODUÇÃO

A energia tem se tornado cada vez mais importante no mundo atual, assim como a busca de meios de energias renováveis e sustentáveis. Entre as principais formas de geração de energia no Brasil são citáveis as energias eólica e solar, que com o avanço da tecnologia têm se tornado cada vez mais acessível. No Brasil, há grande potencial de geração de energia solar, devido a sua posição geográfica, possuindo diversas áreas tropicais, favorecendo assim a geração fotovoltaica. Entre as formas de energia solar, o uso da energia fotovoltaica tem se tornado mais popular. Entretanto, para garantir que um sistema que utilize energia fotovoltaica seja viável é necessário o uso de alguns processos que permitam uma geração eficiente, como o uso MPPT, *Maximum Power Point Tracker*, ou Rastreador de Máxima Potência, de forma a garantir que o sistema dê a maior potência possível em um determinado período.

Tendo este aspecto em mente, este trabalho tem como premissa o desenvolver um protótipo de um traçador de curva I-V portátil para painéis fotovoltaicos, podendo assim detectar anomalias em painéis durante a geração, como sombreamentos, curto circuitos e outros defeitos sobre o modulo ou painel em análise.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, cerca de 81,9% da capacidade de geração de energia e 87,8% da produção total foram por meio de energias renováveis, sendo a matriz hidráulica ainda dominante com 63,7%, e tendo 8,1% as usinas eólicas e 1% as solares, em junho de 2018 de acordo com o Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico, divulgado pelo Ministério de Minas e energias.

Nota-se que a energia solar ainda está se popularizando no Brasil, entretanto segundo a Organização das Nações Unidas(ONU), os investimentos focados em energia solar já ultrapassam a casa dos US\$ 160 bilhões, se tornando cada vez mais importantes em um contexto de geração de energia sustentável. Dito isso, há a necessidade de engajar o uso e conhecimento deste meio de geração de energia, desta maneira, permitindo ao país a diversificação de suas fontes de geração elétrica, de maneira a permitir maior flexibilidade e uma menor dependência a apenas um meio. Realidade a qual pode gerar diversas consequências em caso de problemas ou falta na geração a partir desse meio, como aumento das taxas pagas sobre o consumo de energia, desencadeando diversos problemas econômicos, sociais, e estruturais sobre um país. Entretanto, ao estimular o uso da energia solar é possível descentralizar as fontes de geração de energia por meio de geração limpa,

sustentável, e viável, gerando diversas oportunidades de trabalho e estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento de painéis fotovoltaicos por meio do uso de sua curva I-V.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um sistema traçador de curva I-V de baixo custo;
- Comparar curvas I-V durante diferentes níveis de irradiação solar em diferentes painéis fotovoltaicos;
- Valorizar o uso de sistemas fotovoltaicos para estudo e uso em faculdades e empresas ao redor do Brasil;
- Categorizar usos diversos de sistemas traçadores de curva I-V para diferentes aplicações para estudo ou comercialmente.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada durante a realização do trabalho tem como base o tipo de pesquisa tecnológica exploratória, de maneira a descrever e desenvolver a curva I-V de um painel fotovoltaico e seu uso em estudos ou uso comercial. Deste modo foram realizados os seguintes passos: 1.Análise bibliográfica; 2.Desenvolvimento de um sistema protótipo; 3.Teste do circuito; 4.Análise dos dados coletados; 5.Teste para diferentes quantidades de conjuntos de valores. 6.Comparação e análise dos dados coletados, gráficos gerados e curva teórica.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Graças ao avanço da tecnologia, o uso da energia elétrica se tornou extremamente vital, causando o aumento do uso de meios de geração por combustíveis fósseis, o qual gerou grande emissão de gás carbônico. De acordo com Caldeira, Jain e Hoffert (2003), considerando um cenário para estabilização do clima e onde a sensibilidade climática se encontra no máximo apontado pelo IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, e assumindo o IPCC IS92, ao final do século XXI a maior parte da geração de energia deverá ser estritamente de fontes não emissoras de CO_2 .

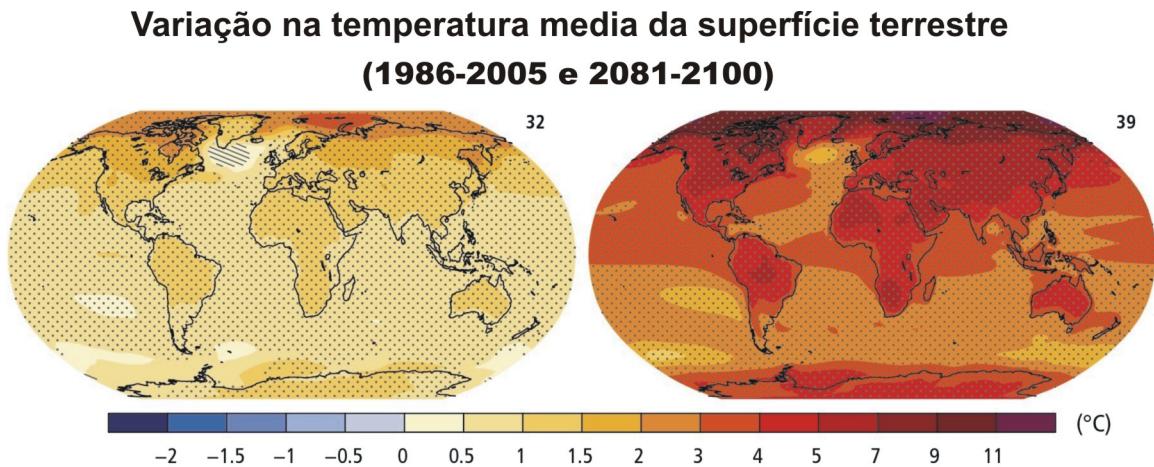


Figura 1 – Variação na temperatura geral da superfície da Terra durante os anos de 1986-2005 para 2081-2100. Fonte: IPCC(2003).

Como apontado por Weitemeyer et al. (2015), o uso de energias renováveis na Europa tem aumentado, considerando as preocupações em relação as alterações climáticas. Como citado pelo autor, devido à facilidade imposta pelo ambiente, considerando um objetivo onde o uso da geração será prioritariamente por fontes renováveis, tem-se o uso da energia solar e eólica como pontos chaves para se alcançar esse objetivo. Como simulado e mostrado na figura 2, o uso de energias renováveis se mostra promissor na simulação considerando a Alemanha como objeto de estudo, tendo apenas a geração estrita por meio de energia solar, distante do cenário de integração perfeita, onde $\alpha=0$ representa uma geração estritamente solar, e $\alpha=1$ representa uma geração estritamente eólica.

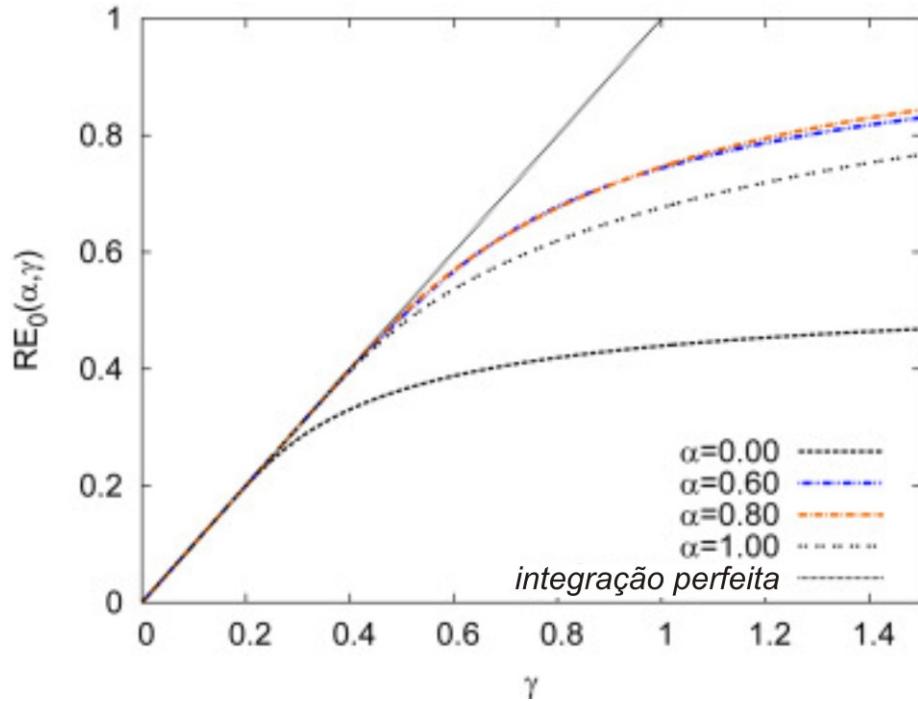


Figura 2 – Simulação do uso de energias renováveis na Alemanha, utilizando-se diferentes ponderações na divisão entre fontes de geração solar e eólica. Fonte: Weitemeyer et al. (2015)

Tendo em vista o problema causado por energias provenientes de fontes fósseis, o Brasil se concentrou na geração de energia elétrica de fontes renováveis principalmente hidráulicas, atingindo um índice de mais de 74% de sua produção de acordo com Wanderley (2013) e conforme visto na figura 3.

Devido a oscilações anuais dos índices de chuva, o racionamento de energia causado pelas épocas de estiagem, excitou a busca por novas fontes energéticas alternativas; tendo em vista que o Brasil é um país de clima predominantemente tropical, houve um crescente desenvolvimento de pesquisas para a produção de energia solar fotovoltaica.

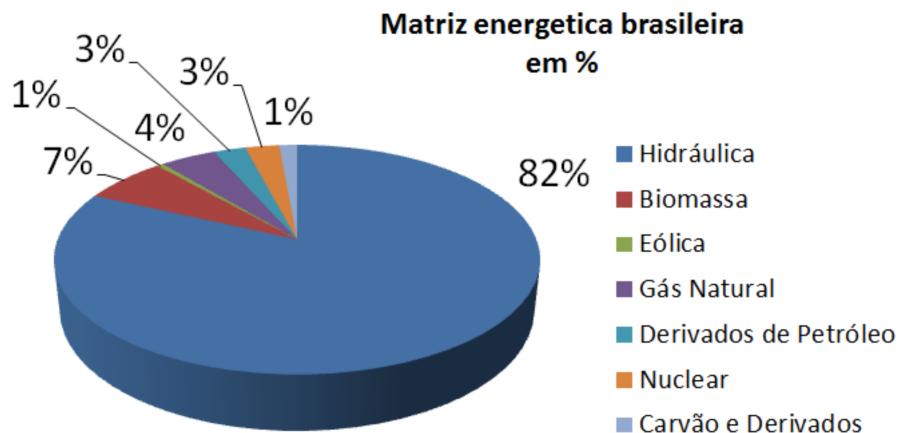


Figura 3 – Distribuição da matriz energética brasileira. Fonte: Wanderley (2013).

