



FACULDADE DE ENGENHARIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

**RELATÓRIO DE ESTAGIO PROFISSIONAL**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA FORNECIMENTO DE  
ENERGIA ELECTRICA A EMPRESA SUMOL+COMPAL MOÇAMBIQUE SA**

Autor: Eduardo Vasco Wate

Supervisor:

Prof. Doutor Eng<sup>o</sup>. Manuel Cumbi[UEM]

José Fernando Pedrosa [Sumol + Compal MZ]

**Maputo Novembro de 2023**



FACULDADE DE ENGENHARIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

**RELATÓRIO DE ESTAGIO PROFISSIONAL**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA FORNECIMENTO DE  
ENERGIA A EMPRESA SUMOL+COMPAL MOÇAMBIQUE SA**

Autor: Eduardo Vasco Wate

Supervisor:

Prof. Doutor Eng<sup>o</sup>. Manuel Cumbi[UEM]

José Fernando Pedrosa [Sumol + Compal MZ]

**Maputo Novembro de 2023**

## Guia de Aceitação de Estágio Profissional

**ASSUNTO:** Confirmação de aceitação do Estágio Profissional.

A empresa **SUMOL + COMPAL Moçambique, SA**, com sede na Avenida da Namaacha Km 27 no distrito de Boane, inscrita na Conservatória de Registo das Entidades Legais de Maputo sob o número 100 266 725, titular do NUIT. 400 339 627, representada pela senhora Raquel Maria Silva Rocha Dias David na qualidade de Procuradora, vem por este meio confirmar que o senhor **EDUARDO VASCO WATE** foi aceite para realizar o estágio profissional na nossa unidade industrial em Boane, no sector da Manutenção na área de Electricidade Industrial para um período de 3 meses contados a partir de 21 de Agosto de 2023 até 21 de Novembro de 2023.

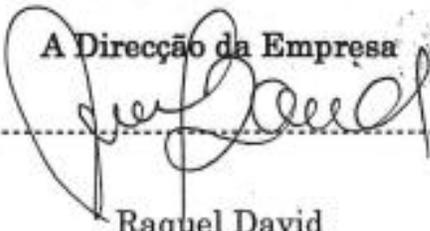
Durante este período, o estagiário deverá desenvolver várias actividades relacionadas com a manutenção industrial e principalmente para a área de electricidade industrial.

**Aproveitamos desde já, solicitar à Universidade o envio do plano de estágio.**

Sem mais de momento, reiteramos os nossos melhores cumprimentos.

Boane, 30 de Agosto de 2023.



A Direcção da Empresa  
  
Raquel David

**SUMOL+COMPAL**  
Sumol+Compal Moçambique, P.L.  
Av. Da Namaacha Km 27 Boane  
NUIT: 400339627  
Nº de Registo Legal: 100266725

## Guia de Certificação de Estagio Profissional



### Avaliação de Estagio Profissional

Nome	Eduardo Vasco Wate
Curso	Engenharia eléctrica
Sector	Manutenção
Nome de supervisor de estagio	José pedrosa
Data de inicio de estagio	21/08/2023
Data de do termino de estagio	21/11/2023
Total de horas compridas	720H

Grau de desempenho: MB=Muito Bom B=Bom R=Regular I=Irregular					
Fatores de Desempenho	Qualidade de trabalho	MB	B	R	I
	Exatidão	X			
	Manuseio de equipamentos		X		
	Utilização de materiais	X			
	<b>Aspetos Profissionais</b>				
	Qualidade do trabalho executado	X			
	Espirito inquisitivo		X		
	Iniciativa e autodeterminação	X			
	Conhecimento	X			
	Atitude geral		X		
	Dedicação e comprometimento	X			
	Sensibilidade	X			
	<b>Qualidades pessoais</b>				
	Participação	X			
	Capacidade de aprender		X		
	Disciplina e responsabilidade	X			
	Relacionamento com superiores		X		
Gestão de equipamento de uso individual e coletivo de HST	X				



**FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTRÓTECNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉCTRICA  
TERMO DE ATRIBUIÇÃO DE TEMA DE ESTÁGIO PROFISSIONAL**

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPPL33

Data: 20/09/2023

**1. TÍTULO DO TEMA**

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO (SFV) PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA, A EMPRESA SUMOL + COMPAL MOÇAMBIQUE SA

**2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO TRABALHO A DESENVOLVER**

**2.1 Introdução**

No ano de 1950, a população mundial era estimada em cerca de 2,6 bilhões de pessoas, ao passo que no ano de 1987 a população chegou a 5 bilhões. Em 1999, o número de habitantes era de 6 bilhões e, após se passarem dez anos, a marca de 7 bilhões foi atingida. No ano de 2017, estimou-se cerca de 7,6 bilhões de habitantes no mundo (ONU, 2019).

A rápida expansão do número de habitantes no planeta Terra tem importantes implicações em muitos sectores da vida. Algumas destas implicações podem ser citadas, tais quais: a saúde, o envelhecimento, a urbanização, a demanda por habitação, o abastecimento inadequado de alimentos, o acesso a água potável e a energia. Dentre as questões supracitadas, a energia é destacada pelo facto de ser necessária para a vida do ser humano, a exemplo disso tem-se: acender a luz, bem como preparar refeições, processamento de sinais e mover máquinas industriais.

Essa energia é fornecida por meio de um conjunto de fontes disponíveis para suprir a demanda de energia (matriz energética). essa matriz energética é composta por fontes não renováveis e renováveis, as fontes não renováveis utilizam recursos naturais, os quais são esgotáveis.

Em contrapartida, as fontes de energia renováveis são inesgotáveis, devido a constante renovação ao serem utilizadas dentro de um intervalo de tempo significativo. Também, são consideradas limpas por emitir menos gases de efeito estufa se comparadas às fontes fósseis. O desenvolvimento das nações economicamente está intimamente ligado ao consumo e ao preço da energia.

Na verdade, as oscilações que ocorrem no preço da energia influenciam directamente em todos os subsectores das actividades económicas com grande impacto nos cidadãos, como por exemplo os transportes, os bens alimentares a saúde assim como a indústria.

Neste contexto, as indústrias terão de saber gerir a longa e árdua transição para um modelo energético menos dependente do petróleo e dos combustíveis fósseis.

É com este diagnóstico de crescentes preocupações geoestratégicas, de subida de preços com o petróleo (e todos os seus derivados) e de limitação de emissões de CO<sub>2</sub> que é imprescindível a utilização de outras fontes de energia renováveis como por exemplo a energia eólica e solar fotovoltaica.

A Sumol + Compal Moçambique depende totalmente da rede da EDM para alimentar suas cargas e do Grupo Gerador de emergência em caso de corte no fornecimento, desta forma aumentado o custo de investimento pelo consumo de electricidade e consequentemente o efeito estufa causado pelo grupo gerador.

Nesta perspetiva, a utilização de tecnologias mais limpas e eficientes, bem como a elaboração de políticas energéticas tornam-se ferramentas importantes como forma de melhoria de qualidade do funcionamento da planta e do custo da energia eléctrica.

## **2.2 Formulação do Problema**

A Sumol + Compal Moçambique é uma empresa de processamento de Bebidas não alcoólicas com foco em sumos da marca Compal localizada na província de Maputo no Município de Boane AV. da Namaacha Km 27.

Começou suas operações no dia 12 de março de 2012, sendo bem recebido pelo mercado nacional, com isso os investidores despertaram outras visões em relação ao mercado nacional, desde lá para dias actuais os investimentos aumentaram tendo consequentemente aumentado a carga, ou seja, a potência instalada.

A Sumol + Compal Moçambique actualmente 100% das suas necessidades energéticas dependem da concessionária EDM, e do grupo gerador de emergência sendo essas fontes principais causadores do efeito estufa. Com o actual ritmo de crescimento a dependência de fornecimento de energia eléctrica por essas fontes trará um prejuízo considerável nos próximos anos.

A Sumol + Compal Moçambique tem uma carga estimada em 675 KVA dividido em cargas principais da planta, cargas auxiliares, cargas de área administrativa e serviços gerais, com aquisição de novos equipamentos a carga tende a aumentar, o que significa o aumento da fatura pelo consumo de electricidade e do efeito estufa produzido pelo grupo gerador de emergência.

Reduzir os custos da fatura de electricidade e do consumo de combustível é uma das preocupações da administração pois a energia eléctrica é fundamental para o funcionamento normal da planta fabril assim como para toda empresa.

Como reduzir o custo de energia eléctrica e efeito estufa da empresa Sumol + Compal Moçambique?

### **2.3 Justificativa**

O presente tema é motivado pela necessidade de desenvolver um projecto de uma fonte alternativa fotovoltaica para alimentar a empresa Sumol + Compal Moçambique, afim de reduzir o custo da fatura de energia eléctrica devido a dependência do fornecimento de energia eléctrica pela concessionária da Electricidade de Moçambique (EDM), e redução do efeito estufa causado pelo funcionamento de grupo gerador de emergência por longo tempo, uma vez que esses grupo gerador de emergência utilizam os combustíveis fósseis como fonte principal, que por sua vez causam negativos impactos socioambientais ao liberarem gases de efeitos de estufa na Terra e, por consequência, contribuem para o aquecimento global e para as mudanças climáticas.

Vale evidenciar que a utilização da energia vinda do sol tem ganhado mais força, no que diz respeito à geração de energia eléctrica de forma sustentável.

Esta importância se dá pelo facto desses sistemas serem silenciosos, por não emitirem poluentes ao meio ambiente, além de não prejudicarem o ecossistema. Outra grande

relevância em se utilizar os sistemas fotovoltaicos é a redução do custo de produção de energia e economia com a conta de energia eléctrica, além de uma possível independência do fornecimento de energia eléctrica pela distribuidora de energia eléctrica.

Moçambique concretamente Maputo província, Município de Boane possui boa disponibilidade de recurso energético solar.

Por este motivo, pensou-se na necessidade de se contribuir com o aumento da participação da fonte solar na matriz energética da empresa Sumol + Compal Moçambique, por meio do **Projecto de Sistema Fotovoltaico (SFV)**.

## **2.4 Objectivos**

### **Objectivo Geral**

Dimensionar o sistema fotovoltaico (SFV) para empresa Sumol + Compal Moçambique SA.

### **Objectivos específicos**

- Realizar estudos do actual cenário do Consumo e custo de energia eléctrica da empresa,
- Escolher a melhor hipótese do sistema energético com recurso a energia solar que melhor se adequa aos requisitos da empresa,
- Analisar economicamente o sistema fotovoltaico.

## 2.5 Metodologia

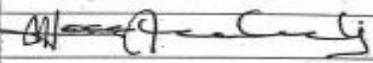
Para elaboração do presente projecto usar-se-á como procedimento metodológico:

- **A Pesquisa bibliográfica** que consistira essencialmente em leitura de manuais, consulta de guias técnicos, normas e regulamentos que regem projectos de sistemas fotovoltaicos, que serão devidamente citados nas referências bibliográficas,
- **Pesquisas experimental** que consistirá essencialmente na recolha de dados e uso de software de simulação,
- **Consulta de supervisores.**

### 3. LOCAL DE REALIZAÇÃO

Moçambique, Maputo Município de Boane empresa Sumol + Compal Moçambique SA

### 4. SUPERVISORES

	Nome	Assinatura
Da UEM	Prof. Doutor Eng <sup>o</sup> . Manuel Cumbi	
Co - Supervisor		
Da Instituição	Responsável de manutenção: José Fernando Pedrosa	



**sumol+compal**

Sumol+Compal Moçambique, SA  
Av. Da Namaacha km 27 Boane  
NUIF: 400339627  
N.º de Entidade Legal 100266725

Maputo, aos 20 de setembro de 2023

O estudante

Eduardo Vasco Wate

(Eduardo Vasco Wate)

O Diretor do Curso

ZEFANIAS JOSÉ MABOTE

(Eng<sup>o</sup>. Zefanias José Mabote)

18.11.2023

O chefe da comissão científica

Jose Nelson Guambe

(Mestre. Eng<sup>o</sup>. José Nelson Guambe)

16/11/2023



FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

**PLANO DE ATIVIDADE ESTAGIO PROFISSIONAL**

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELTLPL33

Data: 21/09/2023

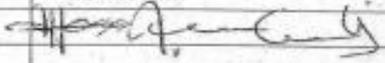
**TÍTULO DO TEMA**

DEMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO(SFV) NA EMPRESA SUMOL+COMPAL MOÇAMBIQUE SA

#	Actividade	Ago.	Set.	Out.	Nov.	OBS
1	Escolha e pesquisa do tema	█				
2	Levantamento bibliográfico	█				
3	Escolha de instrumentos de recolha de dados	█	█			
4	Pesquisa de campo		█	█		
5	Redação da revisão bibliográfica			█		
6	Análise e dados			█	█	
7	Discussão de resultados			█	█	
8	Redação da análise de dados e discussão dos resultados			█	█	
9	Redação das conclusões e referências bibliográficas				█	
10	Revisão e redação final				█	
11	Submissão do relatório final				█	

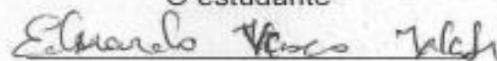
Observações:

**SUPERVISORES**

	Nome	Assinatura
Da UEM	Prof.Doutor Engº. Manuel Cumbi	
Co-supervisor		
Da Instituição	Engº José Fernando Pedrosa	.

Maputo, 21 de setembro de 2023

O estudante



(Eduardo Vasco Wate)



FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

**TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE ESTAGIO PROFISSIONAL**

Declaro que o estudante: Eduardo Vasco Wate entregou no dia 27 /11/2023 as 2 cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com referência: **2023ELEPPL33**

Intitulado: **DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO (SFV) PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA A EMPRESA SUMOL + COMPAL MOÇAMBIQUE SA**

Maputo, 27 de 11 de 2023

O Chefe de Secretaria

Arlete Chiconela

(Dr(a) Arlete Chiconela)

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO (SFV) PARA  
FORNECIMENTO DE ENERGIA A EMPRESA SUMOL + COMPAL MOÇAMBIQUE  
SA**

**Declaração de originalidade**

Declaro que este relatório do projecto de curso nunca foi antes apresentado para obtenção de qualquer grau ou num âmbito e que constitui resultado do meu labor individual. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constada listagem de referência.

Assinatura

Eduardo Vasco Wate

(Eduardo Vasco Wate)

## **Dedicatória**

Este relatório é dedicado a todos os que contribuíram diretamente ou indiretamente para o sucesso da minha formação especialmente aos meus pais, meus irmãos e familiares, dedico também Benjamim Wate minha esposa Eusia Casimiro Siteo.

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos os que contribuíram diretamente ou indiretamente para o sucesso da minha formação especialmente aos meus pais, meus irmãos e familiares, agradeço o esforço empenhado pelo Benjamim Wate minha esposa Eusia Casimiro Siteo, e meus supervisores Prof. Doutor Eng<sup>o</sup>. Manuel Cumbi, e José Fernando Pedrosa assim como toda equipe da manutenção da empresa Sumol + Compal Moçambique

## Resumo

O presente relatório insere-se no âmbito da obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Eléctrica na Universidade Eduardo Mondlane, tendo como foco dar discipção ao dimensionamento de sistema fotovoltaico para empresa Sumol + Compal Moçambique realizado durante o estágio profissional de três meses. Atendendo que o custo da eletricidade tende a aumentar devido variação dos preços de combustíveis fosses assim como da tarifa por cada KWh, procurar soluções sustentáveis para reduzir o custo é cada vez mais prescindível. Foi dimensionado o sistema fotovoltaico a partir do critério de consumo energético onde fez se a leitura de faturas mensais fornecido pela empresa e obteve-se o comportamento da irradiação no local de cerca de 3,17 horas de sol pleno através de programa e simulação online *PVGIS*, com isso foi possível estimar uma potência máxima de geração de 3487Kwp, essa energia será debitado através do sistema de transferência já existente, o sistema deverá ser prioritário sempre que despor de potência suficiente para fornecer as cargas, a integração do sistema irá contribuir em 25% no fornecimento de energia eléctrica da empresa.

