

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

MURILO FABRICIO SILVA, VICTOR HUGO DIAS LOPES

ANALISE DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS
ATRAVÉS DO USO DA CURVA CARACTERISTICA
I-V

GUARULHOS

2019

MURILO FABRICIO SILVA, VICTOR HUGO DIAS LOPES

Analise de arranjos fotovoltaicos através do uso da curva característica I-V

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 Tecnólogo em
Automação Industrial.

Orientador: Prof.Dr. Marcelo Kenji Shi-
buya

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

Análise de arranjos fotovoltaicos através do uso da curva característica I-V/ Murilo Fabricio Silva, Victor Hugo Dias Lopes. – Guarulhos, 2019-
36 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

ANALISE DE ARRANJOS FOTOVOLTAICOS ATRAVÉS DO USO DA CURVA CARACTERISTICA I-V

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 Tecnólogo
em Automação Industrial.

Aprovado em DIA(número) de MÊS(per extenso) de ANO(número).

Prof.Dr. Marcelo Kenji Shibuya
Orientador
Titulação
Instituição

Professor Convidado 1
Titulação
Instituição

Professor Convidado 2
Titulação
Instituição

Guarulhos
2019

COORDENADOR:
SUBSTITUIR PELA
FOLHA DE
APROVAÇÃO

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

Agradecimento (opcional). Folha que contém manifestação de reconhecimento a pessoas e/ou instituições que realmente contribuíram com o autor, devendo ser expressos de maneira simples.

Epígrafe (Opcional) Pensamentos retirados de um livro, uma música, um poema, normalmente relacionado ao tema do trabalho, seguida de indicação de autoria. As epígrafes podem ser colocadas também nas folhas de abertura de cada capítulo.

“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:** subtítulo (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, Arararaqua. 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 impessoal (pronomes 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:** subtítulo (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 de células fotovoltaicas em um arranjo em curto-circuito. Fonte: Bressan et al. (2016)	19
Figura 2 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre influencia de neve, a qual foi removida no dia 01/01. Fonte: Schill, Brachmann e Koehl (2015).	20
Figura 3 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre diferentes temperaturas. Fonte: Martin, Vladislav e Pavel (2017).	21
Figura 4 – Uso de MOSFET como carga eletrônica para uso em painéis fotovoltaicos. Fonte: Willoughby e Osinowo (2018).	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de tabela de 2 colunas 22

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de quadro	22
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1D	Uma dimensão
2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Letra grega minúscula Alfa
β	Letra grega minúscula Beta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Metodologia	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
3	METODOLOGIA	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÕES/CONCLUSÕES PARCIAIS	28
6	CRONOGRAMA	29
	REFERÊNCIAS	30
	APÊNDICES	31
	APÊNDICE A – TÍTULO DO APÊNDICE A	32
	APÊNDICE B – TÍTULO DO APÊNDICE B	33
	ANEXOS	34
	ANEXO A – TÍTULO DO ANEXO A	35
	ANEXO B – TÍTULO DO ANEXO B	36

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 é citável a energia eólica e energia solar, que com o avanço da tecnologia tem se tornado cada vez mais acessível. No Brasil há grande potencial de geração de energia solar, devido a sua posição geográfica, próximo a linha do equador. 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 terá como premissa o desenvolvimento de um sistema de análise de sistemas fotovoltaicos a partir do uso do MPPT, de maneira a garantir e viabilizar o uso de sistemas fotovoltaicos através de um sistema compacto, eficaz e barato. Logo através de um sistema que gera dados que disponibilizem o modo de atuação de um sistema fotovoltaico é possível encontrar o ponto de máxima potência, e gerar diversos gráficos a respeito do mesmo, assim permitindo uma análise completa e a comparação em diversos sistemas.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil cerca de 81,9% da capacidade de geração de energia e 87,8% da produção total foram através 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 Energia.

Nota-se que a energia solar ainda está se popularizando no Brasil, entretanto segundo a Organização das Nações Unidas(ONU), o investimentos focados em energia solar já ultrapassam a casa dos US\$ 160 bilhões, se tornando cada vez mais importante 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 paga 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 através de um meio de geração limpo, sustentável, e viável, gerando diversas oportunidades de geração de trabalho e estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento de painéis fotovoltaicos através 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 descritiva, de maneira a descrever e demonstrar a curva I-V de um painel fotovoltaico e seu uso em estudos ou uso comercial foram realizados os seguintes passos: 1. análise bibliográfica; 2. Desenvolvimento de um sistema prototipo; 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

Existem abordagens diversas visando a busca e melhoria de fontes de energias renováveis e limpas. Com isso, surgiu um interesse na energia proveniente de painéis fotovoltaicos, em específico a implementação de diferentes meios para se obter o seu maior rendimento.