O grande impasse para produção de usinas solares é o alto valor de produção tendo em vista o rendimento dos painéis fotovoltaicos comparado com as fontes de energias tradicionais. De acordo com Ribeiro et al. (2017), para construir uma usina solar fotovoltaica com capacidade de produção de aproximadamente $4.000 MWh$ ao ano, seria necessário um investimento de aproximadamente $R\$22.000.000,00$ ou seja, $7,30 R\$/Wp$; no artigo citado, foram taxados preços dos painéis, inversores, imposto de importação e taxas de produção. A solução para viabilizar a produção deste tipo de energia, seria o aumento de sua eficiência energética. Para alcançar este objetivo, foram efetuados diversos estudos, pesquisas e implementações de circuitos eletrônicos e projetos mecânicos.

Há trabalhos de pesquisa que visam obter o melhor aproveitamento da radiação solar criando sistemas mecânicos, Willoughby e Osinowo (2018), enquanto alguns fazem comparações entre painéis com células obstruídas através de sombreamento, Bressan et al. (2016), outros fazem a aplicação de diferentes aparelhos para se obter energia perdida devido à difusão dos raios solares, Lee et al. (2016), há trabalhos que propõem mensurar a perda de energia devido a poluição do ar em determinadas regiões, Li et al. (2017). Foram apresentados projetos que objetivam a melhora da potência entregue pelos painéis através no melhoramento da curva I_xV (Corrente por tensão) - figura 4, foram apresentados projetos mostrando modos de melhoria desta curva, entre eles o algoritmo MPPT (Maximum Power Point Traking), Willoughby e Osinowo (2018).

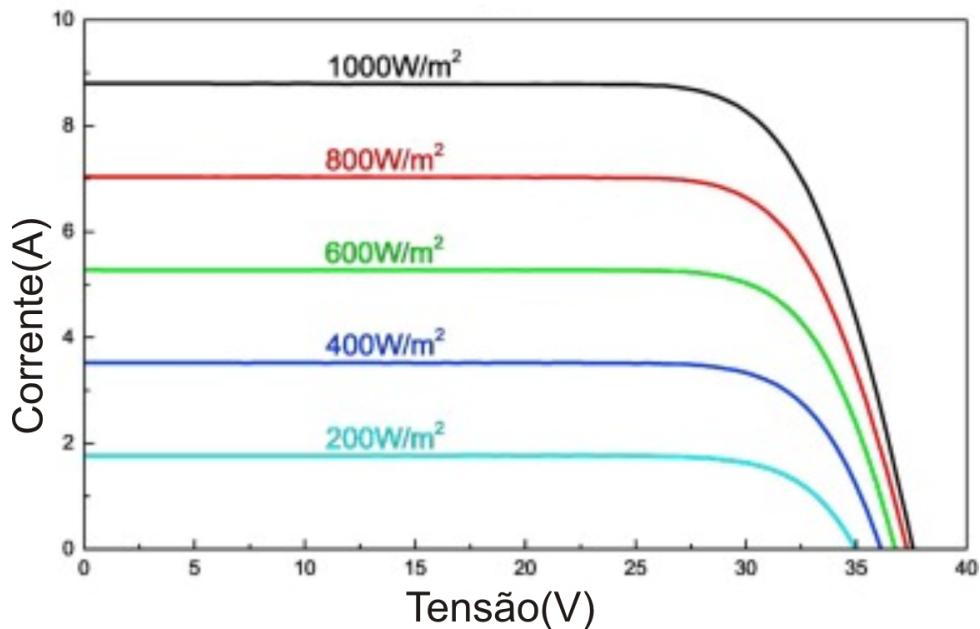


Figura 4 – Curva I_xV Característica de um painel fotovoltaico. Fonte: (GAO et al., 2018).

Para se obter um maior rendimento dos painéis fotovoltaicos, Willoughby e Osinowo (2018) apresentaram um projeto de um seguidor solar tendo por base um microcontrolador e motores de passo. A ideia proposta é a de que, durante o transcorrer do dia, o painel

solar modificaria sua inclinação de modo a estar sempre perpendicular a incidência dos raios solares, tendo assim uma potência de geração superior aos modelos convencionais com bases fixas.

Tomando uma abordagem diferente, porém com o mesmo intuito, Lee et al. (2016) publicaram *Concentrator photovoltaic module architectures with capabilities for capture and conversion of full global solar radiation*. No artigo citado, foi apresentada a ideia de um concentrador de raios solares fazendo uso das células fotovoltaicas do tipo 3J (esférica) e 4J (plana).

Foram propostas duas tecnologias de funcionamentos similares:

- O primeiro concentrador é uma placa translúcida composto por bolhas que é colocada na parte de cima do painel com um distanciamento de 10 centímetros, essas bolhas tem como função captar os raios solares difusos e concentrar sobre células fotovoltaicas do tipo 3J;
- O segundo concentrador tem o mesmo princípio de funcionamento, uma placa translúcida com bolhas de estrutura diferente da apresentada anteriormente é colocada na parte superior do painel com um distanciamento de aproximadamente 10 centímetros, mas ao invés de concentrar os raios solares em uma única célula 3J, a bolha capta a irradiância solar e distribui de maneira uniforme sobre uma célula do tipo 4J.

Os dois métodos exibem resultados de até 8% mais eficiência energética em comparação aos painéis fotovoltaicos convencionais, isso dado ao aumento da concentração e direcionamento dos raios solares difusos sobre as células fotovoltaicas.

Foi colocado por LI et al.(2017) um ponto negativo e preocupante a respeito da produção de energia fotovoltaica no território da China. Segundo o artigo publicado: *Reduction of solar photovoltaic resources due to air pollution in China*, A China tem por pretensão a produção de 400 GW de energia elétrica proveniente de painéis fotovoltaicos até 2023. Porém, o estudo realizado revela que atualmente a poluição aérea causada por aerossóis, diminui de forma significativa a produção de energia fotovoltaica, em destaque na região do centro, leste e nordeste no país, locais de maior concentração de indústrias, índice de poluição e necessidade de energia elétrica. Índices mostram uma perda de 35% da energia produzida e 1,5 kWh/m² da irradiância solar em todo território descrito, as nuvens causam grande influência sobre a irradiância solar que atinge o solo daquela região, porém com o agravante, as perdas aumentaram significativamente.

Assim como descrito anteriormente, painéis fotovoltaicos possuem diversas características favoráveis à geração de energia por meios sustentáveis e limpos. Entretanto, apontado por Bressan et al. (2016), arranjos fotovoltaicos estão extremamente sujeitos a meios externos que podem afetar sua geração, como sujeira, ou sombreamento, fatores

os quais causam um rápido aquecimento das células fotovoltaicas. Existem maneiras de amenizar esse efeitos, como o uso de diodos *bypass*, entretanto o uso dessas técnicas não anulam esse efeitos por completo. Como mostrado na figura 5, é possível observar a variação da temperatura, alterando consequentemente o funcionamento do painel fotovoltaico.

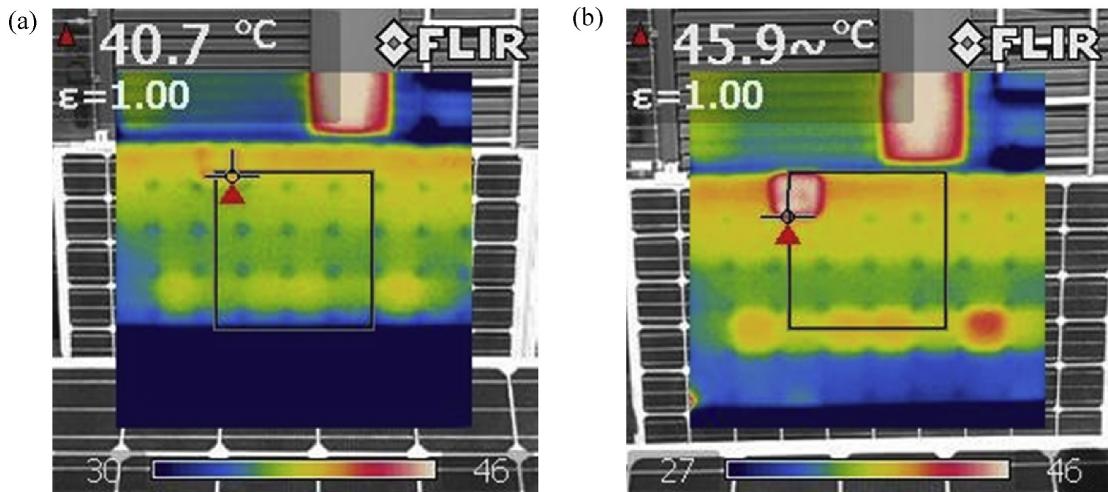


Figura 5 – Variação na temperatura de células fotovoltaicas em um arranjo em curto-círculo. Fonte: Bressan et al. (2016)

Tendo em vista a presença de fatores internos e externos na geração e funcionamento ideal de um painel fotovoltaico, se faz presente a necessidade de um padrão de avaliação e teste, assim garantindo seu funcionamento pleno, podendo também permitir a detecção de erros ou anomalias sobre o painel. Como descreve Oliveira, Rampinelli e Krenzinger (2016), o uso da curva característica de sistemas fotovoltaicos a qual relaciona os valores de correntes e de tensão sobre o painel ao se utilizar diferentes cargas, intitulada como curva I-V, permite a avaliação e análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos. Ao se obter a curva I-V de um sistema fotovoltaico é possível detectar problemas na geração como demonstrado na figura 6.