**Palavras-chave:** Dimensionamento de sistema fotovoltaico, Sustentabilidade de fontes de energia eléctrica, Redução de custo de energia eléctrica, Sistemas de transferência

## **Lista De Símbolos**

**A** – Ampere

**Hz** – Hertz

**Km** - Quilómetro

**KVA** - Kilo Volt Ampere

**KW**-Kilo watt

**KWh**- Kilo Watt hora

**m** - Metro

**mm** - Milímetro

**s** - Segundo

**V** – Volt

**Wp**-watt-pico

**Ω** – Ohm

# INDICE

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Lista De Símbolos .....	iv
1. Introdução.....	1
1.2 Formulação do Problema .....	2
1.2. Justificativa .....	3
1.3 Objectivos.....	4
Objectivo Geral .....	4
1.4 Metodologia .....	4
2 CAPÍTULO II – SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	5
2.1 GENERALIDADES .....	5
2.1.1 HISTÓRICO.....	5
2.1.2 O RECURSO SOLAR .....	6
2.2.1.1 Características fundamentais.....	6
2.1.3 Tipos de sistemas fotovoltaicas .....	7
2.1.3.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a rede.....	8
2.1.3.2 Sistemas fotovoltaicos autónomos .....	8
<b>2.1.3.3 Sistemas fotovoltaicos Híbrido .....</b>	<b>9</b>
2.1.4 Componentes de sistemas fotovoltaicos .....	10
2.1.4.1 Efeito fotovoltaico .....	10
2.1.4.2 – Características Eléctricas das Células Fotovoltaicas.....	13
2.1.4.2.1 – Curva I-V .....	13
<b>2.1.4.2.2 – Parâmetros eléctricos .....</b>	<b>14</b>
2.1.2.4 – Parâmetros externos que afectam as características eléctricas .....	18
1.2.4.1 – Influência da irradiância solar .....	19
2.1.2.4.2 – Influência da temperatura.....	20
2.1.4.3 Materiais de fabricação das fotocélulas.....	21
2.1.5– Fusíveis de protecção da série fotovoltaica .....	23
2.1.6 Inversor .....	24
2.1.7. Condutores .....	27
<b>2.1.8 Métodos de instalação e configurações .....</b>	<b>28</b>

2.1.8.1 Tipo de sistema de montagem.....	28
<b>2.1.9 Quadro de Transferência Automática (QTA).....</b>	<b>29</b>
2.1.9.1 Disjuntores Termomagnéticos.....	30
2.1.9.2 Contactores.....	31
2.2-Cálculos em sistemas fotovoltaicos.....	32
2.2.1Avaliação de recurso solar.....	32
2.2.2- Avaliação de consumo.....	32
<b>2.2.3-Determinação da potência a gerar.....</b>	<b>32</b>
2.2.4-Determinação de numero de painéis a instalar.....	33
2.2.4.1-Determinação de Tensão de circuito aberto do modulo.....	34
2.2.5-Dimensionamento do inversor.....	34
Determinação da potência do inversor.....	34
2.2.6 Determinação do número máximo de módulos fotovoltaicos por fileira.....	35
2.2.7-Determinação da Voc máx. da string fotovoltaica.....	35
2.2. 8-Determinação do número mínimo de módulos fotovoltaicos por fileira.....	36
2.2.9-Método de cálculo para a tensão de entrada do inversor.....	36
2.2.10-Determinação da configuração do sistema Fotovoltaico.....	37
2.2.11-Número mínimo de módulos por fileira.....	38
2.2.12-Número de fileiras.....	39
<b>2.2.13- Dimensionamento de cabos.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.13.1- Comprimento do cabo [L].....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.13.2 Intensidade de corrente.....</b>	<b>41</b>
2.2.13.3 Quedas de Tensão.....	44
2.2.14-Dimensionamento de contactores.....	45
CAPÍTULO III – PROJECTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO HIBRITO.....	46
3.1 MEMORIA DISCRITIVA E JUSTIFICATIVA.....	46
3.2 - LOCALIZAÇÃO.....	46
3.3-LEGISLAÇÃO APLICÁVEL.....	46
3.4-DESCRIÇÃO.....	47
3.4.1- Característica do Sistema Fotovoltaico.....	47
3.4.2-Módulo fotovoltaico:.....	48
3.4.3 - Estrutura de suporte.....	49
3.4.4 - Cablagem Eléctrica.....	51
3.4.5Cablagem de corrente continua.....	52

3.4.7-Quadros Eléctrico DC .....	52
3.4.8 Inversor .....	54
3.4.9 Quadros Eléctrico AC.....	55
3.4.6- Segurança e Protecção .....	56
3.4.7- Sistema de Ligação à Terra.....	56
3.4.8 - Canalizações Eléctricas .....	57
3.4.9-CAIXAS .....	58
<b>3.5-Calculos justificativos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.1-Avaliação do recurso solar.....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.1.1-Calculo de horas do sol pleno.....</b>	<b>62</b>
3.5.2-Identificação da potência a gerar.....	62
3.5.2.1-Determinação de consumo médio diário.....	62
3.5.2.2-Quantidade de módulos fotovoltaicos.....	63
3.5.3-Potência máxima do sistema fotovoltaico .....	63
3.6-Configuracao do sistema.....	63
3.6.1-Número máximo de painéis FV por fileira .....	63
3.6.2-Número máximo de módulos fotovoltaicos por fileira .....	64
3.6.3-Número mínimo de módulos fotovoltaicos por fileira.....	64
<b>3.6.4-Determinação de número máximo de fileiras ou strings por cada inversor .....</b>	<b>64</b>
<b>3.6.4.1-Determinação da corrente máxima da fileira.....</b>	<b>64</b>
<b>3.6.5-Determinação da tensão de entrada do inversor. ....</b>	<b>65</b>
<b>3.7-Configuração física de arranjos .....</b>	<b>65</b>
<b>3.8-Esquema do inversor .....</b>	<b>66</b>
<b>3.9 - Dimensionamento de cabos.....</b>	<b>67</b>
Estimativa de custo .....	72
<b>Conclusão .....</b>	<b>73</b>
<b>Recomendações .....</b>	<b>74</b>
Bibliografia .....	75

## 1. Introdução

No ano de 1950, a população mundial era estimada em cerca de 2,6 bilhões de pessoas, ao passo que no ano de 1987 a população chegou a 5 bilhões. Em 1999, o número de habitantes era de 6 bilhões e, após se passarem dez anos, a marca de 7 bilhões foi atingida. No ano de 2017, estimou-se cerca de 7,6 bilhões de habitantes no mundo (ONU, 2019).

A rápida expansão do número de habitantes no planeta Terra tem importantes implicações em muitos sectores da vida. Algumas destas implicações podem ser citadas, tais quais: a saúde, o envelhecimento, a urbanização, a demanda por habitação, o abastecimento inadequado de alimentos, o acesso à água potável e à energia. Dentre as questões supracitadas, a energia é destacada pelo fato de ser necessária para a vida do ser humano, a exemplo disso tem-se: acender a luz, bem como preparar refeições, processamento de sinais e mover máquinas industriais. Essa energia é fornecida por meio de um conjunto de fontes disponíveis para suprir a demanda de energia (matriz energética). faz parte da matriz energética, a qual é composta por fontes não renováveis e renováveis, tais fontes utilizam recursos naturais, os quais serão esgotados em curto período de tempo ou mesmo a longo prazo. Em contrapartida, as fontes de energia renováveis são inesgotáveis, devido à constante renovação ao serem utilizadas dentro de um intervalo de tempo significativo. Também, são consideradas limpas por emitir menos gases de efeito estufa se comparadas às fontes fósseis. o desenvolvimento das nações economicamente está intimamente ligado ao consumo e ao preço da energia.

Na verdade, as oscilações que ocorrem no preço da energia influenciam diretamente em todos os subsectores das atividades económicas com grande impacto nos cidadãos, como por exemplo os transportes, os bens alimentares a saúde assim como a indústria. Neste contexto, as indústrias terão que saber gerir a longa e árdua transição para um modelo energético menos dependente do petróleo e dos combustíveis fósseis. É com este diagnóstico de crescentes preocupações geoestratégicas, de subida de preços com o petróleo (e todos os seus derivados) e de limitação de emissões de CO<sub>2</sub> (Protocolo de Quioto), que é impreterível a utilização de outras fontes de energia renováveis como por exemplo a energia eólica e solar fotovoltaica. A Sumol + Compal Moçambique depende

totalmente da rede da EDM para alimentar suas cargas e do Grupo Gerador de emergência em caso de corte no fornecimento, desta forma aumentado o custo de investimento pelo consumo de eletricidade e conseqüentemente o efeito estufa causado pelo grupo gerador Nesta perspectiva, a utilização de tecnologias mais limpas e eficientes, bem como a elaboração de planejamento de políticas energéticas tornam-se ferramentas importantes como forma de melhoria de qualidade do funcionamento da planta e do custo da energia eléctrica.

## **1.2 Formulação do Problema**

A Sumol + Compal Moçambique é uma empresa de processamento de Bebidas não alcoólicas com foco em sumos da marca Compal localizada na província de Maputo no Município de Boane AV. da Namaacha Km 27. Começou suas operações em fevereiro de 2013, sendo bem-recebido pelo mercado nacional, com isso os investidores despertaram outras visões em relação ao mercado nacional, desde lá para dias atuais os investimentos aumentaram tendo conseqüentemente aumentado a carga, ou seja, a potência instalada. A Sumol + Compal Moçambique atualmente 100% das suas necessidades energéticas dependem da concessionaria EDM, e do grupo gerador de emergência sendo essas fontes principais causadores do efeito estufa. Com o atual ritmo de crescimento a dependência de fornecimento de energia eléctrica por essas fontes trará um prejuízo considerável nos próximos anos. A Sumol + Compal Moçambique tem uma carga estimada em 575 KVA dividido em cargas principais da planta, cargas auxiliares, cargas de área administrativa e serviços gerais, com aquisição de novas maquinas a carga tende a aumentar, o que significa o aumento da fatura pelo consumo de eletricidade e do efeito estufa produzido pelo grupo gerador de emergência. Reduzir os custos da fatura de eletricidade e do consumo de combustível é uma das preocupações da administração pois a energia eléctrica é fundamental para o funcionamento normal da planta fabril assim como para toda empresa.

**Como reduzir o custo de energia eléctrica e efeito estufa da empresa Sumol + Compal Moçambique?**

## 1.2. Justificativa

O presente tema é motivado pela necessidade de desenvolver um projecto de uma fonte alternativa fotovoltaica para alimentar a empresa Sumol + Compal Moçambique, afim de reduzir o custo da fatura de energia eléctrica devido a dependência do fornecimento de energia eléctrica pela concessionaria da Eletricidade de Moçambique (EDM), e redução do efeito estufa causado pelo funcionamento de grupo gerador de emergência por longos período do dia, uma vez que esses grupo gerador de emergência utilizam os combustíveis fósseis como fonte principal, que por sua vez causam negativos impactos sócio ambientais ao liberarem gases de efeitos de estufa na Terra e, por consequência, contribuem para o aquecimento global e para as mudanças climáticas. Vale evidenciar que a utilização da energia vinda do sol tem ganhado mais força, no que diz respeito à geração de energia eléctrica de forma sustentável. Esta importância se dá pelo facto desses sistemas serem silenciosos, por não emitirem poluentes ao meio ambiente, além de não prejudicarem o ecossistema. Outra grande relevância em se utilizar os sistemas fotovoltaicos é a redução do custo de produção de energia e economia com a conta de energia eléctrica, além de uma possível independência do fornecimento de energia eléctrica pela distribuidora de energia eléctrica. Moçambique concretamente Maputo província, Município de Boane possui boa disponibilidade de recurso energético solar. Por este motivo, pensou-se na necessidade de se contribuir com o aumento da participação da fonte solar na matriz energética da empresa Sumol+ Compal Moçambique, por meio do Projecto de sistema fotovoltaico (SFV).

## 1.3 Objectivos

### Objectivo Geral

- Dimensionar sistema fotovoltaico (SFV) para empresa SUMOL + COMPAL MOÇAMBIQUE SA

### Objectivos específicos

- Realizar estudos do actual cenário do consumo e custo de energia eléctrica da empresa,
- Escolher a melhores hipóteses do sistema energético com recurso a energia solar que melhor se adequa aos requisitos da empresa,
- Analisar economicamente o sistema fotovoltaico

## 1.4 Metodologia

- **Pesquisa bibliográfica**- que consistira essencialmente em leitura de manuais, consulta de guias técnicos, normas e regulamentos que regem projecto de sistemas fotovoltaicos, que serão devidamente citados nas referências bibliográficas.
- **Levantamento de consumo de energia eléctrica** - que consiste na obtenção de consumo de energia eléctrica da empresa através de leitura de faturas fornecido pela empresa
- **Levantamento de comportamento de incidência de radiação local** - que consiste na obtenção da radiação local através de programas de simulação PVGIS
- **Consulta aos supervisores** – que consiste em obtenção de informação da empresa e de estratégias de implementação de projeto

## **2 CAPÍTULO II – SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

### **2.1 GENERALIDADES**

O objectivo deste capítulo é de trazer uma abordagem teórica referente aos sistemas fotovoltaicos, bem como apresentar de forma sintética, os processos e cálculos envolvidos nos projecto dos sistemas fotovoltaicos.

Entre os diversos sistemas que utilizam fontes de energia renovável, a energia solar fotovoltaica é promissora devido às qualidades intrínsecas do próprio sistema pois possui custos de serviço muito reduzidos (o combustível é gratuito) e requisitos de manutenção limitados, é confiável, silenciosa e fácil de instalar. Além disso, a energia solar fotovoltaica, em algumas aplicações não conectadas à rede eléctrica, é definitivamente conveniente em comparação com outras fontes de energia, especialmente em locais cujo acesso da eletrificação tradicional é difícil e dispendioso (MESSENGER & VENTRE, 1996).

#### **2.1.1 HISTÓRICO**

O conhecimento do efeito fotovoltaico remonta ao século XIX, quando em 1839 Becquerel demonstrou a possibilidade de conversão da radiação luminosa em energia eléctrica mediante a incidência de luz em um eléctrodo mergulhado em uma solução de electrólito. Esse mesmo efeito é observado num sólido, o selénio, em 1877 por Adams e Day na Inglaterra. Em 1883 aparece a primeira célula solar produzida com selénio, com eficiência de conversão de aproximadamente 1%. Já neste século, na década de 30, os trabalhos de diversos pioneiros da física do estado sólido, como Lange, Grondahl e Schottkl, apresentaram importantes contribuições para se obter uma clara compreensão do efeito fotovoltaico em junção do estado sólido. Em 1941, Ohl obtém a primeira fotocélula de silício monocristalino. No ano de 1949, Billing e Plessnar medem a eficiência de fotocélulas de silício cristalino, ao mesmo tempo em que a teoria da junção P-N de Shockely é divulgada. É, porém, apenas em 1954 que surge a fotocélula de silício com as características semelhantes às encontradas hoje com eficiência de 6%. O ano de 1958 marca o início, com grande sucesso, da utilização de fotocélulas nos programas espaciais, sendo este o principal uso das células solares até o final da década de 70.

Grande impulso foi dado à utilização terrestre da geração fotovoltaica a partir da crise mundial de energia em 1973/1974. A partir do fim da década de 70, o uso terrestre supera o uso espacial, sendo que esta diferença tem aumentado grandemente. Este uso crescente vem sendo acompanhado por inovações que permitem o aumento da eficiência de conversão de energia das fotocélulas, bem como uma significativa redução de seus custos. O problema da eficiência de conversão e custo de material, e ainda o grande conhecimento adquirido pela teoria física das células têm impulsionado a pesquisa de células solares produzidas com materiais diferentes do silício monocristalino. Atualmente são estudados e mesmo utilizados o silício policristalino e amorfo, o arsenito de gálio e o sulfeto de cádmio, dentre outros. No entanto, o conhecimento da tecnologia que emprega o silício, em particular o monocristal e a abundância da matéria-prima que lhe dá origem, tem sido as razões mais importantes que tornaram o silício o material predominante no processo de desenvolvimento tecnológico.

## **2.1.2 O RECURSO SOLAR**

O sol é, sem dúvidas, uma fonte de energia renovável de grande potencial e é possível recorrer a ele com total respeito pelo meio ambiente. Basta pensar que, o tempo todo, a superfície do hemisfério terrestre exposta ao sol recebe uma potência que ultrapassa os 50 mil TW; a quantidade de energia solar que chega ao solo terrestre é enorme, cerca de 10 mil vezes a energia utilizada no mundo inteiro.

### **2.2.1.1 Características fundamentais**

A transmissão da energia do Sol para a Terra se dá através da radiação eletromagnética, sendo que 97% da radiação solar está contida entre comprimentos de onda de 0,3 a 3,0  $\mu\text{m}$ , o que caracteriza como uma radiação de ondas curtas. Para a análise da radiação na superfície terrestre é importante o conhecimento da intensidade da radiação e de sua composição. A radiação solar incidente no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até o solo devido as

flutuações climáticas. A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é a soma das componentes directa, difusa e reflectida (figura 1).

- **Radiação direta** é a radiação proveniente directamente do disco solar e que não sofreu nenhuma mudança de direção além da provocada pela refração atmosférica.
- **Radiação difusa** é aquela recebida por um corpo após a direção dos raios solares ter sido modificada por reflexão ou espalhamento na atmosfera.
- **Radiação reflectida** depende das características do solo e da inclinação do equipamento captador.