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

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 se 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) publicou *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, Xiaoyuan et al, 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 400GW 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 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 $1,5kWh/m^2$ da irradiância solar em todo território descrito, as nuvens já 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 a geração de energia por meios sustentáveis e limpos, entretanto como aponta 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 1, é possível observar a variação da temperatura, alterando consequentemente o funcionamento do painel fotovoltaico.

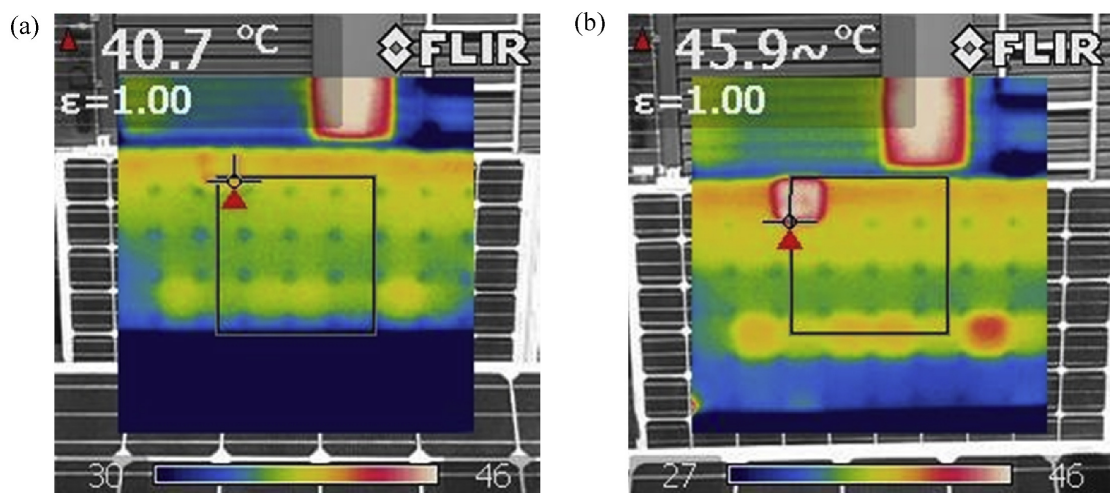


Figura 1 – Variação na temperatura de células fotovoltaicas em um arranjo em curto-circuito. Fonte: Bressan et al. (2016)

Apontados os pontos anteriores, há grande importância e interesse no uso da curva I-V de sistemas fotovoltaicos, para gerenciamento, funcionamento, e verificação de erros, 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 verificado e monitorado a curva a cada 10 minutos. O uso da curva I-V permitiu a conclusão em teste onde os painéis foram sujos e permaneceram, durante o teste foi verificados uma diminuição de até 20% dos valores iniciais de eficiência, é possível observar a diferença entre as curvas de placas com limpas e placas sobre grande influência de poeira como visto na Figura 2.