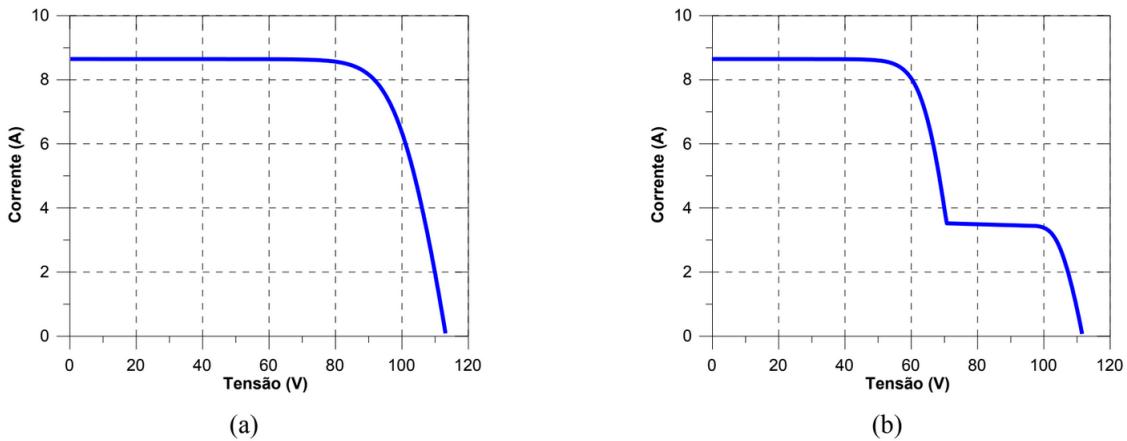


Figura 6 – Curva característica de um sistema composto por 3 módulos de 245 W: (a) módulos sobre uma mesma irradiância com funcionamento pleno; (b) ao sombrear mais de 50% de sua área, há uma grande diferença em sua curva característica. Fonte: Oliveira, Rampinelli e Krenzinger (2016)

Como apontado anteriormente , há grande importância e interesse no uso da curva I-V de sistemas fotovoltaicos, para gerenciamento, funcionamento, e verificação de erros, e assim como descreve Schill, Brachmann e Koehl (2015) no *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, faz-se o uso da curva I-V para verificação da performance dos arranjos fotovoltaicos durante teste em ambientes abertos para verificação da durabilidade de materiais para o uso em sistemas fotovoltaicos. De acordo com os autores, é verificada e monitorada a curva a cada 10 minutos. O uso da curva I-V permitiu a conclusão em teste onde os painéis foram sujos, durante o teste foi verificada uma diminuição de até 20% dos valores iniciais de eficiência, sendo possível observar a diferença entre as curvas de placas limpas e placas sobre grande influência de poeira como visto na Figura 7.

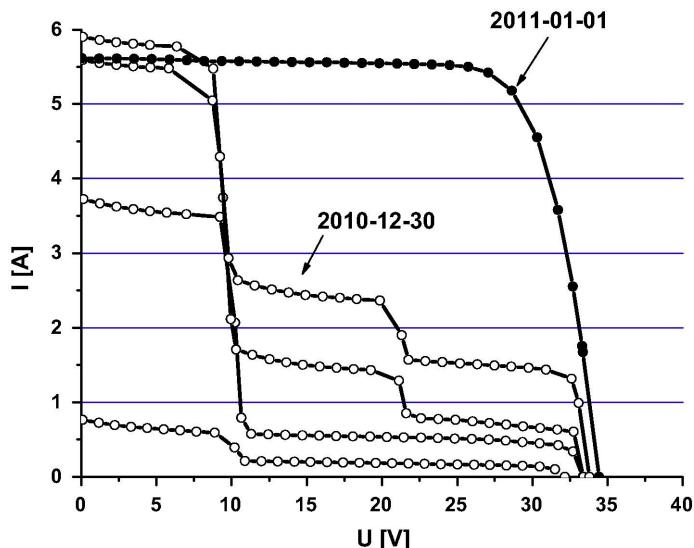


Figura 7 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre influência de neve, a qual foi removida no dia 01/01. Fonte: Schill, Brachmann e Koehl (2015).

Assim como analisado por Martin, Vladislav e Pavel (2017) , a temperatura do painel fotovoltaico também possui influência sobre a geração, e respectiva curva I-V do painel em análise. É possível observar esse efeito na figura 8.

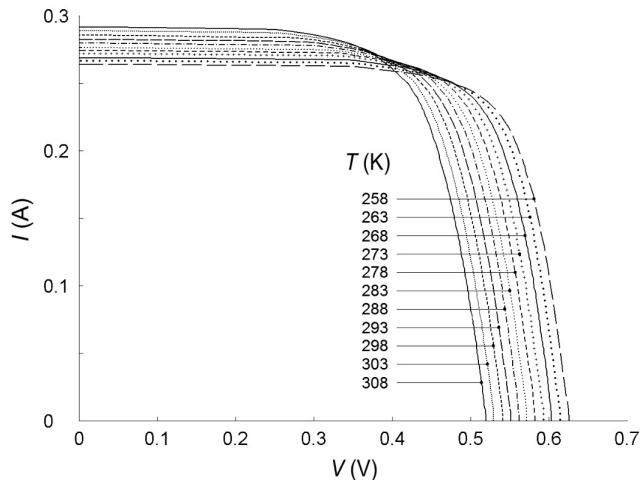


Figura 8 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre diferentes temperaturas.
Fonte: Martin, Vladislav e Pavel (2017).

Assim como apontado por Schill, Brachmann e Koehl (2015), o elemento central para a geração da curva I-V é a carga eletrônica, que tem como principal função simular diferentes cargas para o painel fotovoltaico, de maneira a permitir verificar seu comportamento, como foi descrito também por Aliaga et al. (2016), na criação de sistemas que possam garantir a máxima potência global de um arranjo fotovoltaico. Um sistema de carga eletrônica com MOSFET, como mostrado na figura 9 permite a rápida variação de carga sobre o painel fotovoltaico de maneira a possibilitar a construção da curva I-V característica do painel em determinado instante, desta maneira diminuir a diferença de geração devido a meios externos como nuvens ou variações climáticas, (WILLOUGHBY; OSINOWO, 2018).

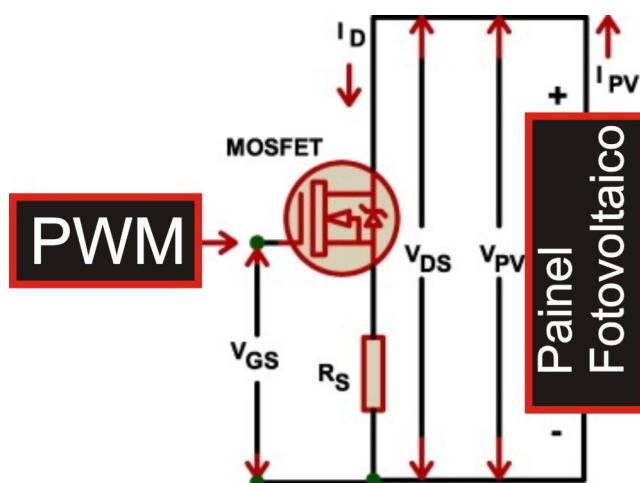


Figura 9 – Uso de MOSFET como carga eletrônica para uso em painéis fotovoltaicos.
Fonte: Willoughby e Osinowo (2018).

2.1 COMPONENTES

Para a aquisição de dados foram utilizados diversos conceitos e ferramentas eletrônicas de diversas esferas específicas, garantindo uma melhor adaptação para o objetivo específico de traçador IxV.

2.1.1 Arduino

Arduino, plataforma *open-source*, baseada em fácil prototipagem eletrônica e de programação, permite o fácil e rápido desenvolvimento de protótipos. Devido a fácil disponibilidade no mercado e alto custo x benefício, pode-se fazer o uso do Arduino Uno como componente principal para o controle e aquisição de dados para a curva IxV.



Figura 10 – Exemplos de Arduinos Uno. Fonte: arduino.cc .

Na Tabela 2 São Listadas as principais características encontradas no hardware do Arduino Uno.

Tabela 1 – Tabela do hardware do microcontrolador do Arduino Uno(Atmega328p)

Microcontrolador	ATmega328P
Tensão operacional	5 V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12 V
Pinos Digital I / O	6-20 V
PWM Digital I / O Pins	6
Pinos de entrada analógica	6
Corrente DC por pino de E / S	20 mA
Corrente DC para Pin 3.3V	50 mA
Memória flash	32 KB (ATmega328P)
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidade do relógio(Clock)	16 MHz
LED BUILTIN	13
comprimento	68.6 mm
Largura	53.4 mm
Peso	25 g

Fonte: Adaptado de Arduino.cc.

Conforme mostrado na tabela 1, o Arduino Uno possui 6 entradas analógicas, e 6 saídas PWM.

2.1.1.1 PWM

O PWM, *Pulse Width Modulation*, ou Modulação por Largura de Pulso, é uma técnica utilizada em circuitos eletrônicos para o controle de potências de cargas, fontes chaveadas, cargas eletrônicas, entre outras aplicações. Seu princípio de funcionamento baseia-se no controle do tempo em que se mantém uma onda quadrada em um nível lógico alto mantendo a mesma frequência. Fazendo uma analogia, o PWM tem seu funcionamento semelhante ao de uma chave, no qual oscila seu estado em uma frequência pré estabelecida, desta maneira, tem-se o controle do tempo em que o circuito fica com seu valor máximo de tensão e o momento em que a tensão é zero, como exemplificado na Figura 11.

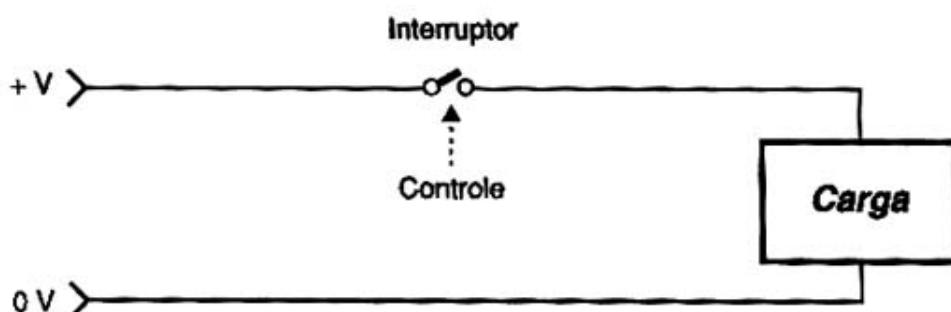


Figura 11 – Exemplo simplificado de um sistema de interruptor como chaveando a tensão sobre a carga, simulando assim o sinal PWM .Fonte:<<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>

Quando a chave está aberta, tensão em cima da carga é nula, ao se fechar o interruptor, tem-se o valor máximo da tensão sobre a carga. Se alternar rapidamente o estado da chave em 50 por cento do tempo aberta e 50 por cento fechado , o circuito terá a metade do tempo com corrente e metade do tempo sem corrente, tendo assim uma potência média de 50 por cento, assim como visto na Figura 12.