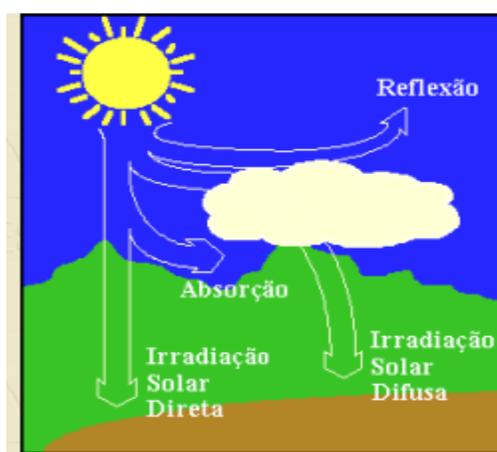


Figura 1: Forma de incidência da radiação solar na superfície  
Fonte: (MESSENGER & VENTRE, 1996)

Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra variam com as estações do ano, devido principalmente à inclinação do seu eixo de rotação em relação ao plano da órbita em torno do Sol. Variam também com a região, devido principalmente às diferenças de latitude, condições meteorológicas e altitudes.

### 2.1.3 Tipos de sistemas fotovoltaicas

Os sistemas fotovoltaicos podem ser muito simples, formados por apenas um módulo fotovoltaico e carga.

No entanto, dependendo da configuração do sistema, podemos diferenciar os três principais tipos de sistemas fotovoltaicos: (ABB, 2018)

### 2.1.3.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a rede

**Os sistemas conectados à rede eléctrica (também chamados de On Grid ou Utility Interactive System):** esse tipo de sistema fotovoltaico está sempre conectado à rede eléctrica. A potência que o gerador fotovoltaico produz é convertida de CC para CA pelo inversor e, em seguida, a energia é fornecida à rede eléctrica. Em momentos em que não há luz solar, as cargas consomem a electricidade da rede eléctrica.

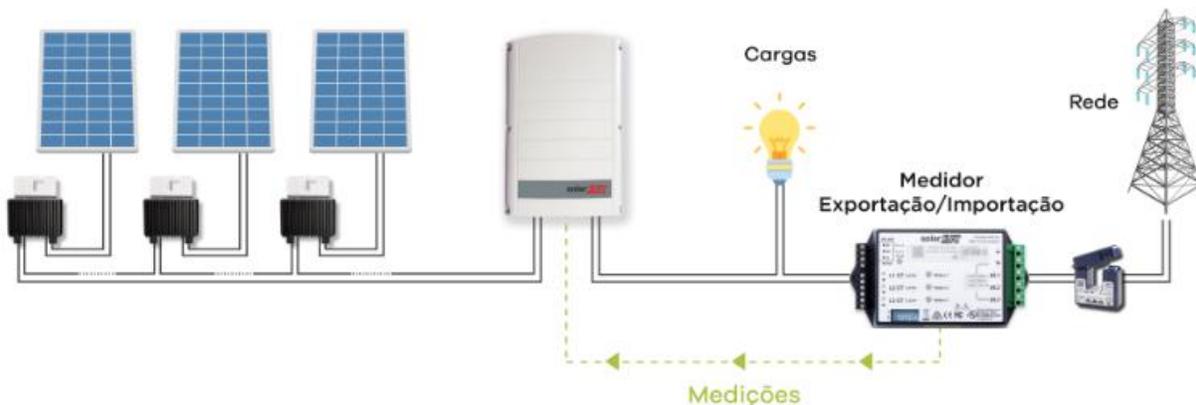


Figura 2: Sistema fotovoltaico conectado a rede

Fonte: (Solar, 2023)

### 2.1.3.2 Sistemas fotovoltaicos autónomos

**Sistema fora da rede (também chamado de Sistema Autónomo):** os sistemas solares fora da rede ou autónomos não são conectados à rede eléctrica. O sistema fotovoltaico produz electricidade, que é armazenada em bancos de baterias. à noite, essa electricidade armazenada é utilizada para fornecer energia. Os sistemas autónomos são comuns em áreas remotas onde não há electricidade nem acesso à rede eléctrica.

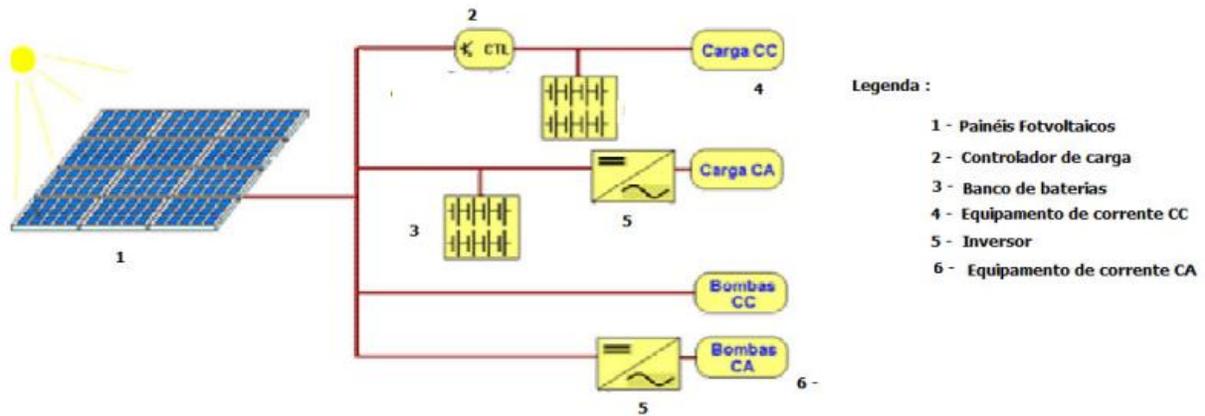


Figura 3: Sistema fotovoltaico autónomo

Fonte: (Solar, 2023)

### 2.1.3.3 Sistemas fotovoltaicos Híbrido

**Sistema solar híbrido:** os sistemas solares híbridos são configurados para possuir uma chave seccionador automática, que pode ligar ou desligar, dependendo dos requisitos de eletricidade da micro rede onde os sistemas fotovoltaicos estão conectados.

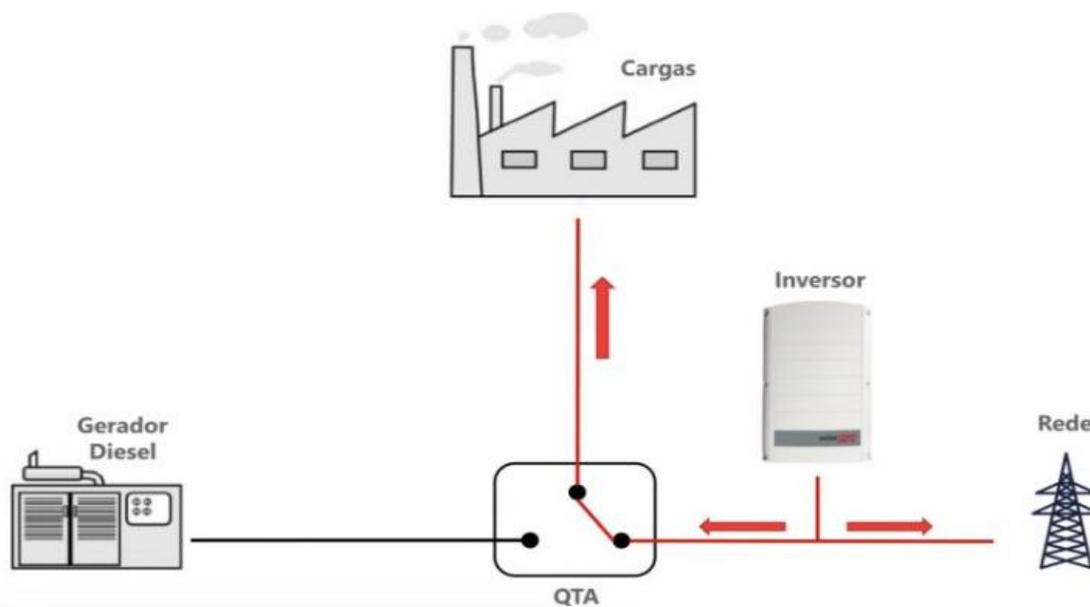


Figura 4: Sistema fotovoltaico Híbrido

Fonte: (ABB, 2018)

## 2.1.4 Componentes de sistemas fotovoltaicos

### Gerador fotovoltaico

A célula fotovoltaica é o dispositivo fotovoltaico mais fundamental. Um módulo fotovoltaico é um grupo de células fotovoltaicas interconectadas e protegidas contra as intempéries. Os arranjos fotovoltaicos são conjuntos mecânicos e eléctricos de módulos fotovoltaicos (um arranjo fotovoltaico inclui todos os componentes até os terminais de entrada de CC do inversor ou outros equipamentos de conversão de potência ou mesmo cargas de CC). O gerador fotovoltaico utiliza o efeito fotovoltaico para converter a luz solar em electricidade e é representado pelo arranjo fotovoltaico em um sistema fotovoltaico. (ABB, 2018)

#### 2.1.4.1 Efeito fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão directa da luz em electricidade através do efeito fotovoltaico. Existem na natureza materiais classificados como **semicondutores**, que se caracterizam por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por eletrões e uma banda de condução totalmente vazia à temperaturas muito baixas. A figura 5 ilustra a formação de uma célula fotovoltaica. A separação entre as duas bandas de energia permitida nos semicondutores (gap de energia) é da ordem de 1eV, o que os diferencia dos isolantes onde o gap é de vários eVs. Isto faz com que os semicondutores apresentem várias características interessantes. Uma delas é o aumento de sua condutividade com a temperatura, devido à excitação térmica de portadores da banda de valência para a banda de condução. Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons, na faixa do visível, com energia superior ao gap do material, excitarem eletrões à banda de condução. Este efeito, que pode ser observado em semicondutores puros, também chamados de intrínsecos, não garante por si só o funcionamento de células fotovoltaicas. Para obtê-las é necessária uma estrutura apropriada para que os eletrões excitados possam ser coletados, gerando corrente útil.

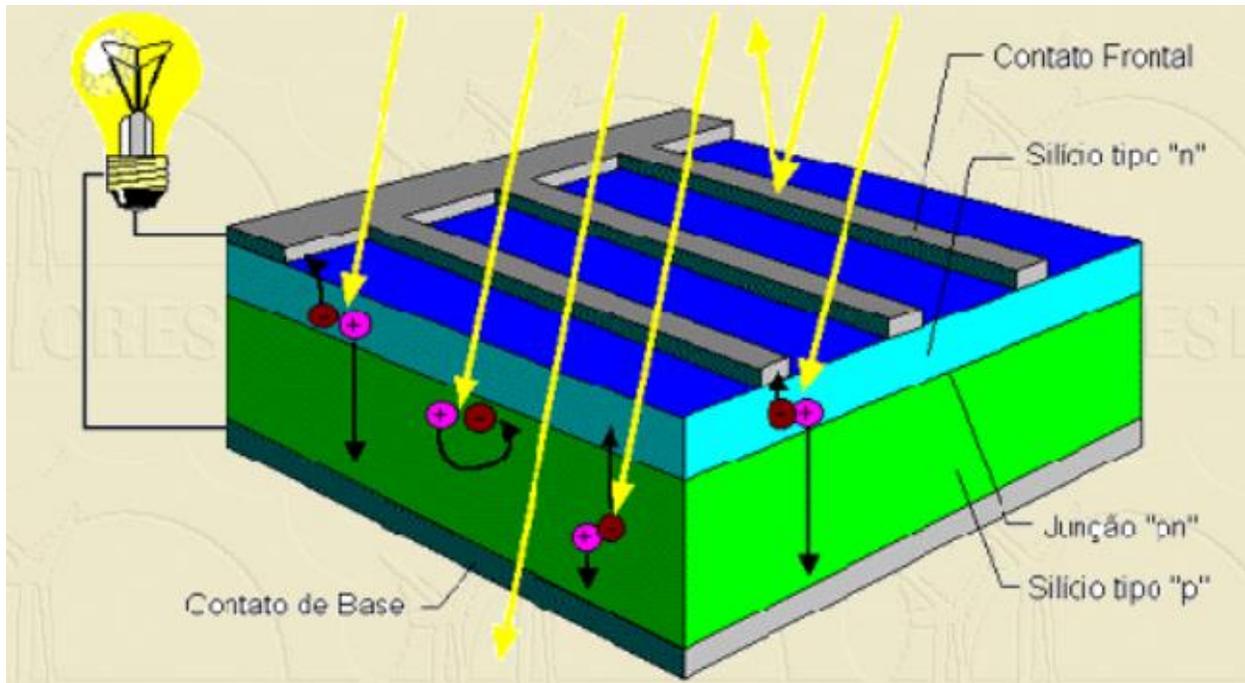


Figura 5: Composição de uma célula fotovoltaica

Fonte: (Solar, 2023)

O semiconductor mais utilizado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons de ligação que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará sobrando, fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n. Se, por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p. À temperatura ambiente, existe energia térmica suficiente para que praticamente todos os elétrons em excesso dos átomos de fósforo estejam livres, bem como que os buracos criados pelos átomos de boro possam se deslocar. Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e átomos de fósforo

na outra, será formado o que se chama de junção PN (figura 6). O que ocorre nesta junção é que os elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna electricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo eléctrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo eléctrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n.

A figura 6 mostra a variação do campo eléctrico na direção PN perpendicular à Junção pn.

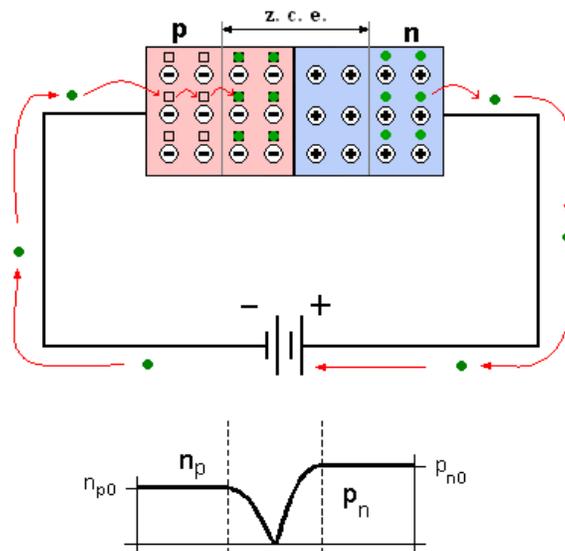


Figura 6 – variação do campo eléctrico na direção PN perpendicular à Junção PN  
 Fonte: (Solar, 2023).

Se uma junção PN, como o da figura acima, for exposta a fotões com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo eléctrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de **Efeito Fotovoltaico**.

## 2.1.4.2 – Características Eléctricas das Células Fotovoltaicas

### 2.1.4.2.1 – Curva I-V

A corrente eléctrica em uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma da corrente de uma junção pn no escuro (diodo semiconductor) com a corrente gerada pelos fótons absorvidos da radiação solar. Esta corrente em função da tensão no dispositivo, denominada de curva I-V ou curva característica, pode ser descrita pela seguinte equação, derivada da **Equação de Shockley**, do díodo ideal

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Onde:

$I_L$  - Corrente fotogerada (A);

$I_0$  - Corrente de saturação reversa do diodo (A);

$n$  Factor de idealidade do diodo, número adimensional geralmente entre 1 e 2, obtido por ajuste de dados experimentais medidos;

$q$  – Carga do elétron ( $1,6 \times 10^{-19}$  C);

$k$  – Constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K);

$T$  – Temperatura absoluta (K).

Os principais parâmetros eléctricos estão destacados.  $I_{SC}$  é a corrente eléctrica de curto-circuito,  $V_{OC}$  é a tensão de circuito aberto,  $PMP$  é a potência máxima ou de pico e  $IMP$  e  $VMP$  são, respectivamente, a corrente e a tensão no ponto de potência máxima.

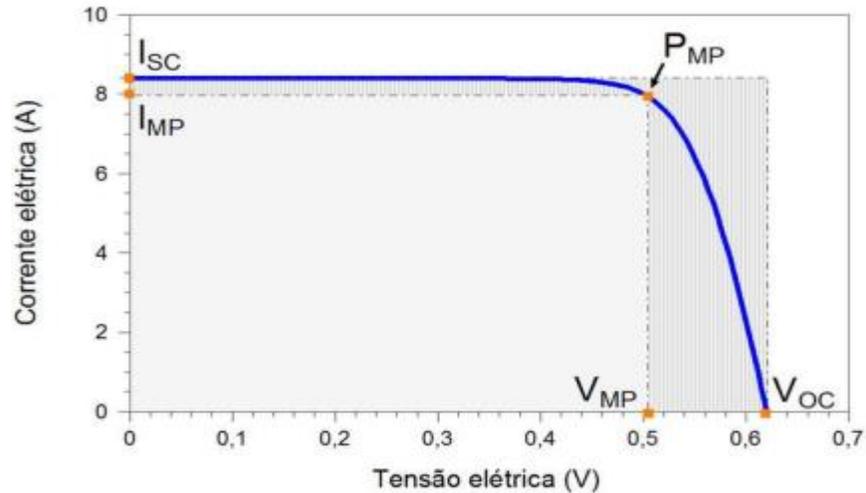


Figura 7 - Corrente eléctrica em função da diferença de potencial aplicada em uma célula fotovoltaica, sob condições-padrão de ensaio.