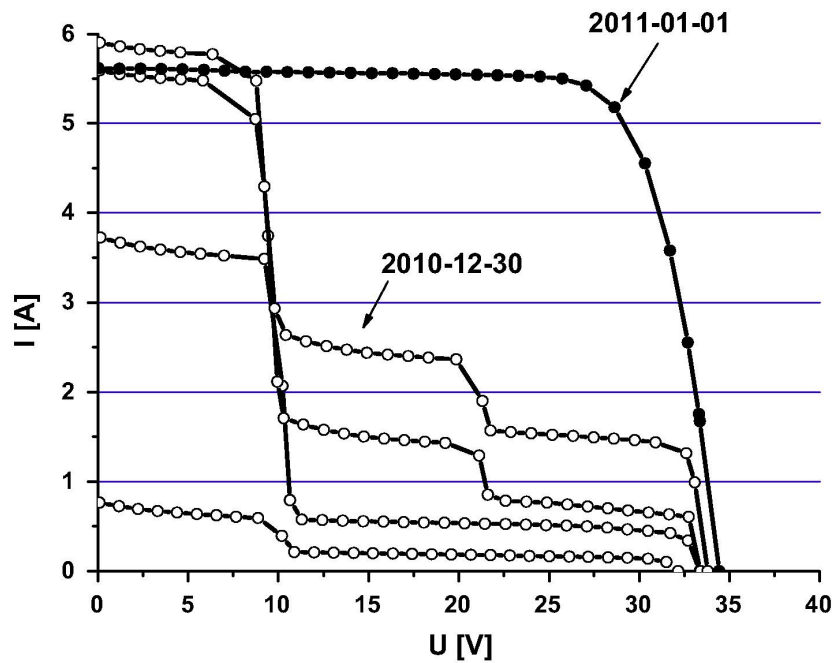


Figura 2 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre influencia de neve, a qual foi removida no dia 01/01. Fonte: Schill, Brachmann e Koehl (2015).

Assim como analisado por Martin, Vladislav e Pavel (2017) , a temperatura do painel fotovoltaico possui influência sobre a geração, e respectiva curva I-V do painel em analise. É possível observar esse efeito na Figura 4.

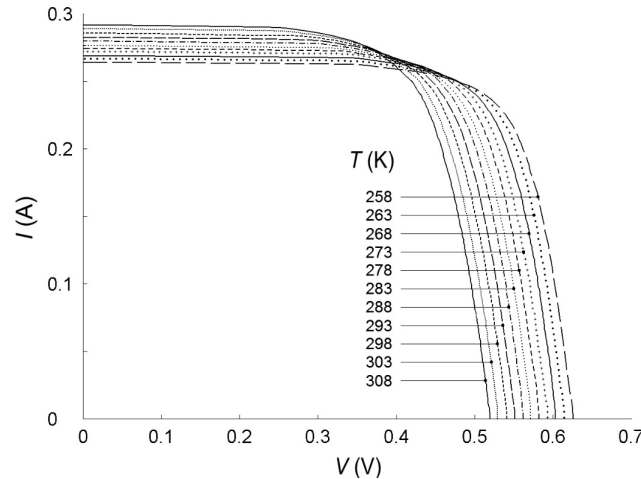


Figura 3 – Curva característica I-V de painéis fotovoltaicos sobre diferentes temperaturas.
Fonte: Martin, Vladislav e Pavel (2017).

Assim como aponta Schill, Brachmann e Koehl (2015), o elemento central para a geração da curva I-V é a carga eletrônica, o qual tem como principal função simular diferentes cargas para o painel fotovoltaico, de maneira a permitir verificar seu comportamento, assim também utilizado 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 demonstrado na figura ?? permite a rápida variação de carga sobre o painel fotovoltaico de maneira a permitir a construção da curva I-V característica do painel em determinado instante, desta maneira diminuir a diferença de geração devidos a meios externos como nuvens ou variações climáticas, (WILLOUGHBY; OSINOWO, 2018).

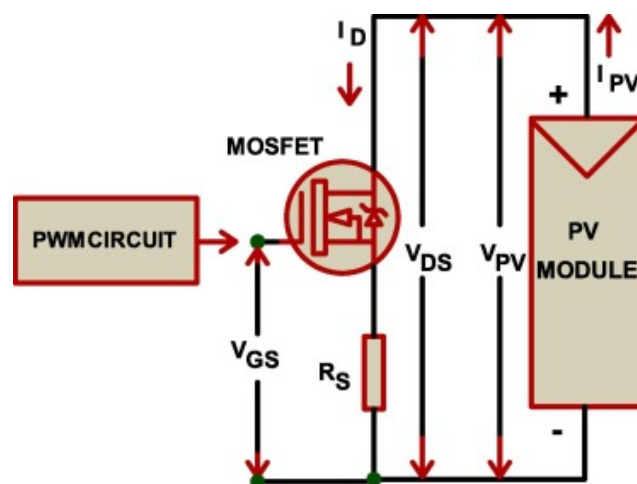


Figura 4 – Uso de MOSFET como carga eletrônica para uso em painéis fotovoltaicos.
Fonte: Willoughby e Osinowo (2018).