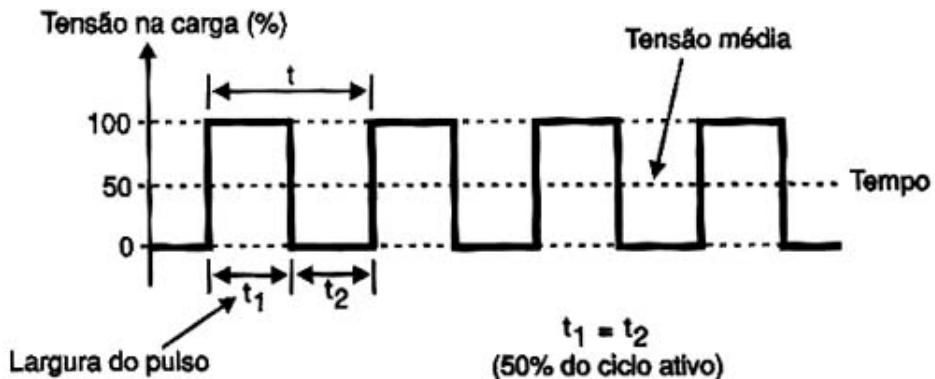


Figura 12 – Chaveamento do sinal PWM e sua tensão média. Fonte:<<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>

De acordo com a Figura 13, com o intuito de variar a potência do circuito, basta controlar o tempo em que o interruptor fica em seu nível lógico alto, ou também chamado de Ciclo Ativo.

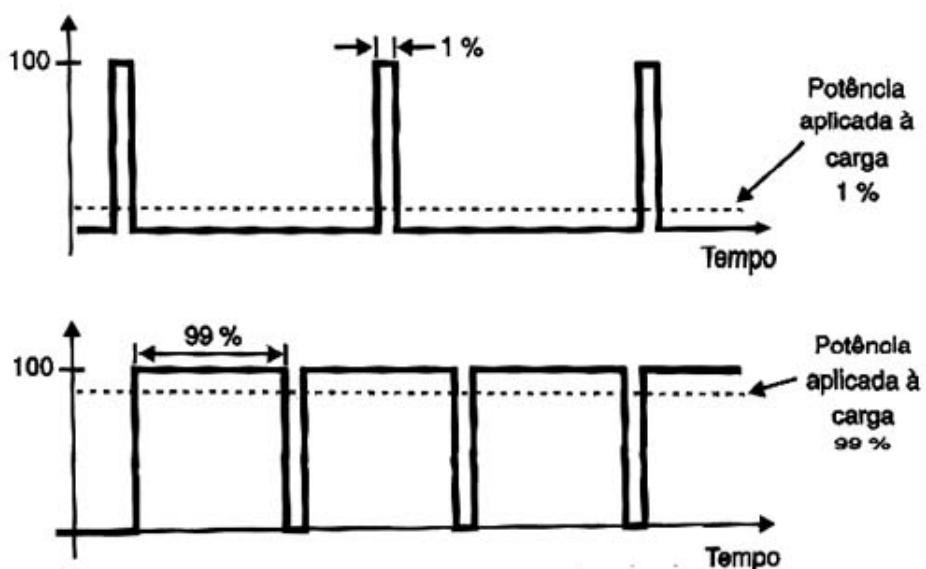


Figura 13 – Diferentes tempos de tensão alta para diferentes valores médios de tensão. Fonte: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>

Na prática, substitui-se o interruptor por um dispositivo de estado sólido que possa ser aberto ou fechado rapidamente, um transistor bipolar ou um FET de potência, por exemplo. A este dispositivo, integra-se um circuito oscilador que possa ter seus ciclos ativos

controlado numa grande faixa de valor. Na figura 14 tem-se um exemplo de um circuito que faz o controle do PWM.

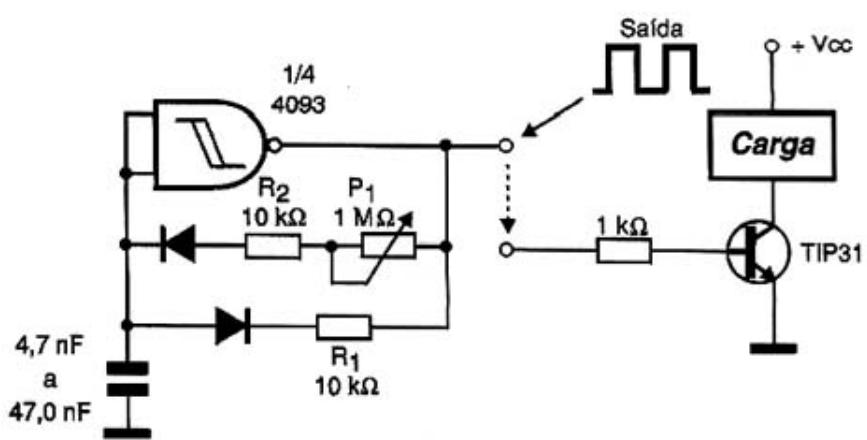


Figura 14 – Exemplo de gerador de sinal PWM. Fonte: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>

2.1.1.2 ADC

ADC, ou *Analog-to-Digital Converter*, é uma tecnologia que tem como objetivo converter sinais analógicos em sinais digitais. Sinais digitais têm como característica a continuidade em nível de sinal, podendo alternar entre dois estados: 0 para nível baixo e 1 para nível alto, caracterizando assim o funcionamento ON/OFF de sistemas digitais. Sinais analógicos comportam-se de maneira mutável, variando assim o seu valor em função do tempo, podendo assumir quaisquer valores entre dois extremos predeterminados. Estas características permitem a integração entre componentes digitais como computadores e meios físicos (CAPUANO, 2018).

2.1.2 ADS1115

O módulo ADS1115 da Adafruit é um módulo ADC com resolução de 16-Bits e utiliza a comunicação I2C. Diferentemente dos conversores Analógico Digital integrados na placa Arduino, o módulo ADS1115 possui ótima repetibilidade e grande precisão durante a aquisição dos valores.

Há ainda a possibilidade do uso de amplificadores internos através de PGA de forma a aumentar ainda mais a precisão das medidas, como visto na figura 15.

Ao se utilizar sua resolução de 16-Bits, e ganho unitário é possível obter-se uma precisão de $0,125 \text{ mV}$, o qual ultrapassa o fundo de escala de $4,9 \text{ mV}$ do ADC proveniente do Arduino.

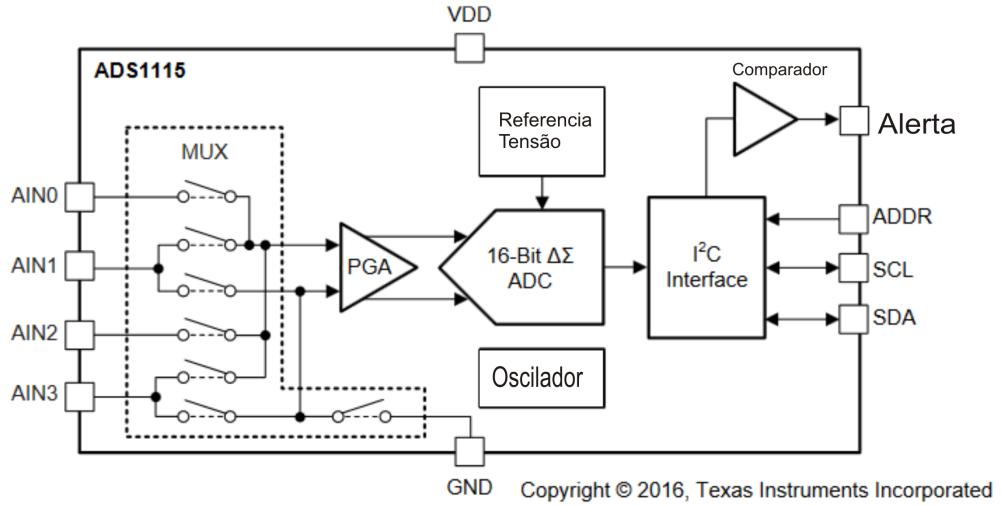


Figura 15 – Diagrama de blocos. Fonte: Datasheet do fabricante(Texas Instruments).

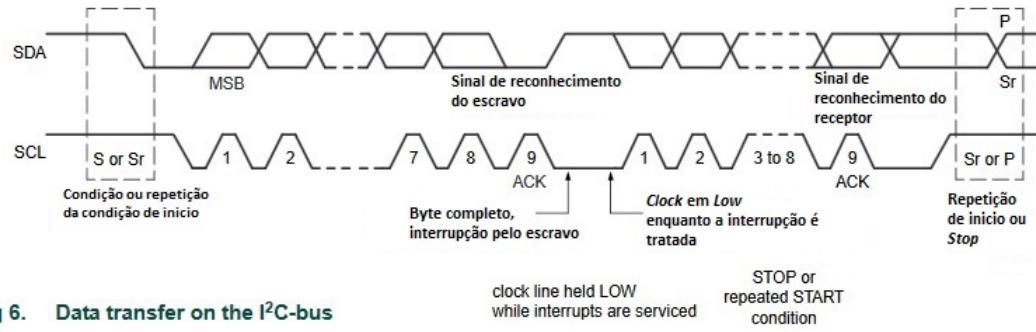
O módulo ADS1115 utiliza o barramento de comunicação I²C, o qual possui grande compatibilidade com grande parte dos microcontroladores do mercado.

2.1.2.1 I²C

O barramento I²C ou IIC, *Inter-Integrated Circuit*, é um protocolo de comunicação mundialmente utilizado e implementado em mais de 1000 Circuitos Integrados diferentes. É utilizado em diferentes sistemas, desde controle inteligente, circuitos genéricos de LCD, LED, EEPROM até circuitos mais complexos como processadores de sinal de radio e vídeo. A comunicação por I²C permite uma taxa de transferência de 100kbit/s a até 3,4Mbits/s no modo *High-speed mode*, modo de alta velocidade, tendo um máximo de 127 sensores (SEMICONDUCTORS, 2000).