Fonte: (MESSENGER & VENTRE, 1996)

#### 2.1.4.2.2 – Parâmetros eléctricos

A partir da curva I-V mostrada na Figura 7, podem ser determinados os parâmetros eléctricos que caracterizam as células ou módulos fotovoltaicos: tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, factor de forma e eficiência, descritos a seguir.

**Tensão de circuito aberto (Voc):** é a tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente eléctrica circulando e é a máxima tensão que uma célula fotovoltaica pode produzir. Pode ser medida directamente com um voltímetro nos terminais do módulo. Voc depende da corrente de saturação ( $I_0$ ), da corrente eléctrica foto gerada ( $I_L$ ) e da temperatura, de acordo com a equação abaixo.

$$V_{OC} = \frac{K \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (2)$$

Por depender da corrente de saturação ( $I_0$ ), Voc está relacionada com a recombinação dos portadores de carga minoritários no dispositivo.

O valor de Voc varia conforme a tecnologia utilizada nas células: c-Si (0,5 V – 0,7 V), CdTe (0,857 V), a-Si (0,886 V), DSSC (0,744 V), InGaP/GaAs/InGaAs (3,014 V).

**Corrente de curto-circuito (Isc):** é a máxima corrente que se pode obter e é medida na célula fotovoltaica quando a tensão eléctrica em seus terminais é igual a zero. Pode ser medida com um amperímetro curto-circuitando os terminais do módulo.

Isc depende da área da célula fotovoltaica, da irradiância solar e de sua distribuição espectral, das propriedades ópticas e da probabilidade de colecta dos pares elétron-lacuna formados. A densidade de corrente de curto-circuito (Jsc) é calculada dividindo-se Isc pela área do dispositivo.

Valores da densidade de corrente variam conforme a tecnologia empregada, tais como: c-Si (38 mA/cm<sup>2</sup> – 42,7 mA/cm<sup>2</sup>), CdTe (26,95 mA/cm<sup>2</sup>), a-Si (16,75 mA/cm<sup>2</sup>), InGaP/GaAs/InGaAs (14,57 mA/cm<sup>2</sup>), DSSC (22,47 mA/cm<sup>2</sup>).

**Fator de forma (FF):** é a razão entre a máxima potência da célula e o produto da corrente de curto circuito com a tensão de circuito aberto. O FF é definido pela equação:

$$FF = \frac{V_{MP} \cdot I_{MP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (3)$$

Quanto menores forem as perdas resistivas (série e paralelo), mais próxima da forma retangular será a curva I-V. Valores de FF dependem da tecnologia usada, como por exemplo: c-Si (80,9% – 82,8%), CdTe (77%), a-Si (67,8%), DSSC (71,2%), InGaP/GaAs/InGaAs (86%).

**Eficiência (η):** é o parâmetro que define quão efetivo é o processo de conversão de energia solar em energia eléctrica. Representa a relação entre a potência eléctrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente e pode ser definida como segue:

$$\eta = \frac{I_{SC} \cdot V_{OC}}{A \cdot G} \cdot 100\% = \frac{P_{MP}}{A \cdot G} \cdot 100\% \quad (4)$$

Onde:

A [m<sup>2</sup>] é a área da célula e

G [W/m<sup>2</sup>] é a irradiância solar incidente.

A unidade da potência da célula e do módulo fotovoltaico é o Wp (watt-pico), que é associada às condições-padrão de ensaio (STC). As melhores eficiências de células são mostradas na Tabela 1.

A partir dos dados da curva I-V, pode ser determinada a curva da potência em função da tensão, denominada curva P-V, conforme a curva na cor vermelha da Figura 8, onde se destaca o ponto de máxima potência (PMP), como sendo aquele no qual a sua derivada em relação à tensão é nula.

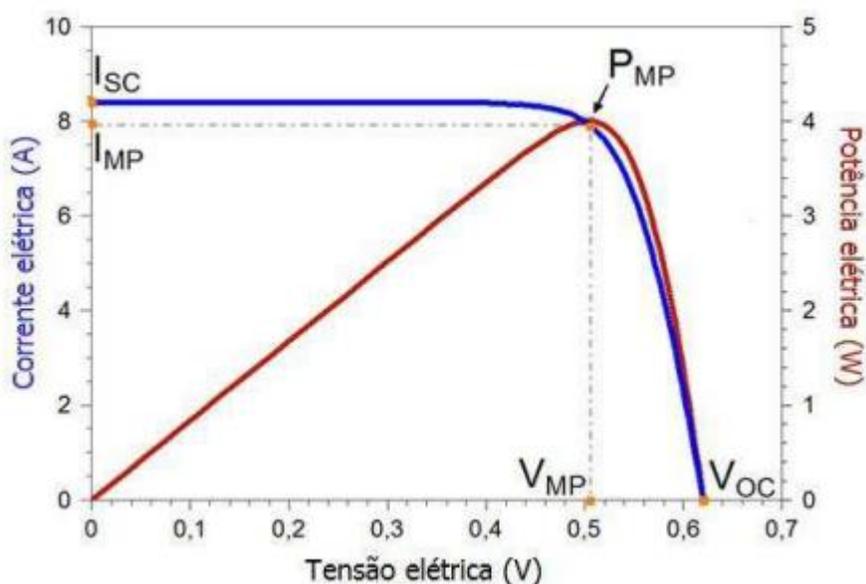


Figura 8 - Potência eléctrica em função da tensão eléctrica de uma célula fotovoltaica, sob condições-padrão de ensaio.

Fonte: (CRESESB)

### Associações de células e módulos fotovoltaicos

Os Dispositivos fotovoltaicos podem ser associados em série e/ou em paralelo, de forma a se obter os níveis de corrente e tensão desejados. Tais dispositivos podem ser células, módulos ou arranjos fotovoltaicos. Os arranjos são constituídos por um conjunto de módulos associados electricamente em série e/ou paralelo, de forma a fornecer uma saída única de tensão e corrente.

## Associação em série

Na conexão em série, o terminal positivo de um dispositivo fotovoltaico é conectado ao terminal negativo do outro dispositivo, e assim por diante. Para dispositivos idênticos e submetidos à mesma irradiância, quando a ligação é em série, as tensões são somadas e a corrente eléctrica não é afetada, ou seja:  $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$ ,  $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ . In Este resultado está ilustrado na Figura 9, por meio da característica I-V. Se os dispositivos são idênticos e encontram-se sob as mesmas condições de irradiância e temperatura, então, as correntes eléctricas individuais são iguais. No caso de se associarem os dispositivos em série com diferentes correntes de curto-circuito, a corrente eléctrica da associação será limitada pela menor corrente. Entretanto, a associação de módulos de correntes diferentes não é recomendada na prática, pois pode causar superaquecimento.

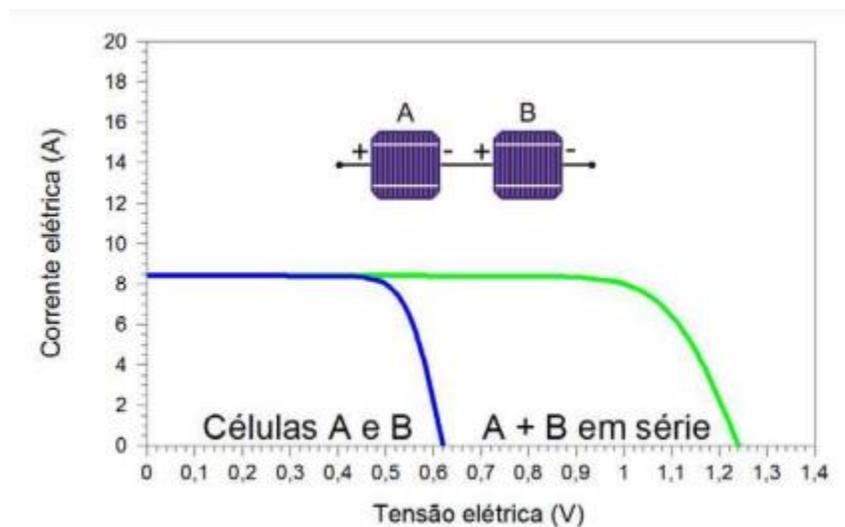


Fig 9: Associação em série de módulos fotovoltaicos

Fonte: (CRESESB)

## Associação em paralelo

Na associação em paralelo, os terminais positivos dos dispositivos são interligados entre si, assim como os terminais negativos. A Figura 3.16 (b) ilustra o resultado da soma das correntes eléctricas em células ideais conectadas em paralelo. As correntes eléctricas são somadas, permanecendo inalterada a tensão. Ou seja:  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$  (3.16)  $V = V_1 = V_2 = \dots = V$

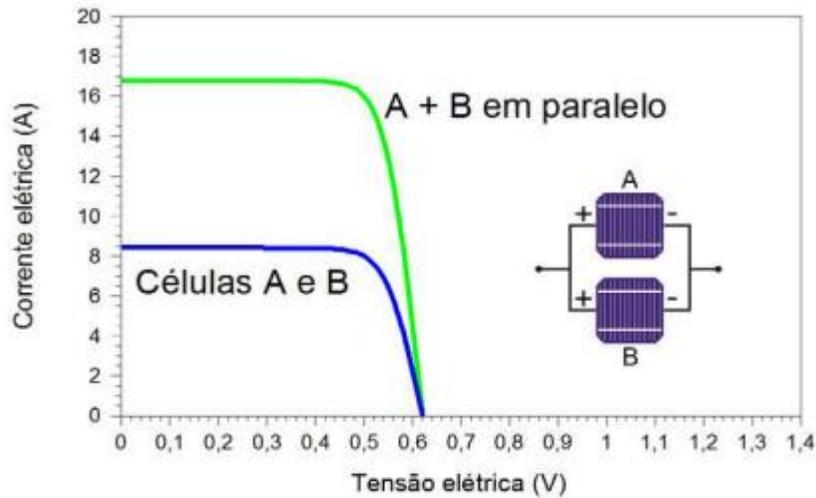


Fig 10: Associação em paralelo de módulos fotovoltaicos

Fonte: (CRESESB)

#### 2.1.2.4 – Parâmetros externos que afectam as características eléctricas

O desempenho das células fotovoltaicas é influenciado pela irradiância incidente e sua distribuição espectral, bem como pela temperatura de operação da célula, inclusive em condições de irradiância de até 1 sol (ou 1 X), que corresponde a 1.000 W/m<sup>2</sup>. Em condições de concentração da radiação solar, o que implica na utilização de dispositivos ópticos (lentes ou espelhos) para obtenção de níveis de irradiância superiores aos naturais, a eficiência das células fotovoltaicas pode aumentar, se a temperatura for controlada. Nos casos de alta irradiância, a resistência série ( $R_s$ ) torna-se um factor que pode reduzir a eficiência, se a célula fotovoltaica não for projectada para essas condições. Por outro lado, quando incidem baixos valores de radiação solar, a resistência paralela ( $R_p$ ) pode reduzir ainda mais a potência eléctrica gerada. Ressalta-se que a eficiência do módulo não deve ser utilizada como indicador de qualidade do mesmo. A escolha de um módulo fotovoltaico deve se basear em diversos factores, como, custo, durabilidade, reputação do fabricante etc. Em princípio, a eficiência não deve nortear a escolha do módulo a não ser que a área disponível para instalação do painel fotovoltaico seja um factor restritivo.

A Tabela 1 apresenta as potências médias por unidade de área no estágio actual do desenvolvimento de módulos fotovoltaicos de várias tecnologias.

Tabela1: potencia media por unidade de área

Tecnologia	Potência/área (W <sub>p</sub> /m <sup>2</sup> )
Si monocristalino - m-Si	150
Si policristalino - p-Si	135
Si amorfo - a-Si	85
Disseleneto de Cobre-Índio (e Gálio) - CI(G)S	100
Telureto de Cádmio - CdTe-	110

Fonte: (CRESESB)

#### 1.2.4.1 – Influência da irradiância solar

A Figura 11 mostra como a irradiância solar incidente afeta a curva I-V de uma célula fotovoltaica de silício, mantida na temperatura de 25 °C. A corrente eléctrica gerada por uma célula fotovoltaica aumenta linearmente com o aumento da irradiância solar incidente, enquanto que a tensão de circuito aberto (Voc) aumenta de forma logarítmica (pela Equação 3.11), se mantida a mesma temperatura. A I<sub>sc</sub> de uma célula (e de um módulo) pode ser relacionada à irradiância incidente pela Equação 5

$$I_{SC} = I_{SC\ STC} \times \frac{G}{1000} \quad (5)$$

Onde: I<sub>sc</sub> (A) – corrente de curto-circuito do módulo, para a irradiância G e uma temperatura de 25 °C; I<sub>sc-stc</sub> (A) – corrente de curto circuito do módulo nas STC; G (W/m<sup>2</sup>) – irradiância incidente sobre o módulo; 1000 (W/m<sup>2</sup>) – irradiância nas STC.

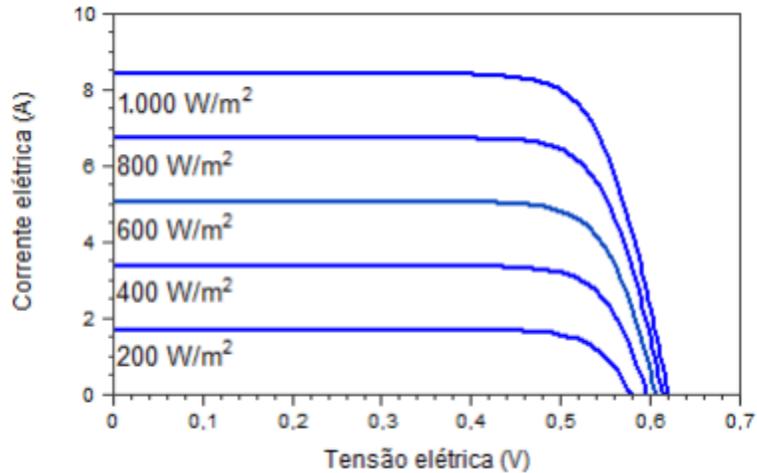


Fig 11: Irradiância solar incidente afeta a curva I-V de uma célula fotovoltaica

Fonte: (CRESESB)

#### 2.1.2.4.2 – Influência da temperatura

As variações da irradiância solar incidente e da temperatura ambiente afetam a temperatura de operação das células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos. A Figura 12 mostra curvas I-V para diversas temperaturas da célula fotovoltaica, com irradiância de 1.000 W/m<sup>2</sup>. O aumento da irradiância incidente e/ou da temperatura ambiente produz um aumento da temperatura da célula e, conseqüentemente, tende a reduzir a sua eficiência. Isto se deve ao fato de que a tensão da célula diminui significativamente com o aumento da temperatura, enquanto que sua corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível. Em uma célula de silício cristalino, um aumento de 100 °C na temperatura produz uma variação da ordem de -0,2 V (-30%) em VOC e de +0,2% em ISC. Determinados módulos fotovoltaicos de filmes finos apresentam uma menor influência da temperatura na potência de pico, embora também sofram redução no seu desempenho. (Planning and Installing Photovoltaic System, 2025)

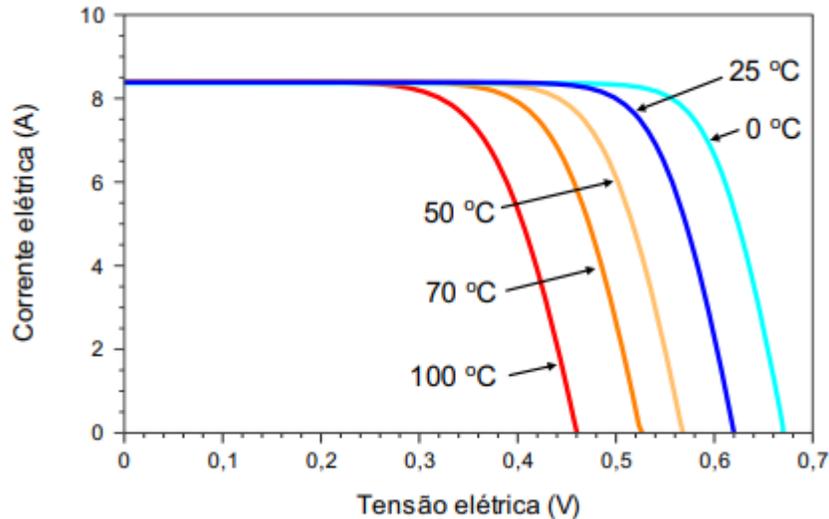


Fig 12: Curvas I-V para diversas temperaturas da célula fotovoltaica, com irradiância de 1.000 W/m<sup>2</sup>  
 Fonte: (CRESESB)

### 2.1.4.3 Materiais de fabricação das fotocélulas

Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são os mais sensíveis, ou melhor, aqueles que geram o maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela da energia fornecida pelos raios solares está dentro da faixa visível do espectro. Existe todo um processo para que o material semicondutor se transforme realmente em uma célula fotovoltaica. O que ocorre, de uma maneira geral, é que o semicondutor deve passar por uma etapa de purificação e, e, seguida, por um processo de dopagem, através da introdução de impurezas, dosadas na quantidade certa. (Planning and Installing Photovoltaic System, 2025)

Os principais tipos de células fotovoltaicas são:

**Silício (Si) Monocristalino**-É o mesmo material utilizado na fabricação de circuitos integrados para microeletrônica. As células feitas com este material são historicamente as mais utilizadas e comercializadas como conversor directo de energia solar em electricidade. As células são formadas em fatias de um único grande cristal, previamente crescido e enfeitado. A grande experiência na sua fabricação e pureza do material garante alta confiabilidade do produto e altas eficiências. Enquanto o limite teórico de conversão da luz solar em energia eléctrica, para esta tecnologia é de 27%, valores nas

faixas de 12 a 16% são encontrados em produtos comerciais. Devido às quantidades de material utilizado e à energia envolvida na sua fabricação, esta tecnologia apresenta sérias barreiras para a redução de custos, mesmo em grandes escalas de produção.