Este é um exemplo de como usar tabelas. Referência cruzada: Tabela 1

Tabela 1 – Exemplo de tabela de 2 colunas

Coluna 1	Coluna 2
Dado 1a	Dado 1b
Dado 2a	Dado 2b
Dado 3a	Dado 3b
Dado 4a	Dado 4b

Fonte: Elaborada pelo autor

Este é um exemplo de como usar quadros. Referência cruzada: Quadro 1

Quadro 1 – Exemplo de quadro

Cores		
Nome	Hexa	Amostra
Preto	#000000	
Marrom	#993300	
Vermelho	#FF0000	
Laranja	#FF3300	
Amarelo	#FFFF00	
Branco	#FFFFFF	

Fonte: Elaborada pelo autor

Este é um exemplo de como usar equações. Referência cruzada: Equação 2.1

$$\sum_{i=1}^n = \frac{n(n+1)}{2}$$

(2.1)

Exemplo de inserção de lista de código fonte (**não use acentos no código!**):

```
1 /**
2  * Classe de exemplo.
3  *
4  * @author David Buzatto
5  */
6 public class Grafo {
7
8     public static void main( String[] args ) {
9
10         System.out.println( "Exemplo de codigo fonte!" );
11         System.out.println( "Nao use acentos!" );
12
13     }
14
15 }
```

Este é um exemplo de como inserir texto sem formatação (ambiente verbatim):

Texto sem formatação, como espaçamento igual.

Exemplo de lista de itens:

- **Item 1:** texto...;
- **Item 2:** texto...;
 - **Subitem:** texto...;
 - **Subitem:** texto...;
 - **Subitem:** texto...;
- **Item 3:** texto...;
- **Item n:** texto....

Exemplo de lista numerada:

1. **Item:** texto...;
2. **Item:** texto...;
 - a) **Subitem:** texto...;
 - b) **Subitem:** texto...;
 - c) **Subitem:** texto...;
3. **Item:** texto...;
4. **Item:** texto....

Exemplos de comandos para texto e referências:

- Para iniciar um novo parágrafo, basta deixar uma linha em branco no código fonte;
- Não force o compilador a pular mais de uma linha, pois terá influência negativa na composição do documento;
- Sempre deixe o L^AT_EX realizar a formatação de parágrafos e posicionamento de elementos;
- Utilização de aspas simples (abertura ‘, fechamento ’): ‘Texto entre aspas simples’;

- Utilização de aspas duplas (abertura ‘ ‘, fechamento ’ ’): “Texto entre aspas duplas”;
- Negrito (comando `\textbf`): **texto em negrito**;
- Itálico (comando `\textit`): *texto em itálico*;
- Sublinhado (comando `\underline`): texto sublinhado;
- Negrito e itálico (usar comandos juntos): ***texto em negrito e itálico***;
- Alterar cor do texto (comando `\textcolor{cor}{texto}`):
 - Exemplo `\textcolor{red}{texto}`: texto vermelho;
 - Exemplo `\textcolor[RGB]{255, 102, 0}{texto}`: texto laranja;
 - Exemplo `\textcolor[HTML]{006AD7}{texto}`: texto azul;
- Ambiente matemático inline (comando `$ expressão $`): $s = x^2 - 2x + 1$;
- Referência normal (comando `\cite`):
 - (??);
 - (??);
 - (??);
- Referência normal com mais de uma obra (comando `\cite`):
 - (????);
 - (??????);
- Referência nome e ano (comando `\citeauthorandyear`):
 -
 -
 -

Exemplo 1 de referência direta:

Os 20 aminoácidos usualmente encontrados como resíduos em proteínas contém um grupo α -carboxil, um grupo α -amino e um grupo R distinto substituído no átomo de carbono α . O átomo de carbono α de todos os aminoácidos, com exceção da glicina, é assimétrico e, portanto, os aminoácidos podem existir em pelo menos duas formas estereoisoméricas. Somente os estereoisômeros L, com uma configuração relacionada à configuração absoluta da molécula de referência L-gliceraldeído, são encontrados em proteínas (??, p. 81)

Exemplo 2 de referência direta:

*These various insecticidal proteins are synthesized during the stationary phase and accumulate in the mother cell as a crystal inclusion which can account for up to 25% of the dry weight of the sporulated cells. The amount of crystal protein produced by a *B. thuringiensis* culture in laboratory conditions (about 0.5 mg of protein per ml) and the size of the crystals (24) indicate that each cell has to synthesize 10^6 to 2×10^6 δ -endotoxin molecules during the stationary phase to form a crystal (??, p. 1)*

Exemplo de nota de rodapé¹.

¹ Essa é uma nota de rodapé!

3 METODOLOGIA

Texto da metodologia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 21.

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 2 vezes nas páginas 10 e 19.

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 3 vezes nas páginas 10, 20 e 21.

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, 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, 18 e 21.

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.