O I²C é um protocolo que utiliza o modelo origem/destino, mestre/escravo, o qual permite a comunicação entre múltiplos "escravos" para um ou mais "mestres". Assim como protocolos assíncronos, é utilizado apenas 2 fios para a comunicação, sendo eles SDA(*Serial Data Line*, Linha de Dados Seriais), e SCL(*Serial Clock Line*, Linha de Clock Serial), entretanto diferentemente dos protocolos assíncronos, o I²C permite a comunicação síncrona, permitindo a comunicação entre dispositivos que não necessitem ser pré-configurados para se comunicarem.

Como descreve Semiconductors (2000), o protocolo se utiliza de 8 bits de dados seguido de um bit extra de reconhecimento("ACK/NACK"). Para se iniciar a comunicação é enviado um *Start Bit*, o qual indica o inicio da troca de dados, após o envio da mensagem de 8 bits, é enviado o bit ACK e se repete o processo, até a presença de um *Stop Bit*, o qual termina a troca de informações assim como demonstrado na figura 16.

Fig 6. Data transfer on the I²C-bus

clock line held LOW while interrupts are serviced

STOP or repeated START condition

Figura 16 – Exemplo de comunicação utilizando o protocolo I2C. Fonte: (SEMICONDUCTORS, 2000).

2.1.3 Cartão SD

Em sistemas onde há a aquisição de dados, se faz útil o uso de memórias externas e portáteis, permitindo assim grande parte da memória do microcontrolador livre para outras tarefas. Um exemplo de memória externa e muito comum são os cartões *MicroSD*, em diversos modelos de como demonstrado pela figura 17, muito usados em celulares e câmeras digitais. Há possibilidade de comunicação a partir do protocolo SPI, o qual permite uma rápida comunicação em baixas distâncias.

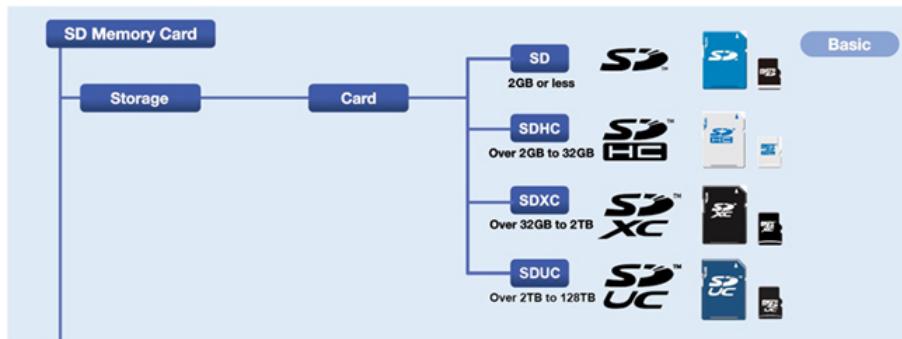


Figura 17 – Modelos de Cartão SD. Fonte: SD Association.

2.1.3.1 SPI

O protocolo SPI permite a comunicação entre diferentes dispositivos, diferentemente do protocolo I2C, é necessário 4 fios para a comunicação. Além disso, o protocolo SPI possui o modo de operação *Full-duplex*, o qual permite a transmissão de dados entre mestre para escravo, e vice-versa, simultaneamente. Há também a diferença na quantidade de mestres, no protocolo SPI pode haver apenas um mestre.

As conexões para SPI possuem a seguinte característica:

- SCLK: Envia o clock a partir do mestre para o escravo.

- SS_n : Utilizado para selecionar o escravo que irá se comunicar com o mestre, é necessário um SS para cada escravo utilizado no barramento
- MOSI: Envia o dado do mestre para o escravo.
- MISO: Envia o dado do escravo para o mestre.

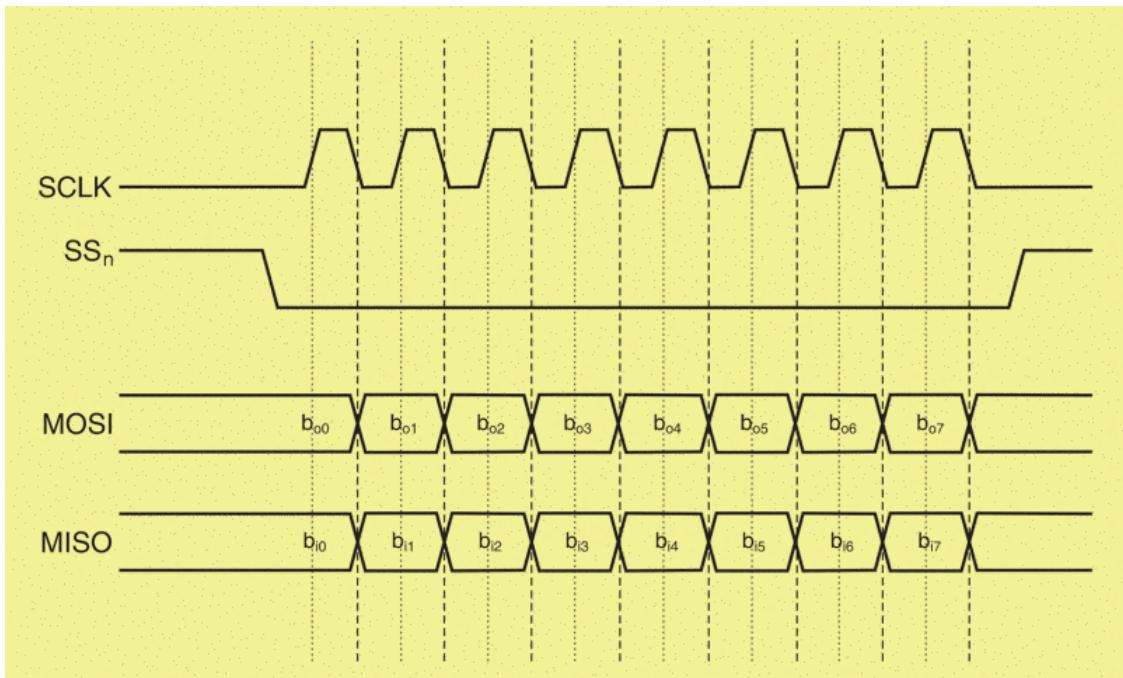


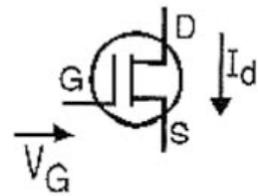
Figura 18 – Exemplo comunicação SPI. Fonte: Leens (2009)

2.1.4 Carga Eletrônica

O uso da carga eletrônica tem grande importância para o funcionamento do traçador. Ao se utilizar uma carga eletrônica, é possível simular diversas cargas e subsequentemente simular diferentes valores corrente(I) e tensão(V).

2.1.4.1 MOSFET

O MOSFET, *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*, é um variante dos conhecidos como transistores de efeito de campo, visto na figura 19, entretanto em uma versão para altas potências, (BRAGA, 2016).



Transistor de
efeito de campo

Figura 19 – Representação de um transistor de efeito de campo(FET). Fonte: Braga (2016).

Entre suas principais características, se faz presente o isolamento galvânico entre seu pino de *gate*, em relação aos seus pinos de Dreno e Fonte, como demonstrado na figura 20, tornando esse componente uma ótima opção para acionamento de cargas altas utilizando microcontroladores.

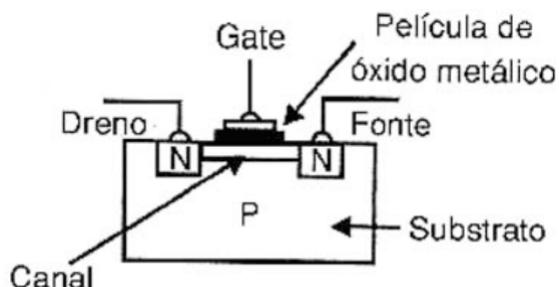
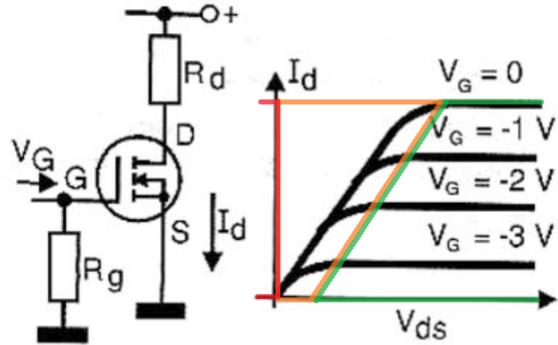


Figura 20 – Exemplo simplificado de um *MOSFET*. Fonte: Braga (2016).

Como mostra Braga (2016), para polarizar um *MOSFET* e permitir que haja a passagem de corrente entre os pinos de Dreno e Fonte, há a necessidade da presença de uma tensão no *Gate*, podendo assim apresentar 3 estados como demonstrado na figura 21: (a)chave aberta, ,(b)amplificador de corrente e (c)chave fechada.



(a) (b) (c)

Figura 21 – Acionamento de um *MOSFET* e seus 3 estados:(a)chave aberta, ,(b)amplificador de corrente e (c)chave fechada. Fonte: Braga (2016) adaptado.

2.1.4.2 Amplificador Operacional

De acordo com Capuano (2018), as principais características de um amplificador operacional são: 1.Tensão de saída 0 V, quando a diferença de potencial em sua entrada for de 0 V; 2.Altas impedâncias de entrada e saída.

Como mostrado na figura 22, o amplificador operacional tem seu pino não inversor conectado a um resistor R_7 . Sendo este o responsável pela limitação da corrente da carga, (BRAGA, 2008).