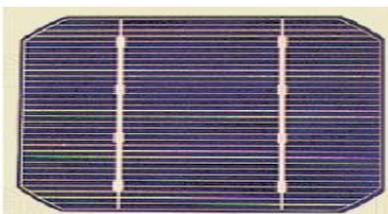


Fig 13: célula de silício monocristalina

Fonte: (CRESESB)

**Silício (si) Policristalino** - Estas células são fabricadas a partir do mesmo material que, ao invés de formarem um único grande cristal, é solidificado em forma de um bloco composto de muitos pequenos cristais. A partir deste bloco são obtidas fatias e fabricadas as células. A presença de interfaces entre os vários cristais reduz um pouco a eficiência destas células. Na prática, os produtos disponíveis alcançam eficiências muito próximas das oferecidas em células monocristalinas.

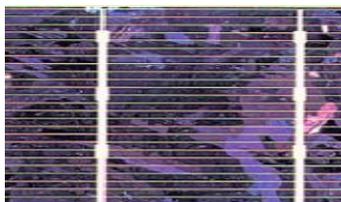


Fig 14: célula de silício Polocristalina

Fonte: (CRESESB)

**Filmes finos** – Pesquisas têm sido feitas no intuito de fabricar células confiáveis, utilizando pouco material semiconductor, obtido de forma passível de produção em larga escala, resultando em um custo mais baixo do produto e conseqüentemente da energia gerada. Estas pesquisas têm se dirigido a diferentes materiais semicondutores e técnicas de deposição destes em camadas finas com espessura de poucos microns. Entre os materiais mais estudados estão o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), o desselem-to de cobre e índio (CIS) e o telureto de cádmio (CdTe). O material amorfo difere de um

material cristalino pelo fato de não apresentar qualquer ordenamento no arranjo estrutural dos átomos. As células feitas com este material possuem eficiências inferiores às das células de silício cristalino. A eficiência deste tipo de célula já atingiu 13% em laboratório. Porém, as células comerciais apresentam eficiências em torno de 9%. É a célula mais pesquisada atualmente e a que possui um preço mais baixo devido ao seu processo mais simples de fabricação.

**Arseniato de Gálio (GaAs)** – É um exemplo de semicondutor composto e possui uma estrutura similar à do silício. É muito focado como componente em células de multijunção, particularmente visando o uso de concentradores. A sua aplicação está mais limitada aos sistemas concentradores e ou espaciais. Células deste tipo operando sem concentração atingem, em laboratório, eficiência de 26% e 28% com concentração. Células comerciais são obtidas com eficiência de 20%. Dados que mostram a evolução obtida nas eficiências dos diversos tipos de células atualmente utilizadas, demonstram que existe uma crença de que as eficiências dos módulos fotovoltaicos atingirão valores cada vez maiores nos próximos anos. Analisando o comportamento do mercado sob o ponto de vista tecnológico, nota-se que existe uma tendência de que a produção mundial de módulos fotovoltaicos seja dominada pelas tecnologias de silício cristalino e silício amorfo.

### **2.1.5– Fusíveis de protecção da série fotovoltaica**

O fusível fotovoltaico é um componente de protecção que tem a função de proteger a série fotovoltaica (em inglês, string) do fluxo de corrente reversa de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. Deve ser dimensionado para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. Controlador de Carga, os fusíveis devem ser colocados na saída de cada série tanto no polo positivo quanto no polo negativo. O fusível deve ser para corrente contínua, de preferência do tipo gPV (conforme IEC 60269- 6), que é apropriado para operação em sistemas fotovoltaicos pois apresenta alta durabilidade. Ao longo dos anos, vem se observando que os díodos de bloqueio apresentam alto índice de falhas, prejudicando o desempenho do sistema. O

fusível fotovoltaico é um componente de protecção que pode substituir o díodo de bloqueio. A Figura 15 apresenta o diagrama de um arranjo com 4 séries fotovoltaicas conectadas em paralelo. Para cada conjunto série instalam-se dois fusíveis fotovoltaicos, um em cada polaridade.

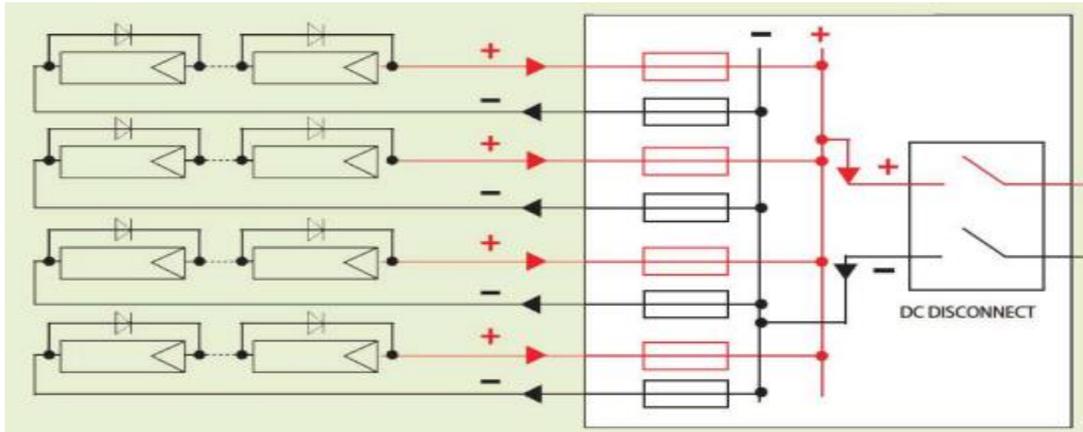


Fig 15: Protecção de módulos fotovoltaicos

Fonte: (ABB, 2018)

### 2.1.6 Inversor

O inversor é o equipamento que converte a corrente contínua em alternada e controla a qualidade da potência de saída que será fornecida à rede eléctrica ou a carga dependendo da configuração (ABB, 2018)

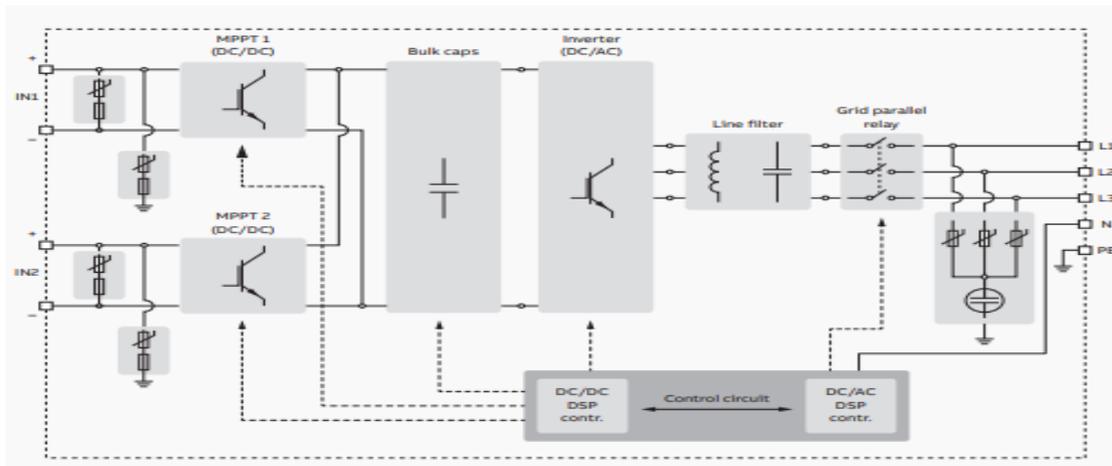


Fig 16: Configuração do inversor solar

Fonte: (ABB, 2018)

## **Principais partes que compõem os inversores**

**MPPT (Rastreador do ponto de potência máxima):** é um circuito (geralmente um conversor CC a CC) utilizado nos inversores fotovoltaicos com o objectivos de maximizar a energia disponível do gerador fotovoltaico a qualquer momento durante a sua operação. A potência fornecida pelo gerador fotovoltaico depende do ponto onde ele opera. Os controladores podem adotar várias estratégias para otimizar a saída de potência do gerador fotovoltaico. O MPPT pode implementar diversos algoritmos (por exemplo perturbar e observar, varredura de corrente, condutância incremental, tensão constante, etc.) e alternar entre eles com base nas condições operacionais do gerador fotovoltaico.

**Capacitores de grande porte:** os capacitores de grande porte são utilizados para evitar que as correntes de ondulação retornem à fonte de alimentação de CC e para suavizar as variações de tensão do barramento CC. Também são utilizados para proteger os IGBTs.

**Inversor CC/CA:** o inversor é um circuito que converte uma alimentação CC em CA na tensão e frequência de saída desejadas. A conversão pode ser realizada através de dispositivos de activação e desactivação (por ex., IGBT). A forma de onda da tensão de saída de um inversor ideal deve ser sinusoidal. No entanto, as formas de onda da tensão dos inversores não são perfeitamente sinusoidais e contêm harmónicas. A frequência de saída de um inversor é determinada pela taxa na qual os dispositivos semicondutores são ligados e desligados pelo conjunto de circuitos de controle do inversor.

Para obter uma forma de onda o mais sinusoidal possível, é utilizada uma técnica mais sofisticada – a Modulação por Largura de Pulso (PWM); a técnica PWM permite que seja obtida uma regulação tanto na frequência quanto no valor r.m.s. (eficaz) da forma de onda de saída.

**Filtro de linha:** geralmente é um filtro L-C utilizado para controlar a qualidade da potência de saída a ser fornecida à rede eléctrica; o uso desse filtro permite a geração de tensões sinusoidais com baixa distorção harmónica. Além disso, devido às características dos desempenhos exigidos, os inversores para centrais não conectadas à rede (off-grid) e para aquelas conectadas à rede eléctrica devem possuir características diferentes:

Em sistemas fora da rede eléctrica, os inversores devem ser capazes de fornecer no lado de CA uma tensão com máxima constância na variação da produção do gerador e da demanda de carga;

Em sistemas conectados à rede eléctrica, os inversores devem replicar, da maneira mais exata possível, a tensão da rede e, ao mesmo tempo, tentar otimizar e maximizar a saída de potência dos módulos fotovoltaicos. Os inversores são equipados com uma protecção que controla a sincronização do inversor com os parâmetros da rede eléctrica.

## Tipos de conversores

### Quanto a conversão

- Conversores estáticos (estado sólido)
- Conversores eletromecânicos (rotativos)

Tabela 2: Tipo de conversores

Tipo	Vantagens	Desvantagens
<b>Inversor Auto comutado</b>	- Podem operar conectados a rede eléctrica ou alimentando cargas isoladas - Tenha melhor factor de potência - Produz menor quantidade de harmónicos	Projecto do equipamento mais complexo
<b>Inversor comutado pela rede</b>	- Projecto mais simples	- Depende da existência de tensão na rede - Requer correção do factor de potência e dos harmónicos

Fonte: (ABB, 2018)

### 2.1.7. Condutores

Os condutores definem-se como sendo elementos cuja função é conduzir a energia eléctrica, podendo ser constituídos por um fio, ou por um conjunto de fios que podem ser de cobre, alumínio e alumínio/aço.

Na instalação eléctrica de um sistema fotovoltaico, deve-se apenas usar cabos que cumpram os requisitos para este tipo de aplicação, uma vez que em corrente contínua, as cablagens estão sujeitas à Acção de forças de natureza eletromagnética (correntes paralelas de sentido inverso) e também ao aquecimento por efeito de Joule. Em primeiro lugar, é necessário distinguir entre os *cabos de fileira*, *cabo principal DC* e *cabo do ramal AC*.

Designam-se por cabos de fileira, os condutores que estabelecem a ligação eléctrica entre os módulos individuais do gerador fotovoltaica e a caixa de junção do gerador. Estes cabos são normalmente aplicados no exterior. Afim de garantir protecção contra a eventual ocorrência de falhas de terra, bem como a curto-circuitos, os condutores de polaridade positiva e negativa devem ser independentes e não devem ser agrupados lado a lado num só cabo.

O cabo principal DC estabelece a ligação entre a caixa de junção do gerador e o inversor. Se a caixa de junção do gerador estiver localizada no exterior, estes cabos devem ser entubados, uma vez que não são resistentes aos raios ultravioletas. De igual modo, por razões associadas à protecção contra falhas de terra e de curto-circuitos, recomenda-se também que os condutores de polaridade positiva e negativa devem ser independentes e não devem ser agrupados lado a lado no mesmo cabo.

Por razões que decorrem da prevenção da eventual ocorrência de falhas, ou para a execução de trabalhos de manutenção e de reparação, será necessário isolar o inversor do gerador fotovoltaico. Para tal, utiliza-se um interruptor principal DC, já que de acordo com a norma IEC 60364-7-712, "*Instalações eléctricas nos edifícios – requisitos para instalações ou localizações especiais – sistemas solares fotovoltaicos*", é estipulada a necessidade de se instalar de um aparelho de corte da ligação acessível entre o gerador fotovoltaico e o inversor.

O cabo do ramal AC é o cabo de ligação de corrente alternada que liga o inversor à rede recetora, através de um equipamento de protecção. Após o dimensionamento do sistema

fotovoltaico, é possível efetuar um esquema geral da instalação, onde deverá ser determinado o comprimento aproximado dos cabos referentes a cada tramo da instalação.

### **2.1.8 Métodos de instalação e configurações**

#### **Classificação**

Os sistemas fotovoltaicos são geralmente classificados em quatro segmentos de mercado distintos: **Telhados residenciais, telhados comerciais, sistemas industriais e sistemas de grande escala montados no solo.**

Sua potência nominal varia de alguns quilowatts a centenas de megawatts. Um sistema residencial típico tem uma capacidade aproximada de 1 a 10 kW e é montado em um telhado inclinado; os sistemas comerciais têm uma capacidade aproximada de 10 a 100 kW e geralmente são instalados em telhados de baixa inclinação ou mesmo planos; os sistemas industriais têm uma capacidade aproximada de 100-1000 kW e geralmente são instalados em telhados de edifícios industriais e/ou no lote industrial adjacente; os sistemas de grande escala geralmente são maiores que 500 kW e são montados no solo, sendo geralmente projetados para alimentar a energia gerada na rede elétrica e garantir o maior rendimento de energia para um determinado investimento. (ABB, 2018)

#### **2.1.8.1 Tipo de sistema de montagem**

O arranjo de painéis solares pode ser montado em um sistema de rastreamento solar que acompanha o sol, dois tipos principais de sistemas de rastreamento estão disponíveis:

- Um eixo de rotação: o azimute dos módulos muda durante o dia de acordo com a posição do sol.
- Dois eixos de rotação: o azimute e a inclinação dos módulos mudam durante o dia de acordo com a posição do sol.

O objectivo do sistema de rastreamento é aumentar a radiação no plano do módulo fotovoltaico e, em seguida, a geração de energia do sistema fotovoltaico. (ABB, 2018)

### 2.1.9 Quadro de Transferência Automática (QTA)

Para qualquer instalação em que é utilizada fonte alternativa de energia, é indispensável a presença de uma chave de transferência. Essa chave muitas vezes é um conjunto de contactores e outros componentes, formando assim um quadro de transferência automática (QTA). O QTA é montado de forma a prevenir acidentes e riscos à instalação eléctrica, ele é uma das partes mais críticas em um sistema em que é usado GMG para fonte alternativa de produção de energia (PREREIRA, 2018 B). A função do QTA é um monitoramento contínuo em que se pode trocar a fonte de energia entre a concessionária e o GMG, como podemos observar nas figuras 17 e 18.