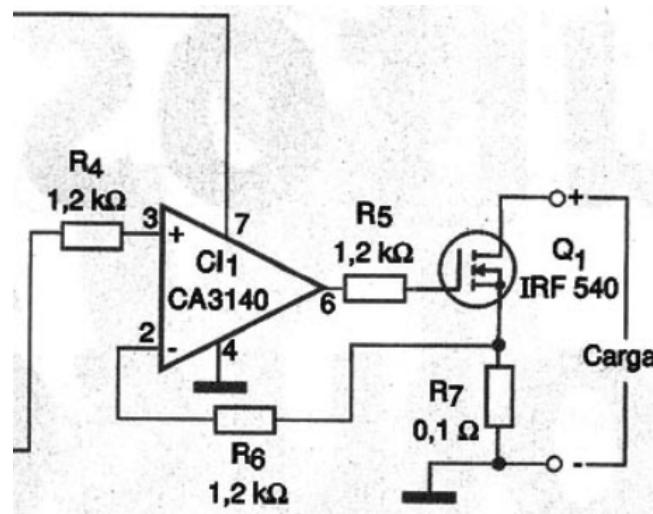


Figura 22 – Amplificador operacional no circuito de carga eletrônica. Fonte: Braga (2008) adaptado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a prototipagem do traçador I-V houve a necessidade de se seguir as seguintes etapas:

- Integração entre os componentes do protótipo sendo eles:
 - Arduino;
 - Carga eletrônica;
 - Painel solar;
 - Sensor ADS1115;
 - Cartão SD.
- Teste de precisão na coleta de dados;
- Padronização e fixação do ambiente de testes;
- Teste do protótipo;
- Armazenamento da amostragem coletada;
- Análise e tratamento da amostra;
- Verificação e resolução de erros e/ou problemas.

3.0.1 Arduino

A plataforma Arduino foi utilizada de maneira centralizar o controle de todos os periféricos necessários para a prototipagem. Foi utilizado as saídas PWM, Barramento I2C e SPI.

IMAGEM que será adicionada

3.0.2 I2C e SPI

As comunicações I2C e SPI permitiram o uso de ferramentas não disponíveis no hardware original do Arduino, como a utilização de um ADC de 16bits ou do cartão SD para armazenamento dos dados.

Imagen SDCARDMOD

3.0.3 Carga Eletrônica

A carga eletrônica permitiu a variação dos valores de corrente e tensão do painel, fator indispensável para a ação do traçador.

Imagen Carga eletrônica

3.0.4 Circuito Completo

Se observa na figura 23 como se assemelha o circuito eletrônico completo do traçador de curvas I-V.

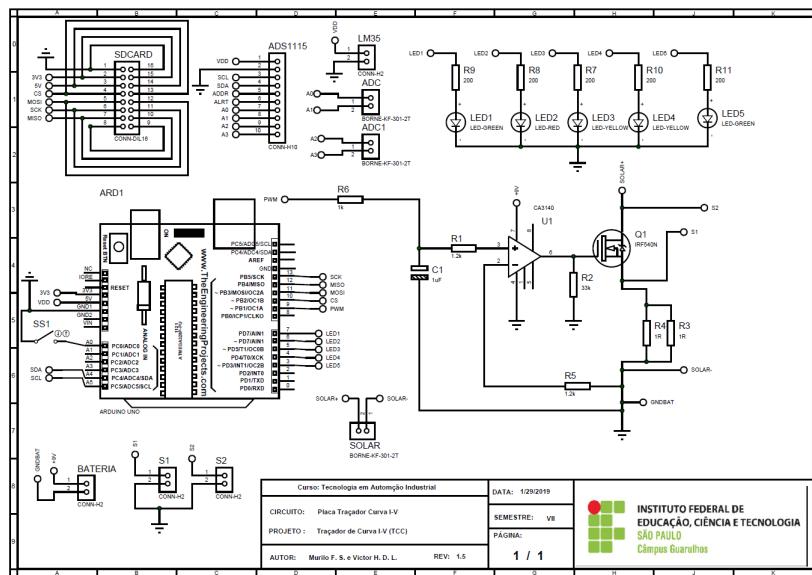


Figura 23 – Circuito eletrônico completo. Fonte: Elaborado pelo Autor.

O circuito pode ser separado em diversas partes que serão separadas em:

1. Conexões com o Arduino;
2. Conexões Módulos;
3. Carga Eletrônica;
4. LEDs para sinalização.

3.0.4.1 Conexões com o Arduino

A primeira parte do circuito, figura 24, as entradas e saídas disposta pelo Arduino e utilizadas para os acionamentos e sensoriamentos.

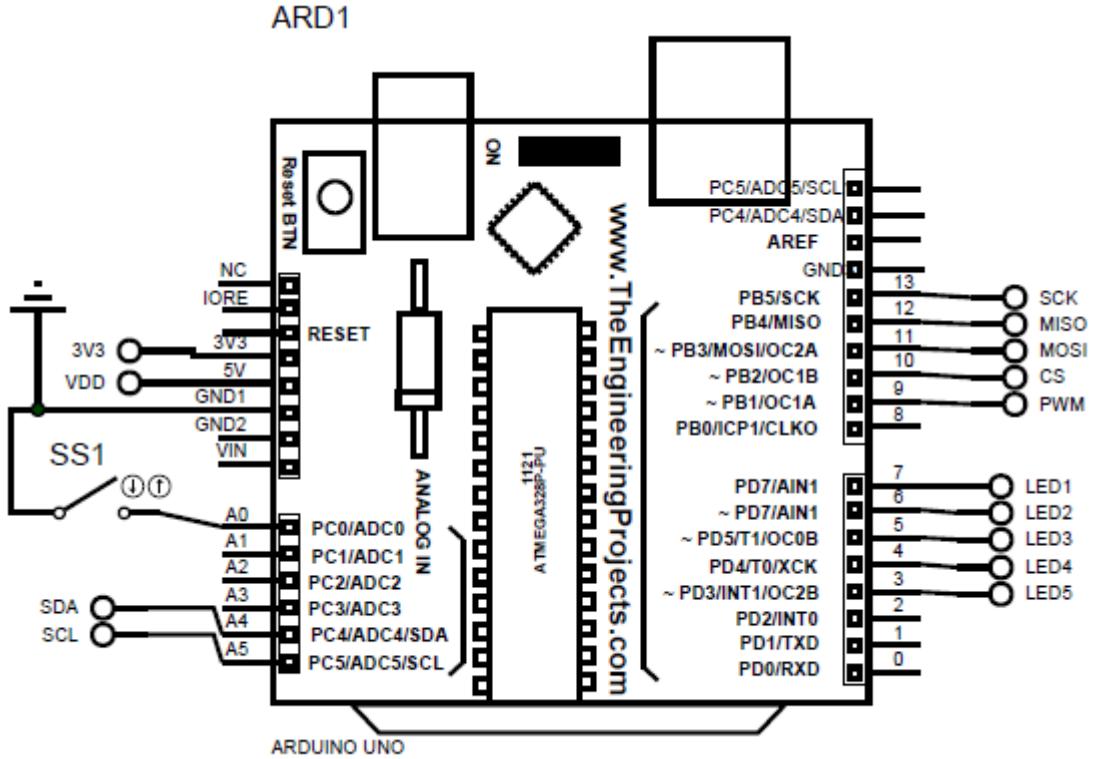


Figura 24 – Circuito eletrônico, foco no componentes mais próximos ao Arduino. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 24 se observa as conexões de alimentação dos módulos, os pinos das conexões de diferentes redes, sendo elas I₂C e SPI. Há também os pinos conectados aos LEDs e ao botão que inicia o processo.

3.0.4.2 Conexões Módulos

A segunda parte do circuito, figura 25, desrespeito aos conectores que serão utilizados para os módulos auxiliares para o processo da carga eletrônica.

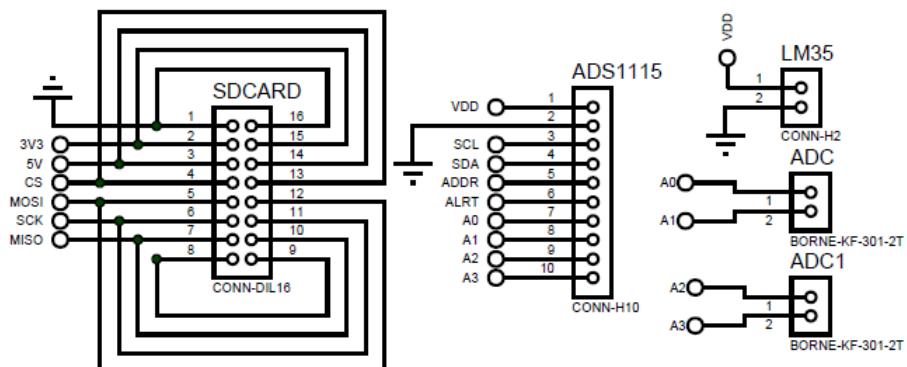


Figura 25 – Circuito eletrônico, foco nas conexões com o módulo. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 25 se observa as conexões para os módulos, Cartão SD e ADS1115, além de conexões auxiliares para o LM35, sensor de temperatura e para os sinais de entrada do módulo ADS1115.

3.0.4.3 Carga Eletrônica

A terceira parte do circuito, figura 26, a carga eletrônica, principal circuito para o funcionamento do protótipo.

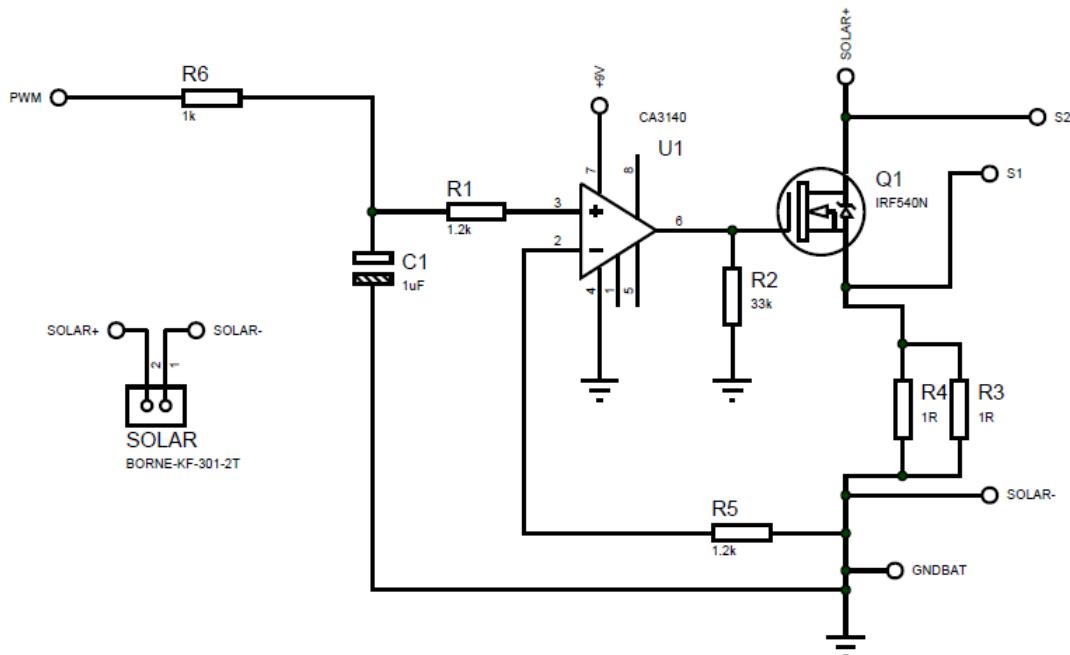


Figura 26 – Circuito eletrônico, foco na carga eletrônica. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 26 se observa os componentes para o uso da carga eletrônica. Há também a presença dos conectores para os cabos provenientes do painel solar.