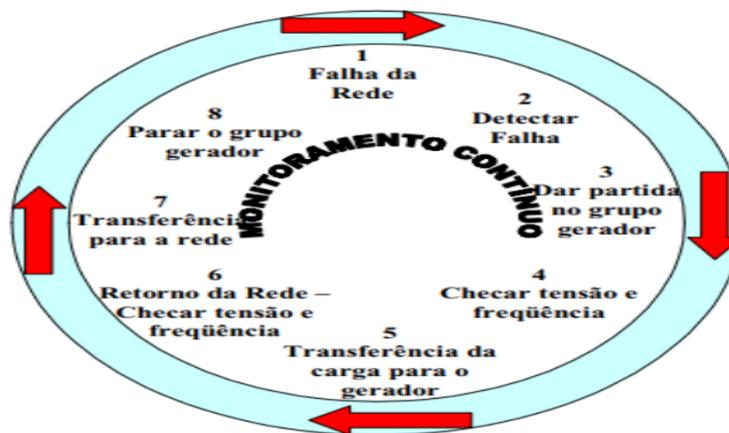


Figura 17 - Monitoramento contínuo

Fonte: (PEREIRA, 2018)

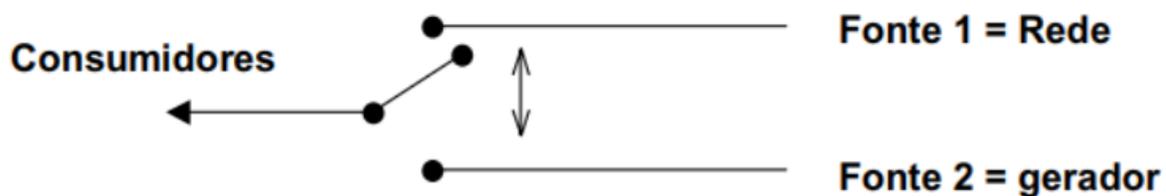


Fig: 18-Chave de transferência

Os componentes básicos em um QTA são:

### 2.1.9.1 Disjuntores Termomagnéticos

Disjuntores termomagnéticos tem a função de seccionar o circuito, dessa forma protegendo seus componentes e cabos (ANDRADE, 2018). Um disjuntor termo magnético pode actuar abrindo o circuito por dois motivos, um térmico e o outro magnético, como seu próprio nome já nos diz. O motivo térmico se dá quando há uma corrente acima da nominal por um certo período. Isso irá esquentar uma lâmina que é formada por dois tipos de materiais com coeficientes de dilatação diferentes, como mostrado na figura 19. Em um espaço de tempo curto, essa lâmina irá se deformar de maneira desigual, abrindo assim o disjuntor.

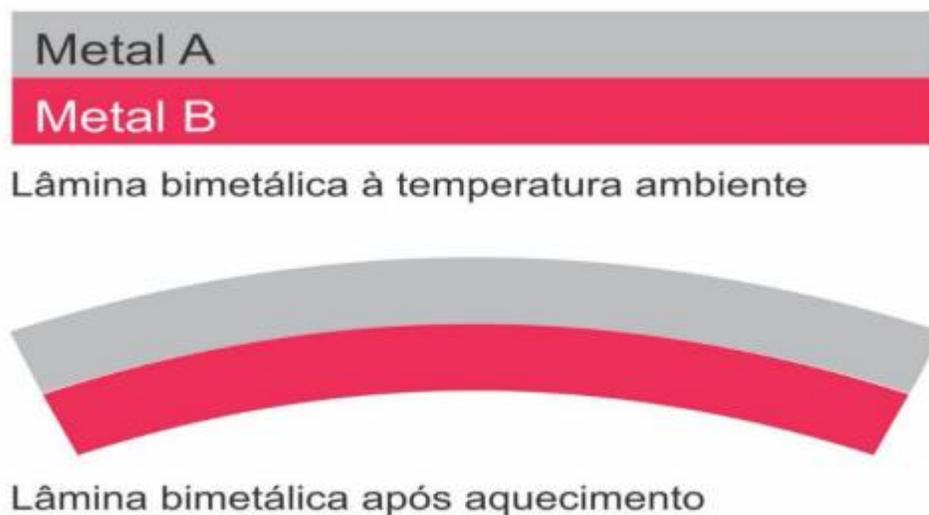


Figura 19 – Lâmina bimetálica Fonte: (FARRARO, 2011)

O segundo motivo para o disjuntor actuar é por meio magnético. O princípio desse motivo é ilustrado na figura 20. Quando há uma corrente de curto circuito passando na bobina, a parte móvel é então atraída, pois a bobina irá funcionar como um electroímã, essa parte móvel então irá abrir o disjuntor.

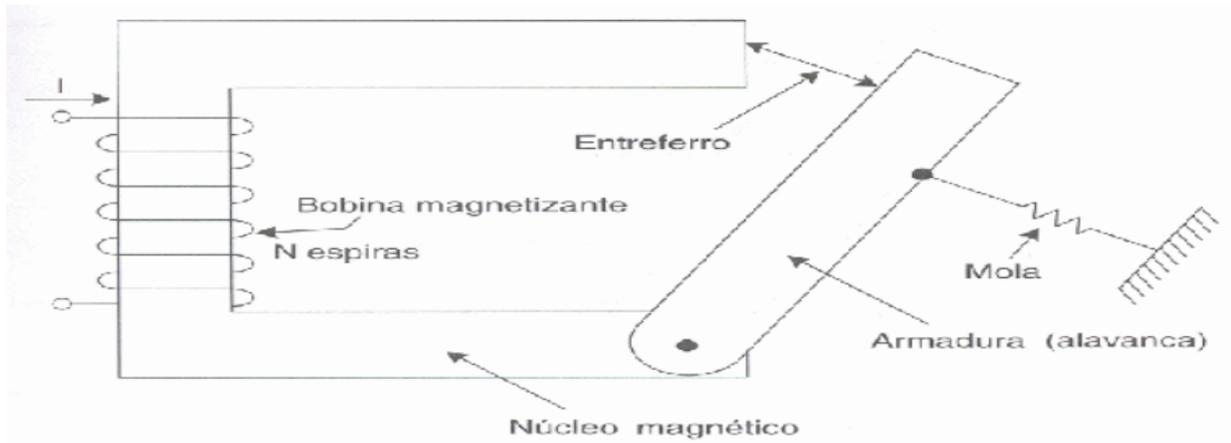


Figura 20 – Disparador eletromagnético Fonte: (CELSO, 2018)

Para que não haja actuações indesejáveis do disjuntor, o projectista tem que se ater aos critérios de selectividade do sistema.

### 2.1.9.2 Contactores

Um contactor é um componente de comando muito utilizado na indústria. Ele possui um electroímã que quando energizado movimenta um conjunto de mecanismos. Com isso tem-se, contactos normalmente abertos, que quando é energizado fecham, contactos normalmente fechados que quando energizados abrem e os terminais da bobina (NASCIMENTO, 2011). A figura 21, mostra como são dispostos os contactos normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF)

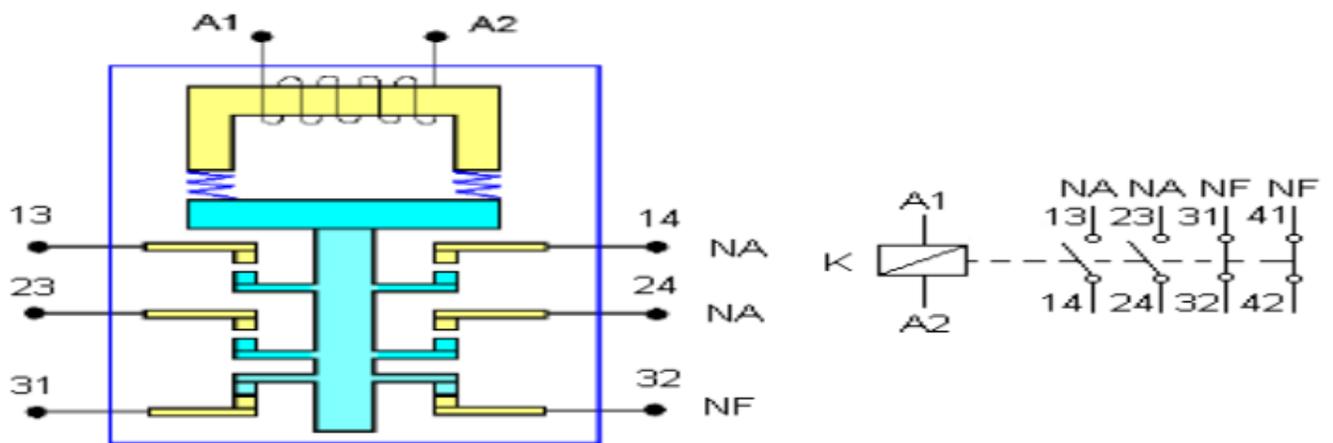


Figura: 21 Comando eléctrico Fonte: (SEAN AUTOMAÇÃO, 2018)

## 2.2-Cálculos em sistemas fotovoltaicos

Neste capítulo são apresentados os métodos de cálculo para determinar a potência gerada, dimensionamento do inversor, dimensionamento das proteções, configuração do SFV e por fim dois métodos de cálculo para o dimensionamento da cablagem

Para dimensionamento de qualquer componente do sistema tem que se determinar a potência máxima que o SFV deve produzir para garantir as exigências de um determinado consumo.

### 2.2.1 Avaliação de recurso solar

A avaliação de recurso solar e feita para saber quantas horas no mínimo o sistema devera gerar a electricidade com o recurso disponível, através de numero de horas de sol pleno dada pela seguinte formula:

$$H_{sp} = \frac{\text{irradiação media [kWh/m}^2\text{]}}{1\text{kw/m}^2} \quad (6)$$

### 2.2.2- Avaliação de consumo

A avaliação do consumo e feito para se saber quanto de energia a carga consome nas Horas em que o sistema ira fornecer a electricidade

$$E_c = \sum_{i=1}^n P_c \cdot \Delta T \quad (7)$$

Onde:

$E_c$  – é a energia total consumida durante o tempo que o sistema estara em funcionamento

### 2.2.3-Determinação da potência a gerar

A determinação de potência a erar fornece-nos a capacidade do nosso sistema nas condições de máxima carga

$$P_g = \frac{E_c}{H_{sp} \cdot \eta_t} \quad (8)$$

$$\eta_t = \Delta W_{temp} + \Delta W_{incomp} + \Delta W_{sjdd} + \Delta W_{cabcc} + \Delta W_{cabca} + \Delta W_{inv} \quad (9)$$

$\Delta W_{temp}$  – Perdas por temperatura

$\Delta W_{incomp}$  – Perdas por incompatibilidade eléctrica

$\Delta W_{sjdd}$  – Perdas por sujidade no módulo

$\Delta W_{cabcc}$  – Perdas nos cabos CC;

$\Delta W_{cabca}$  – Perdas no cabo CA

$\Delta W_{inv}$  – Perdas no inversor.

A determinação do número de painéis SFV necessários para garantir as exigências de produção de energia para o consumo depende dos seguintes factores:

- Local a instalar os painéis FV.
- Escolha dos painéis a utilizar, uma vez que as características técnicas dos painéis variam consoante o modelo escolhido.
- Tipo de sistema de montagem (telhado, solo, horizontal ou inclinada).
- Dimensões do espaço para a instalação dos painéis FV.
- Inclinação dos painéis.

#### 2.2.4-Determinação de numero de painéis a instalar

$$N_p = \frac{P_g}{P_{modulo}} \quad (10)$$

Sabendo o número de painéis a instalar e sabendo a potência máxima fornecida pelo painel, estamos em condições de determinar a potência máxima fornecida pelo conjunto de todos os painéis, bastando para isso multiplicar o número de painéis a instalar pela potência máxima fornecida por cada painel.

$$P_{max\ sfv} = N_p \cdot P_{max} \quad (11)$$

Assim sendo, a equação geral que permite calcular a potência máxima que um painel FV produz, e dada por:

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \quad (12)$$

Em que:

$P_{max}$  é a potência máxima entregue pelo painel FV nas unidades [W],

$V_{max}$  é a tensão máxima entregue pelo painel FV nas unidades [V]

$I_{max}$  é a corrente entregue pelo painel FV nas unidades [A].

#### 2.2.4.1-Determinação de Tensão de circuito aberto do modulo

$$V_{ocmax} = V_{ocstc} + \beta (T_{min} - 25) \quad (13)$$

#### 2.2.4.2-Determinação da Corrente máxima de modulo fotovoltaico é dado por:

$$I_{sc\ max\ mod} = I_{sc\ stc} [1 - \alpha(25 - T_{cell})] \quad (14)$$

$$T_{cell} = T_{ambiente} + 35^{\circ}C \quad (15)$$

#### 2.2.5-Dimensionamento do inversor

No dimensionamento do inversor deve-se ter em conta as suas especificações técnicas, uma vez que estas fornecem informação para o dimensionamento do sistema FV, pelo que é fundamental que sejam respeitadas. A configuração do sistema FV determina o nível de tensão e a classe de potência dos inversores. Por outro lado, é preciso garantir que em nenhum momento, a tensão máxima de entrada do inversor seja ultrapassada. Outro critério necessário para dimensionar o inversor é relacionar a tensão mínima deste, com a tensão apresentada pelo SFV.

#### Determinação da potência do inversor

A escolha da potência do inversor para SFV depender da potência máxima do sistema. A potência máxima do SFV é calculada através equação 6.

Depois de sabermos a potência máxima do SFV, para o correto dimensionamento do inversor, devemos escolher um inversor cuja potência deve ser superior à potência máxima do SFV, ou seja, A partir equação 7 consultando um catálogo de inversores, selecionamos o inversor e retiramos os níveis máximos e mínimos de potência do

inversor. A razão que leva a escolher, uma potência para o inversor, superior á potência do SFV, reside no facto de garantir a segurança do inversor, senão o inversor não teria capacidade para suportar a potência do SFV, dando origem assim à danificação do próprio inversor.

$$0.7 P_{max\ sfv} < P_{max\ inv} < 1.2 P_{max\ sfv} \quad (16)$$

### 2.2.6 Determinação do número máximo de módulos fotovoltaicos por fileira

De acordo com a tensão máxima de circuito aberto informada acima, à temperatura ambiente mínima o número máximo de módulos fotovoltaicos conectados em série que poderia ser conectado ao inversor

A tensão máxima todos os componentes do SFV (caixas de derivação, interruptor, conectores, cabos, módulos fotovoltaicos, etc.) deve ser compatível com a tensão de máxima de entrada do inversor.

O número máximo de módulos fotovoltaicos conectados em série que podem ser conectados ao inversor é definido com base no pressuposto de que a tensão da string está sempre abaixo da tensão máxima de entrada do inversor. Caso a tensão da string exceda a tensão de entrada do inversor, podem ocorrer danos ao inversor devido à sobretensão.

$$N^{\circ}max\ mod = \frac{V_{max\ inversor}}{V_{oc\ max\ modulo}} \quad (17)$$

### 2.2.7-Determinação da Voc máx. da string fotovoltaica

A tensão máxima de circuito aberto da string ( $V_{oc\ max\ string}$ ) na temperatura mínima esperada no local da instalação fotovoltaica pode ser calculada da seguinte forma:

$$V_{oc\ max\ string} = N_{max\ mod} \cdot V_{oc\ max\ mod} \quad (18)$$

## 2.2. 8-Determinação do número mínimo de módulos fotovoltaicos por fileira

Caso a tensão da fileira caia abaixo da tensão MPP mínima do inversor, não é possível o rastreamento do MPP ou podem ocorrer perdas de rendimento. O número mínimo de módulos fotovoltaicos conectados em série que podem ser conectados ao inversor é definido com base no pressuposto de que a tensão da string na condição MPP está sempre acima da tensão MPP mínima de entrada do inversor.

A equação para determinação do número mínimo de módulos fotovoltaicos por fileira

$$N^{\circ} \mathit{min\ mod} \geq \frac{V_{\mathit{min\ MPPT\ inver}}}{V_{\mathit{MPPT\ min\ mod}}} \quad (19)$$

Número de módulos fotovoltaicos por string o número de módulos fotovoltaicos por fileira não deve:

- Ultrapassar do número máximo de módulos fotovoltaicos por fileira;
- Ser menor que o número mínimo de módulos fotovoltaicos por fileira

### 2.2.9-Método de cálculo para a tensão de entrada do inversor

Determinada a potência do inversor, é necessário determinar a tensão de entrada do inversor, e ainda garantir que a tensão de entrada do inversor seja superior à tensão de entrada do SFV. Visto que a amplitude da tensão no inversor, resulta do somatório das tensões individuais dos painéis ligados em série numa fileira, sendo isto expresso pela seguinte equação:

A tensão máxima do sistema de todos os componentes do SFV (caixas de derivação, interruptor, conectores, cabos, módulos fotovoltaicos, etc.) deve não exceder a tensão de máxima de entrada da string.

$$V_{\mathit{max\ system}} \geq N_{\mathit{max\ mod}} \cdot V_{\mathit{oc\ max\ mod}} \quad (20)$$

$$V_{\mathit{max\ system}} = V_{\mathit{entrada\ do\ inver}} \quad (21)$$

Onde:

$V_{\mathit{max\ system}}$  é a tensão máxima do sistema de todos os componentes do sistema fotovoltaico

É necessário determinar a configuração do SFV, para assim, determinarmos quantos painéis em série tem o SFV, e a partir desse ponto determinar a tensão de entrada. Uma vez que a tensão do painel fotovoltaico e a tensão total do SFV dependem da temperatura, logo para o correto dimensionamento do inversor e por conseguinte da configuração do SFV, são determinantes as situações extremas em que o inversor está a funcionar no inverno e no verão.

Quando se dimensiona o SFV, o intervalo de operação do inversor deve ser ajustado em função da curva característica do SFV. O intervalo MPP do inversor, (ponto em que está a funcionar à potência máxima) deve incorporar, conforme pode ser visto na figura 22, os pontos MPP da curva característica do painel FV para diferentes temperaturas. Para além disso, deve-se ter em conta a tensão limite de operação e a tensão máxima admissível do inversor

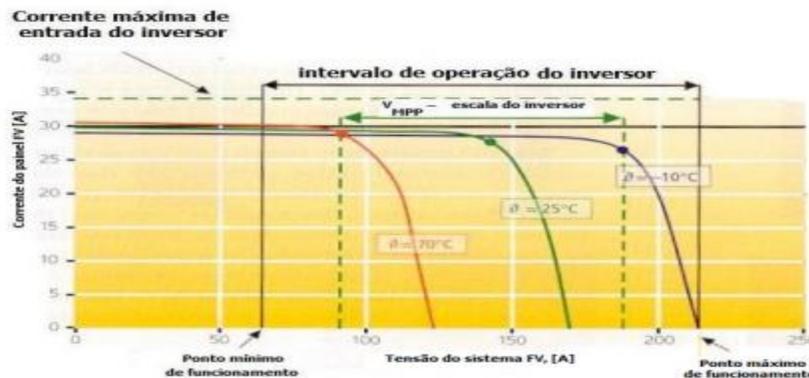


Fig 22:Intervalo de operação do Inversor (CRESESB)

### 2.2.10-Determinação da configuração do sistema Fotovoltaico

O primeiro valor limite, deriva da estação fria para uma temperatura do módulo de -10 °C. Para baixas temperaturas, a tensão de funcionamento do módulo aumenta até ao limite máximo da tensão de circuito aberto. No caso de uma falha na rede num dia de inverno, o inversor terá que ser desligado, uma vez que a tensão de circuito aberto será demasiada elevada para se voltar a ligar o sistema em segurança. Desta forma, para se voltar a ligar o sistema em segurança tem que se garantir que a tensão de circuito aberto do sistema ( $V_{OC}$ ) seja menor que a tensão DC máxima admissível do inversor ( $V_{max\ inv}$ )

Caso contrário o inversor poderá ficar danificado. Assim, o número máximo de módulos ligados em série deriva do quociente entre a tensão DC máxima admissível do inversor e a tensão de circuito aberto do módulo à temperatura de -10 °C. Desta forma, a equação 16 permite calcular o número máximo de painéis fotovoltaicos que é possível ligar em série numa fileira:

$$N^{\circ}max\ mod = \frac{V_{max\ inversor}}{V_{oc\ max\ modulo(-10^{\circ}C)}} \quad (22)$$

Por vezes tensão de circuito aberto dos painéis fotovoltaicos à temperatura de -10 °C,  $V_{OC(modulo-10^{\circ}C)}$ , nem sempre vem especificada nas fichas técnicas fornecidas pelos fabricantes. A tensão de circuito aberto de um módulo monocristalino ou policristalino que à temperatura de -10 °C sofre um aumento de 14 % em relação às condições de referência STC. Logo, a equação que permite calcular a tensão de circuito aberto à temperatura de -10 °C é dada por:

$$V_{OC(-10^{\circ}C)} \cong 1,14 \cdot V_{OC(STC)} \quad (23)$$

### 2.2.11-Número mínimo de módulos por fileira

No verão, os módulos instalados podem estar sujeitos a temperaturas próximas de 70 °C. Esta temperatura serve geralmente de base para determinar o número mínimo de módulos de uma fileira.

Para elevados níveis de irradiância no verão, o SFV terá uma tensão aos seus terminais inferior àquela que se verifica para as condições de referência STC (tensão nominal que consta da ficha técnica do painel), devido às elevadas temperaturas a que está sujeito. Se a tensão do SFV operar abaixo da tensão mínima do inversor ( $V_{min\ inversor}$ ) este não conseguirá transformar a corrente DC para AC, pois o nível de tensão à entrada, não é suficiente para alimentar o funcionamento do inversor. Por este motivo, o sistema deverá ser dimensionado de tal modo que, o número mínimo de painéis fotovoltaico ligados em série numa fileira  $N^{\circ}min\ mod$  derive do quociente entre a tensão mínima de entrada do inversor( $V_{min\ inversor}$ ) e a tensão do módulo à temperatura de 70 °C ( $V_{MPPT\ min\ mod}$ )

Deste modo, a equação que permite calcular o número mínimo de painéis fotovoltaico ligados em série numa fileira, é dada por:

$$N^{\circ}min\ mod \geq \frac{V_{min\ MPPT\ inver}}{V_{MPPT\ min\ mod}} \quad (24)$$

A tensão do painel fotovoltaico à temperatura de 70 °C, nem sempre vem especificada nos catálogos, a tensão de um painel fotovoltaico monocristalino ou policristalino à temperatura de 70 °C sofre uma diminuição de 18% em relação às condições de referência STC. Logo, a equação que permite calcular a tensão mínima de funcionamento do inversor, à temperatura de 70 °C é dada por:

$$V_{MPPT\ min\ mod} \cong 0,82 \cdot V_{MPPT\ stc} \quad (25)$$

Depois de determinado o número mínimo e máximo ( $N^{\circ}min\ mod, N^{\circ}max\ mod,$ ) de painéis ligados em série, obtemos os parâmetros necessários para determinar a tensão de entrada do inversor. Para isso, recorre-se a um processo iterativo que toma como condição inicial o valor  $V_{MPPT\ min\ mod}$ . O número de painéis efetivo ligados em série deve verificar duas condições: a tensão que o SFV deve operar de forma a suprir a tensão mínima de entrada do inversor retirada do catálogo. Esta condição é dada por:

$$V_{min\ MPPT\ inver} < V_{paineis} \cdot N_{P,S} \quad (26)$$

Verificada esta condição, determina-se o número de painéis em série a instalar  $N_{P,S}$ . Sabendo que  $N_{P,S}$  esta ente valores ( $N^{\circ}min\ mod, N^{\circ}max\ mod,$ ) como pode ser visto a seguir.

$$N^{\circ}min\ mod < N_{P,S} < N^{\circ}max\ mod \quad (27)$$

### 2.2.12-Número de fileiras

O número máximo possível de fileiras de painéis  $N^{\circ}_{fileiras\ possivel}$  que se pode instalar, é igual ao quociente entre os valores máximos da corrente do inversor  $I_{max\ inv}$  e da corrente máxima que está atravessar a fileira de painéis  $I_{max\ painel}$

Logo, a equação que permite determinar o número máximo é dada por:

$$N^{\circ}_{fil\,possivel} = \frac{I_{\max\,inv}}{I_{\max\,painel}} \quad (28)$$

Determinando o número de painéis em série a instalar numa fileira  $N_{P,S}$ , e sabendo o número máximo de fileiras de painéis que se pode instala  $N^{\circ}_{fil\,possivel}$ , então para determinar quantas fileiras é necessário instalar  $N^{\circ}_{fil}$ , basta dividir o número total de painéis do SFV a instalar  $N^{\circ}_T$ , determinado anteriormente no início desta secção, pelo número de painéis em série a instalar numa fileira  $N_{P,S}$ . Logo, a equação que permite determinar quantas fileiras se instalam é dado por:

$$N^{\circ}_{fil} = \frac{N^{\circ}_T}{N_{P,S}} \quad (29)$$

### 2.2.13- Dimensionamento de cabos

Os cabos utilizados no sistema FV devem suportar temperaturas na ordem de 80°C. Os cabos devem ser resistentes a radiação UV e flexíveis. Para uma eficaz proteção de terra e de curto-circuito, são recomendados os cabos isolados monoplares para os condutores positivos e negativos. Para as instalações fotovoltaicas situadas em locais onde existe o risco potencial de ocorrência de descargas atmosféricas, deverão ser usados cabos com ecrãs/blindagens.

Dimensionamento da cablagem através do método da queda de tensão De acordo com a norma Europeia IEC 60364-7-712, o cabo da fileira (cabo entre os módulos) tal como os cabos principais (cabo entre o SF - regulador de carga -baterias – inversor) tem de ser capaz de transportar 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do sistema FV, e estar protegido contra falhas de terra e curto-circuitos. Esta norma aplica-se no dimensionamento dos cabos para sistemas isolados assim como para sistemas ligados à rede. Para determinar a secção dos cabos é necessário determinar os seguintes parâmetros:

#### 2.2.13.1- Comprimento do cabo [L]

O comprimento do cabo utilizado na ligação entre os painéis é dado pela altura ou pela largura do painel, que dependendo da forma como os painéis estão dispostos sobre o telhado, ou seja, ligados entre si na horizontal ou na vertical, assumindo mais  $\frac{1}{4}$  da

distância. Sabendo que se deve evitar elevadas dimensões na secção do cabo, então a distância entre os diversos equipamentos deve ser a menor possível.

### 2.2.13.2 Intensidade de corrente

A intensidade de corrente que atravessa o cabo das diferentes ligações deve ser determinada de acordo com a norma Europeia **IEC 60364-7-712**. Segundo esta norma intensidade de corrente utilizada para o cabo usado para as diferentes ligações do sistema FV é dado por:

- Para o cabo da Fileira (cabo entre os painéis), assim como para os cabos principais dos restantes equipamentos do SFV (Painéis fotovoltaicos – Regulador de carga Baterias Inversor)
- Para um arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica sem protecção contra sobre corrente, a corrente de projecto é:

$$I_b > 1.25 \cdot I_{sc} \quad (30)$$

Onde:  $I_{sc}$  é a corrente de curto-circuito de um módulo fotovoltaico ou de uma série fotovoltaica nas condições de ensaio especificadas. Como séries fotovoltaicas são um grupo de módulos fotovoltaicos ligados em série, a corrente de curto-circuito de uma série fotovoltaica é igual à do módulo fotovoltaico

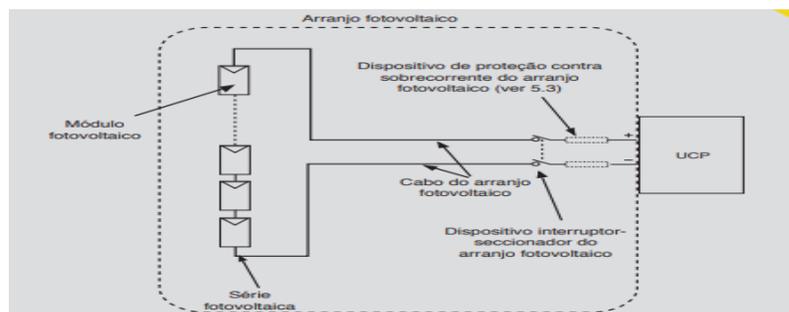


Fig 23: Esquema de arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica sem protecção contra sobre corrente (MORENO)

Para um arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica com protecção contra sobre corrente, a corrente de projecto é:

$$I_b = I_n \quad (31)$$

Onde:

$I_n$  é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrente da série fotovoltaica

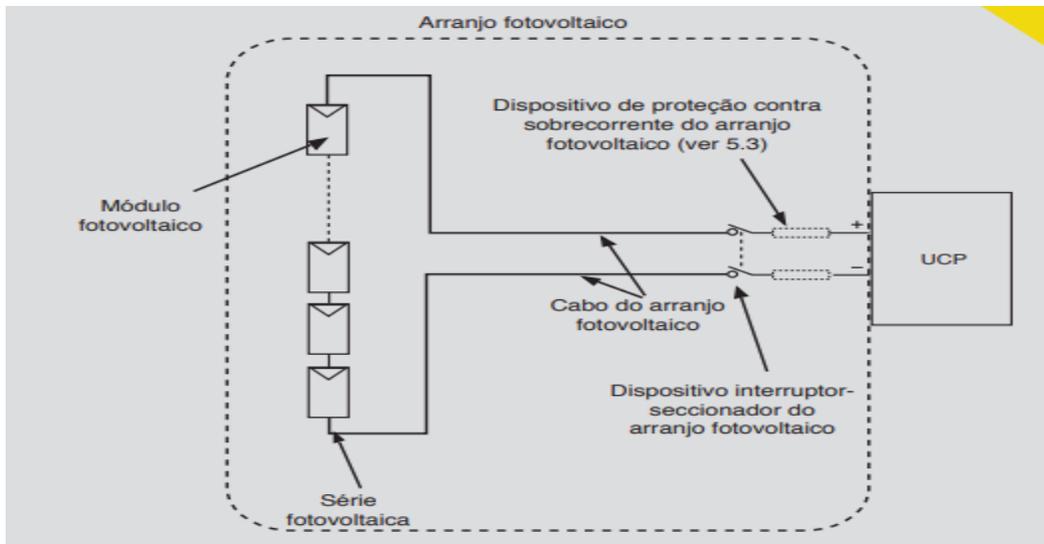


Figura 24 - Esquema de arranjo fotovoltaico com apenas uma série fotovoltaica com proteção contra sobre corrente (MORENO)

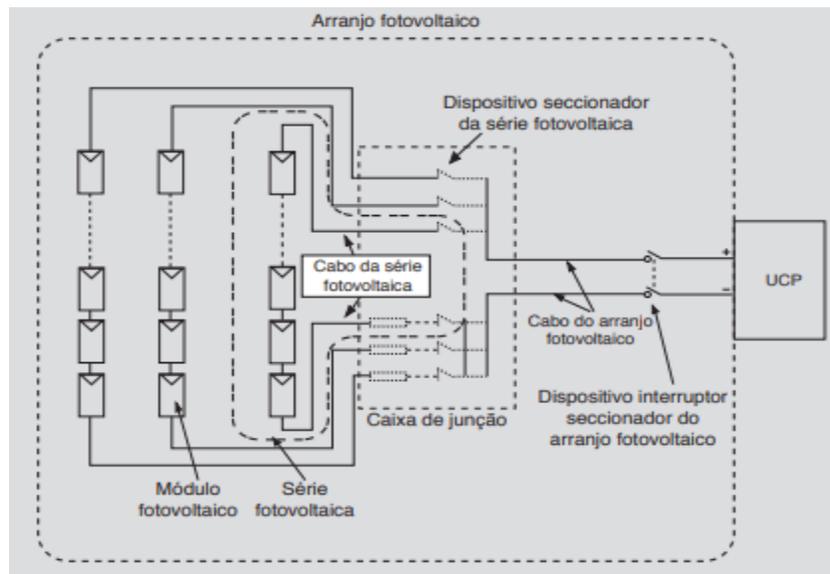


Figura 25 - Esquema de sub arranjo fotovoltaico sem proteção contra sobre corrente (MORENO)

Para um sub-arranjo fotovoltaico sem proteção contra sobre corrente (Figura 25), a corrente de projecto é:

$$I_b = 1.25 \cdot I_{sc \text{ sob arranjo}} \quad (32)$$

Onde:

$I_{sc \text{ sob arranjo}}$  é a corrente de curto-circuito de um subarranjo dada pela equação:

$$I_{sc \text{ sob arranjo}} = I_{sc \text{ mod}} \cdot SSA(33)$$

sendo SSA o número total de séries fotovoltaicas conectadas em paralelo no SUB arranjo fotovoltaico.

Combinando as duas expressões anteriores, resulta em:

$$I_b = 1.25 \cdot I_{sc \text{ mod}} \cdot SSA(34)$$

Para um SUB arranjo fotovoltaico com proteção contra sobre corrente a corrente de projecto é:

$$I_b = I_N (35)$$

Onde:

$I_N$  é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobre corrente do sub-arranjo fotovoltaico.

Para um arranjo fotovoltaico sem protecção contra sobre corrente a corrente de projecto é:

$$I_b = 1.25 \cdot I_{sc \text{ arranjo}} (36)$$

Onde

$I_{sc \text{ arranjo}}$  é a corrente de curto-circuito do arranjo fotovoltaico, dada pela equação a seguir:

$$I_{sc \text{ arranjo}} = I_{sc \text{ mod}} \cdot SA (37)$$

Sendo

SA o número total de séries fotovoltaicas conectadas em paralelo no arranjo fotovoltaico.

Combinando as duas expressões anteriores, resulta em:

$$I_b = 1.25 \cdot I_{sc \text{ mod}} \cdot SA(38)$$

Para um arranjo fotovoltaico com proteção contra sobre corrente a corrente de projecto é:

$$I_b = I_N (39)$$

Onde:  $I_N$  é a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobre corrente do arranjo fotovoltaico.