3.0.4.4 Conjunto de LEDs

A parte final do circuito, figura 27, o conjunto de LEDs, *Light-Emitting Diode*, Diodo Emissor de Luz, o qual tem como principal função garantir uma interface visual para o usuário, permitindo assim se encontrar durante o processo e erros ocorridos.

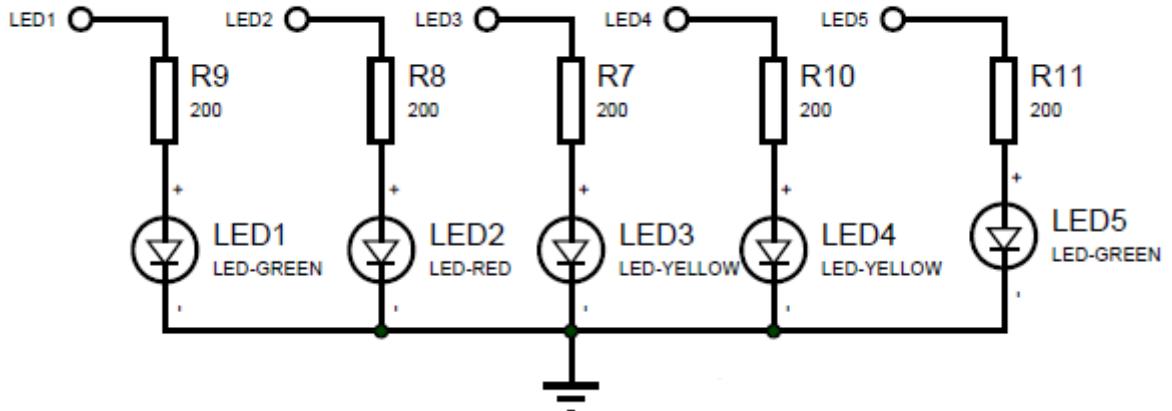


Figura 27 – Circuito eletrônico, foco no conjunto de LEDs. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na figura 27 se observa os cinco LEDs utilizados para o informativo ao usuário.

3.0.5 Métodos

3.0.5.1 Controle de Variáveis

Durante os experimentos foram necessários atestar alguns aspectos, garantindo maior estabilidade no processo de aquisição de dados:

- Irradiância solar fixa;
- Uso de sensores precisos.

Para garantir maior veracidade e precisão na coleta de dados, foi realizado um teste com 30 diferentes valores a serem coletados pelo sensor utilizando ADS1115 e um multímetro de alta precisão. Ao se comparar os dados do multímetro e do ADS1115, nota-se os valores correspondentes do sensor em relação ao multímetro, como pode ser observado na figura 28.

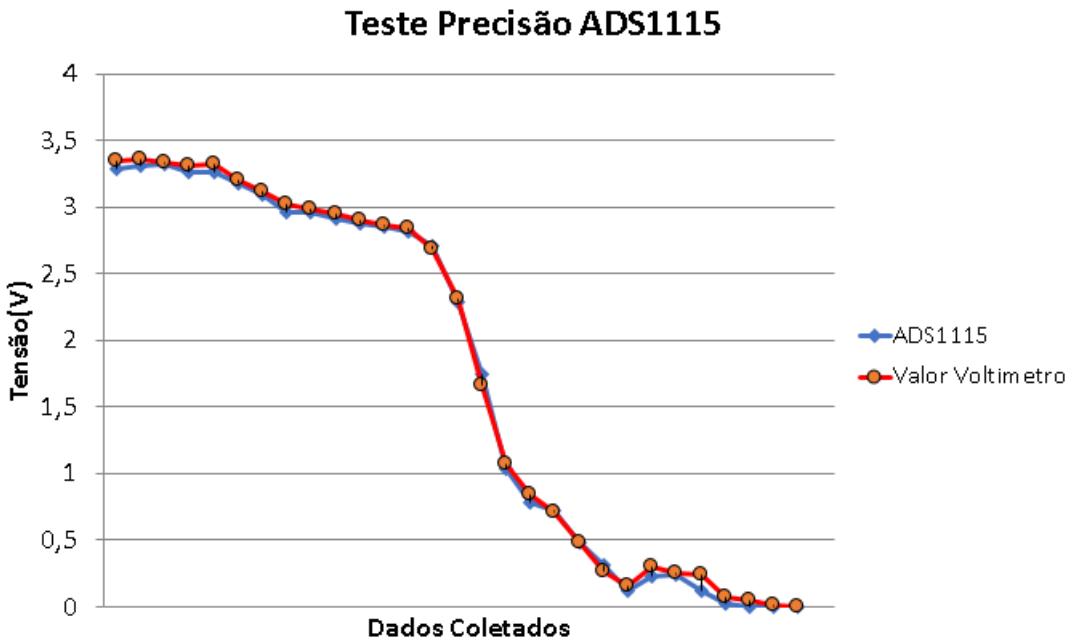


Figura 28 – 30 diferentes valores de tensão e comparação entre o sensor e um multímetro comercial. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Considerando o clima e tempo instável oscilando entre dias chuvosos, nublados e alguns ensolarados, houve a necessidade de uma maneira de viabilizar os testes ainda que houvesse clima desfavorável. O engenho que permitiu tal feito foi o uso de uma lâmpada halogênea, que teve como papel gerar e simular a mesma irradiância que seria gerada pelo Sol em um dia sem nuvens.

Imagem Da Lampada ...

3.0.5.2 Comportamento do Protótipo

De maneira a tornar o uso do traçador mais acessível e funcional, foram instalados LEDs que apresentam em qual parte do processo de aquisição de dados o traçador se encontra, e um LED para sinalização de erros durante a aquisição de dados, sendo suas cores:

- Amarelo;
- Branco;
- Verde 1;
- Verde 2;
- Vermelho.

Foram utilizadas diferentes combinações de LEDs para sinalizar as diferentes etapas, assim como reproduzido na tabela 2.

Tabela 2 – Combinação dos LEDs de sinalização

Combinações de Cores	Função
Vermelho	Erro durante a coleta
Amarelo,Verde1	Aguardando habilitação pelo usuário para a coleta
Verde2	Coleta de dados habilitada
Branco	Coletando de dados
Branco,Verde1,Vermelho	Finalização da coleta

Fonte: Elaborada pelo autor

Ao se utilizar da interface através dos LEDs foi possível tornar a coleta de dados mais dinâmica, de maneira a facilitar o uso do usuário e a verificação das etapas e o possível aparecimento de erros.

Tendo a interface pronta, e o circuito montado pronto para os testes, houve então a primeira verificação. Os primeiros experimentos foram feitos utilizando uma **Resistência Shunt**(RS) de aproximadamente 3 Ohms, o que causou uma grande deformação na curva proveniente dos valores coletados.

Após novos testes com diferentes resistências, foi possível chegar ao resultado mais próximo do esperado ao se utilizar dois resistores de 1 Ohm em paralelo. Houve também a necessidade de alterar alguns pontos da programação tendo a finalidade de se obter mais pontos e garantir uma melhor resolução da curva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros circuitos de testes foram construídos em uma Matriz de Contato (*Protoboard*), de modo a facilitar ajustes e adequações de projeto. Para os experimentos foi utilizado uma lâmpada halogena, possibilitando um ambiente controlado para testes, de modo a não depender das condições climáticas ideias para efetuar o experimento. Para alterar a potência de irradiação luminosa expelida pela lâmpada sobre o painel, utilizou-se diferentes distâncias entre a lâmpada e o painel fotovoltaico. Para atestar a alteração da potência irradiada pela lâmpada sobre a superfície do painel, fez-se o uso do solarímetro.

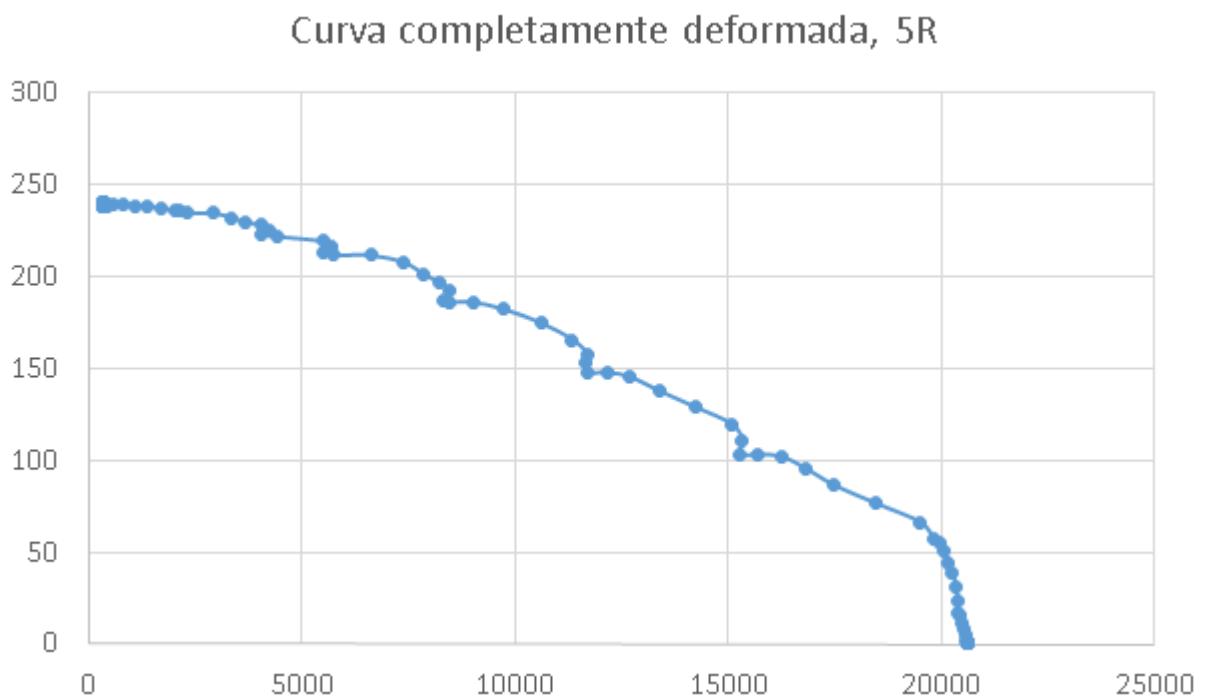


Figura 29 – Curva IV deformada devido ao uso de um resistor de 5 Ohms. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os testes com dos circuitos iniciais não trouxeram os resultados esperados, fazendo com que fosse alterado o projeto. As principais alterações foram a implementação do módulo ADC (ADS1115), a alteração do valor de resistência de carga de 3 para 1 Ohm e a alteração do valor do capacitor de 1000uF para 100uF.

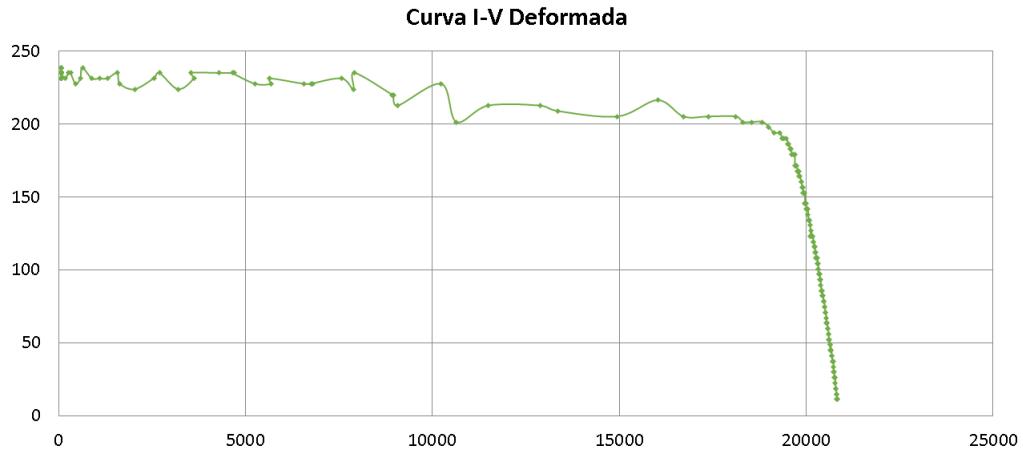


Figura 30 – Curva IV deformada devido. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com as alterações feitas no circuito, ainda não foi possível obter a curva ideal, de modo que foi necessário efetuar a alteração da programação, configurando diferentes resoluções do pulso de PWM de modo que foi possível traçar curvas com diferentes números de pontos de observação.

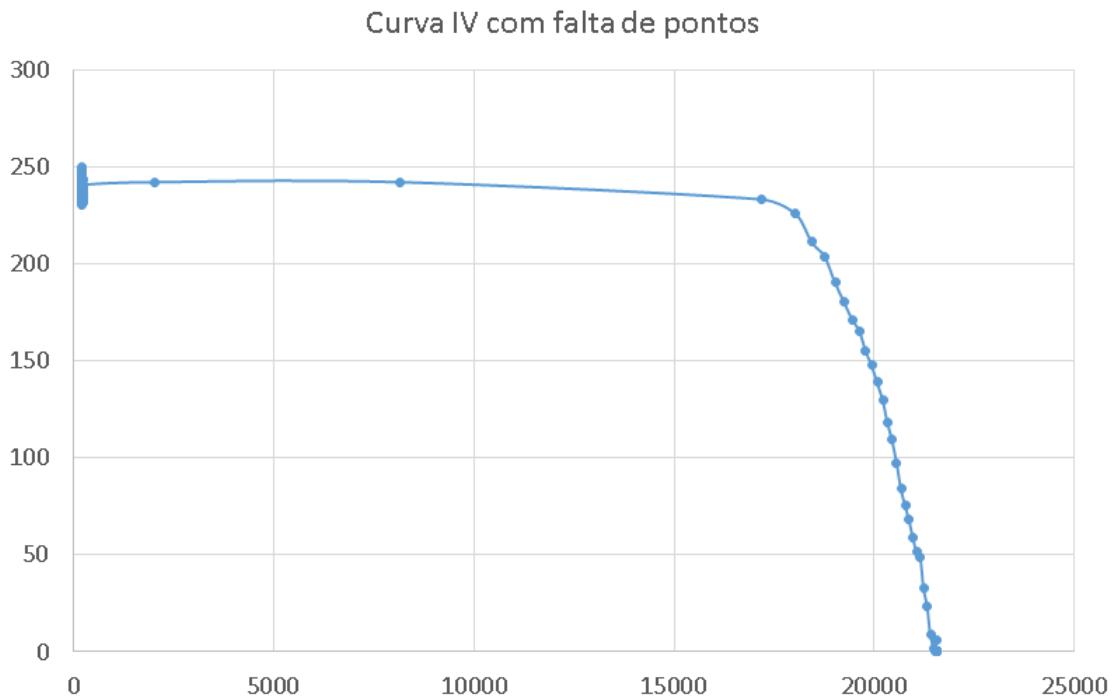


Figura 31 – Curva IV com poucos pontos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após efetuar ajustes no circuito e na programação , foi concluída a fase de teste na *protoboard* obtendo exito na parte experimental. Foi possível traçar a curva I-V ideal do painel fotovoltaico e analisar seu comportamento em diferentes níveis de irradiância solar simulada. CurvaIVpoucospontos

// Acrescentar fotos do Circuito na protoboard sendo testado (Tirar foto Logo menos), e acrescentar as curvas topzeras)

Resultados Finais: Após concluir a fase de testes, iniciou-se a fase de confecção do circuito oficial, passando a configuração da *protoboard* para uma placa de circuito impresso.... (Continua nos próximos episódios) Texto dos resultados.

5 CONCLUSÕES/CONCLUSÕES PARCIAIS

Texto das conclusões (as conclusões parciais são para a graduação na qualificação).

6 CRONOGRAMA

Cronograma (para a graduação na qualificação)

REFERÊNCIAS

- ALIAGA, R. et al. Experimental implementation of an electronic load for global maximum power point tracking. In: IEEE. **Power Electronics Conference (SPEC), IEEE Annual Southern**. [S.l.], 2016. p. 1–6. Citado na página 26.
- BRAGA, N. C. **Carga eletrônica**. 2008. [Online; Stand 01. November 2018]. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 35.
- BRAGA, N. C. **Como funciona o MOSFET**. 2016. [Online; Stand 01. November 2018]. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5169-mec071a>>. Citado 4 vezes nas páginas 11, 33, 34 e 35.
- BRESSAN, M. et al. A shadow fault detection method based on the standard error analysis of i-v curves. **Renewable Energy**, v. 99, p. 1181 – 1190, 2016. ISSN 0960-1481. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116307297>>. Citado 4 vezes nas páginas 10, 22, 23 e 24.
- CALDEIRA, K.; JAIN, A. K.; HOFFERT, M. I. Climate sensitivity uncertainty and the need for energy without co2 emission. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 299, n. 5615, p. 2052–2054, 2003. Citado na página 20.
- CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital**. [S.l.]: Editora Saraiva, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 35.
- GAO, Q. et al. A direct current-voltage measurement method for smart photovoltaic modules with submodule level power optimizers. **Solar Energy**, v. 167, p. 52 – 60, 2018. ISSN 0038-092X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18303141>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 22.
- LEENS, F. An introduction to i2c and spi protocols. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 12, p. 8–13, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 33.
- LI, X. et al. Reduction of solar photovoltaic resources due to air pollution in china. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, p. 201711462, 2017. Citado na página 22.
- MARTIN, L.; VLADISLAV, P.; PAVEL, K. Temperature changes of iv characteristics of photovoltaic cells as a consequence of the fermi energy level shift. **Research in Agricultural Engineering**, v. 63, n. 1, p. 10–15, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 26.
- OLIVEIRA, F. S. de; RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER, A. Desenvolvimento de um traçador de curvas IV para arranjos fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 82–90, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 10, 24 e 25.
- RIBEIRO, R. G. A. et al. Proposição de uma metodologia para análise de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica. **Revista Principia**, Directory of Open Access Journals, v. 1, n. 34, p. 84–92, 2017. Citado na página 22.

SCHILL, C.; BRACHMANN, S.; KOEHL, M. Impact of soiling on iv-curves and efficiency of pv-modules. **Solar Energy**, v. 112, p. 259 – 262, 2015. ISSN 0038-092X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X1400591X>>. Citado 3 vezes nas páginas 10, 25 e 26.

SEMICONDUCTORS, P. The I2C-bus specification. **Philips Semiconductors**, v. 9397, n. 750, p. 00954, 2000. Citado 3 vezes nas páginas 10, 31 e 32.

WANDERLEY, A. C. F. **Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 21.

WEITEMEYER, S. et al. Integration of renewable energy sources in future power systems: The role of storage. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 75, p. 14–20, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 10, 20 e 21.

WILLOUGHBY, A. A.; OSINOWO, M. O. Development of an electronic load i-v curve tracer to investigate the impact of harmattan aerosol loading on pv module performance in southwest nigeria. **Solar Energy**, v. 166, p. 171 – 180, 2018. ISSN 0038-092X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18302792>>. Citado 3 vezes nas páginas 10, 22 e 26.

Apêndices

APÊNDICE A – TÍTULO DO APÊNDICE A

Texto do apêndice A.

APÊNDICE B – TÍTULO DO APÊNDICE B

Texto do apêndice B.

Anexos

ANEXO A – TÍTULO DO ANEXO A

Texto do anexo A.

ANEXO B – TÍTULO DO ANEXO B

Texto do anexo B.