### 2.2.13.3 Quedas de Tensão

As quedas de tensão usadas para o dimensionamento de cabos em sistemas isoladas são:

- 1% entre os módulos
- 1% entre o sistema FV e regulador de carga
- 1% entre o regulador de carga e as baterias
- 1% entre as baterias e o inversor
- 3% entre o inversor e as cargas

Quanto às quedas de tensão usadas para o dimensionamento de cabos em sistemas ligados á rede são:

- 1% entre os módulos
- 1% entre o sistema FV e inversor
- 3% entre o inversor e a carga

Então determinando estes parâmetros, utilizamos duas tabelas para determinara a secção do cabo, para as diferentes ligações.

Sob condições de carga máxima, queda de tensão verificada não seja superior a 3% da tensão do arranjo fotovoltaico em seu ponto de máxima potência.

A seção nominal de um cabo fotovoltaico pelo critério da queda de tensão pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$S = \frac{L \cdot I_b}{\sigma \cdot e} \quad (40)$$

Onde:

S: seção nominal do condutor [mm<sup>2</sup>]

L: comprimento total de cabos (positivo + negativo) (m),

I<sub>b</sub>: corrente de projeto [A],

σ: condutividade do cobre = 44 m/Ω.mm<sup>2</sup> (a 90 °C, que é a hipótese mais desfavorável a considerar para regime permanente),

e: queda de tensão máxima [V].

### 2.2.14-Dimensionamento de contactores

Contadores são dispositivos elétricos usados em instalações prediais e industriais que permitem o acionamento de cargas elétrica, desde pequenas a grandes correntes, de forma prática e segura. São compostos por contatos de potência, contatos de comando e uma bobina eletromagnética para comandar o fechamento/abertura do contactor. É preciso escolher corretamente o contactor de acordo com sua aplicação e tipos de carga acionada para garantir a segurança da instalação, a vida útil do componente e os investimentos certos na hora da compra desse importante componente. Como regra geral, a corrente nominal do contactor deve ser sempre superior a corrente nominal da carga.

$$I_e \geq I_n \quad (41)$$

Para caso onde vai se aplicar o contactor no acionamento de motores elétrico, é interessante verificar o fator de serviço da máquina, que geralmente é 1,15. Nesse caso:

$$I_e \geq 1,15 \cdot I_n \quad (42)$$

$I_n$  Nesse caso corresponde a corrente nominal de trabalho da carga ou do circuito a ser acionado pelo contactor.

É dado por

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad (43)$$

**Onde:**

$I_n$  é a corrente nominal do circuito

$U$  é a tensão de linha do circuito

$P$  é a potencia ativa do circuito em watts

$\cos\varphi$  é factor de potencia do circuito

## **CAPÍTULO III – PROJECTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO HIBRITO**

### **3.1 MEMORIA DISCRITIVA E JUSTIFICATIVA**

A presente Memória Descritiva e os seus anexos, constituem o Projecto de sistemas fotovoltaica híbridos, a implementar na empresa Sumol + Compal Moçambique SA . O propósito da presente memória descritiva é de estabelecer os dados de dimensionamento e apresentar as principais características dos materiais e equipamentos do sistema fotovoltaica que será integrado no sistema eléctrico da unidade industrial, o sistema deverá gerar 3487.4 Kwp por dia. Toda a energia eléctrica gerada será entregue às cargas principais e auxiliares da empresa consideradas críticas, a concepção e interação deste sistema ira contribuir para o cumprimento dos objectivos e prioridades da política energética da empresa, nomeadamente nos custos económicos e financeiros, aumento da eficiência energética e capacidade de produção, redução das emissões de gases com efeitos estufa.

Para o projecto, serão cumpridos todos os regulamentos aplicáveis no que diz respeito à ocupação, localização, protecção do ambiente, protecção da saúde publica e segurança das pessoas.

### **3.2 - LOCALIZAÇÃO**

A Empresa Sumol + Compal Moçambique esta localizada na província de Maputo no Município de Boane AV. da Namaacha Km 27 com -26.044,32.327 Latitude/Longitude

### **3.3-LEGISLAÇÃO APLICÁVEL**

A execução do projecto do sistema fotovoltaica estará sujeita ao cumprimento estrito de toda a legislação e regulamentação vigente que lhe seja aplicável, a nível nacional.

- Decreto-Lei n.º 172/2006, de 23 de agosto com a redação dada pelo Decreto-Lei n.º 215- B/2012, de 8 de outubro.
- Portaria n.º 133/2015 que procede á primeira alteração à Portaria n.º 243/2013, de 2 de agosto.

- Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão (Decreto-Lei n.º 226/2005, de 28 de dezembro, e Portaria n.º 949-A/2006, de 11 de Setembro)
- Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica de Baixa Tensão e Decreto Regulamentar nº 90/84 de 26 de Dezembro.
- As Normas Portuguesas e Europeias aplicáveis; RTIEBT- Regulamento de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão
- RSIUEE- Regulamento de Segurança das Instalações de Utilização de Energia Eléctrica.

### **3.4-DESCRIÇÃO**

O SFV é será constituída basicamente por um gerador solar de corrente contínua, inversores que convertem esta corrente em alternada, cablagem, equipamentos de comando, corte, protecção. O mesmo terá três partes funcionais diferentes:

- O sistema de produção fotovoltaica ou gerador solar;
- Os sistemas de acondicionamento de energia eléctrica, compostos por inversores;
- Os Sistemas de transferência de carga.

#### **3.4.1- Característica do Sistema Fotovoltaico**

O Sistema fotovoltaico é constituído por um conjunto de módulos fotovoltaicos ligados em série e paralelo, o número de módulos ligados em série é determinado pelo intervalo de tensões de trabalho do inversor, número de módulos em paralelo é definido de acordo com a potência da do sistema.

- Potência de Pico: 3487.4 KWp
- Número de módulos: 4982
- Nº de módulos em série: 15
- Nº de strings em paralelo: 20
- Nº de Inversores: 12

### 3.4.2-Módulo fotovoltaico:

O módulo FV é o elemento-chave da instalação fotovoltaica. A escolha do módulo fotovoltaica realizou-se tendo em conta os seguintes parâmetros:

- Módulo de última geração e tecnologia
- Melhores características e rendimento em função das condições ambientais
- Performance Ratio obtido
- Cumprimento das características nominais ao longo da vida útil da instalação
- Facilidade de manutenção
- Disponibilidade no mercado
- Garantia do fabricante e serviço pós-venda

As características eléctricas são medidas em condições normalizadas STC (condições de ensaio normalizadas): de 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiância, temperatura da célula a 25 °C e uma massa de ar espectral AM de 1,5. Os módulos incorporam díodos “bypass” que permitem um caminho alternativo para a corrente, numa associação em série de células, quando alguma delas está debaixo de sombra ou não conduz.

Para o projecto será módulo de silício cristalino (c-Si), do tipo monocristalino ou policristalino. A restrição de tecnologia se deve à limitação da área disponível para a instalação.

Com potência nominal (em condições padrões de ensaio) de 700 Wp ou maior, com 132 ou mais células por módulo, compondo um total de 3557 módulos. As características técnicas do módulo escolhido para o projecto executivo é MY-M12/132-700 do fabricante MY SOLAR, mas pode ser fornecido de outros fabricantes desde que haja similaridade que são apresentadas na tabela a seguir (Os dados se referem ao módulo em condições de funcionamento). Esse módulo fotovoltaico modelo MY-M12/132-700 foi escolhido devido a sua caixa de junção CC (de onde saem os polos positivo e negativo do modulo) ter grau de protecção IP 68 e é preenchida com silicone, o que evita a corrosão, uma vez que o ambiente da instalação está sujeito a alta umidade.

### 3.4.3 - Estrutura de suporte

Os módulos fotovoltaicos serão instalados numa estrutura capaz de suportar o seu próprio peso e os esforços do vento e neve definidos na legislação em vigor. A separação entre as estruturas no sentido Norte-Sul deveser de 2 metros de modo que se minimizem os efeitos de sombreamento entre elas. Assegurar-se-á, em particular para o dia do solstício de inverno, pelo menos quatro horas de sol para todos os painéis.

A estrutura é de aço de qualidade **S275 JR** galvanizado a quente para garantir uma protecção adequada contra a corrosão. A espessura do galvanizado é de 80 micros. A parte principal é composta por uma estrutura em forma de viga contínua, apoiada por uma série de pilares. Dispõem-se os módulos fotovoltaicos sobre os perfis que atuam como vigas principais, formados por perfil estrutural quadrado de dimensões **100x100x3**. Os pilares de suporte são perfis **HEB-100**, os quais são implantados no solo dependendo do tipo e características mecânicas do mesmo. Do mesmo modo, todas os parafusos, porcas e outros componentes utilizados na montagem da estrutura são de aço zincado com um nível de resistência de qualidade de acordo com a norma **DIN/ISO 898**. A fundação da estrutura será feita por perfuração do solo a uma profundidade suficiente para alcançar a estabilidade e resistência adequadas. O estudo geotécnico do terreno e os ensaios de tração e impulso laterais determinarão a profundidade necessária. Estes testes serão realizados em toda a extensão de terreno ocupado pelo campo fotovoltaico para ter em conta a variabilidade das características do terreno. A perfuração realizar-se-á a uma profundidade mínima de 1,5 m de profundidade e 30 cm de diâmetro. Depois de colocar o pilar verter-se-á betão em massa de agregado fino para fixar o pilar ao terreno.

Serão acomodados 2 módulos fotovoltaicos em cada estrutura metálica, e o conjunto denominamos mesa solar. O ângulo de inclinação será de 35°, o mínimo possível para que a sujeira ainda escorregue do módulo e garanta um efeito de autolimpeza. As mesas solares serão montadas com face para norte geográfico. A estrutura metálica é em alumínio. A estrutura será fixada em estrutura metálica (aço com pintura resistente a temperaturas, água, maresia, vento e a todo o tipo de intempéries da localidade). A estrutura deve garantir uma distância mínima de 0,2 metros entre os módulos e o solo. Deve ser respeitada a distância mínima de 2 metros entre as filas de diferentes arranjos

fotovoltaicos, a fim de evitar o sombreamento de todos os módulos fotovoltaicos e para haver um espaço de montagem adequado.



Fig 26 estrutura de suporte de módulos fotovoltaicos (ABB, 2018)

A estrutura deve ter capacidade de sustentar o peso do gerador fotovoltaico e mais cargas adicionais devido aos ventos da região. A fixação dos módulos fotovoltaicos com sistema aterramento, na estrutura será feito por meio de grampo demonstrado na figura a seguir.

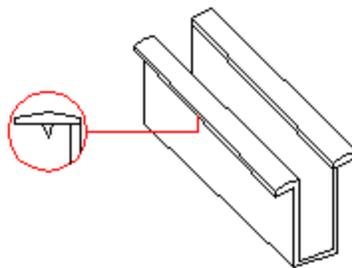


Fig 27:Grampo de fixação de painel solar (ABB, 2018)

### 3.4.4 - Cablagem Eléctrica

A associação dos módulos em série realiza-se aproveitando as próprias caixas, condutores e ligadores dos módulos FV conforme pode se ver na figura a seguir.

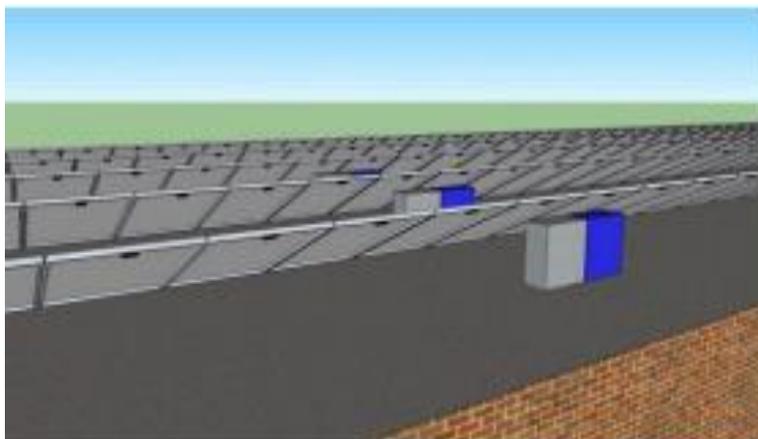


Fig 28:Caixa de derivação (ABB, 2018)

Os condutores positivo e negativo prolongam-se até às caixas de bornes e caixas de String (caixas de ligação de séries) e nestas realizam-se as ligações em paralelo de cada subcampo. Cada série estará equipada com seccionador e protecção contra sobreintensidade, assim como de descarregadores de protecção contra sobretensões ligados à terra, seccionadores, díodos de bloqueio, fusíveis e descarregadores dimensionados para a corrente e tensão de cada série. A cablagem faz-se desde os módulos até às caixas de ligação (dois condutores ativos), sob a própria estrutura, preso com grampos à mesma ou em calha porta-cabos.

Os cabos positivos e negativos são transportados desde as caixas de String, mediante canalização subterrânea por tubo, até ao quadro eléctrico do campo situado junto ao Inversor, directamente ou através de caixas de concentração de séries intermédias. Todas as séries que dependam de um inversor serão unidas no quadro eléctrico de campo de DC. O dimensionamento dos cabos é feito de acordo com os critérios de intensidade de curto-circuito admissível, intensidade máxima admissível por aquecimento do cabo e a queda de tensão máxima estipulada pelo dimensionamento (1%).

Os cabos utilizados na instalação devem cumprir com as normas em vigor quanto ao isolamento e grau de protecção. Em particular, devem possuir um isolamento maior ou igual a 1000 V e serão de duplo isolamento (classe II). Os cabos utilizados para a interligação dos módulos FV estarão protegidos contra a degradação devido à intempérie: radiação solar, UV e condições ambientais de elevada temperatura ambiente. Utilizar-se-á para a cablagem entre módulos e ramais, e inversores os cabos, deverão ser resistentes a agressões climáticas.

### **3.4.5 Cablagem de corrente continua**

Será usado cabo do tipo H1Z2Z2-K de acordo com EN 50618 ou similar com nível de tensão 0,6/1 KV e condutor cobre com varias secções dependendo de pontos de ligação do mesmo.

Serão utilizados cabos flexíveis para evitar tensões e perigos de corte, para além disso, serão devidamente etiquetados e identificados de acordo com os esquemas eléctrico e adotar-se-á um código de cores para condutores positivo e negativo, facilitando as tarefas de manutenção.

Os dispositivos de corte em carga para a parte DC da instalação estarão devidamente homologados para esta função, dependendo da tensão de funcionamento e poder de corte de intensidade necessário.

### **3.4.7-Quadros Eléctrico DC**

Deverão cumprir com as disposições dos Pontos 41 e 801.4 das Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão e outra legislação aplicável.

Os quadros, serão grau de protecção não inferior a IP 65 segundo a norma EN 60529 e IEC 60529 e IK 08 segundo a norma EN 62262. A estrutura interior e dimensões será tal que satisfaça as normas portuguesas em vigor e que permita alojar a aparelhagem indicada no respetivo esquema e protegê-la contra contactos directos ou outras ações, por todas as faces.

Existirão dois tipos de quadros eléctrico de corrente contínua:

- Caixas de bornes que ligarão duas ou três séries, que devem ser dotados de fusíveis de intensidade adequada e tensão superior a 1000 Vcc em cada um dos polos:
- Caixas de String, dotadas de fusível para cada entrada, interruptor geral, seccionador e descarregador de sobretensões.

Os dispositivos de corte em carga para a parte DC da instalação estarão devidamente homologados para esta função, dependendo da tensão de funcionamento e poder de corte de intensidade necessário. Os fusíveis, bases de porta-fusíveis e os elementos de ligação estarão devidamente homologados para a sua utilização em DC e para uma tensão mínima de 1000 V. Os quadros terão uma protecção IP 65 e serão instalados de forma a evitar a exposição solar direta.

Terão uma resistência ao fogo e ao calor anormal de todos os componentes isolantes conforme a regulamentação em vigor. Os dispositivos de corte e protecção deverão possuir corte multipolar (do neutro em redes alternadas e do negativo em redes de corrente continua), sendo os últimos de funcionamento automático por atuação de disparadores térmicos, eletromagnéticos e diferenciais e estarão de acordo com EN 60898. De acordo com a norma europeia IEC 60364-7-712, deve ser instalado um aparelho de corte geral entre o gerador fotovoltaico e os inversores. Este interruptor DC de corte bipolar deve ser dimensionado para a tensão máxima do circuito aberto do gerador solar a temperatura de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (UOC (PV  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )) e para 125 % da corrente máxima do gerador ( $I_{cc\text{ PV}}$ ).

A cablagem dos quadros será efetuada no local de instalação, sendo as ligações internas sobre régua de bornes, devidamente referenciada. Também no interior, todos os condutores de cablagem serão devidamente referenciados, identificados e arrumados, de modo a facilitar a posterior substituição da aparelhagem. A marcação dos condutores e dos bornes de ligação será executada por meio de marcadores plásticos CAB 3 ou equivalente e os cabos eléctricos de elevadas dimensões serão marcados com o sistema de identificação de cabos Duplex ou equivalente.

Em todos os quadros eléctricos, existirá uma barra de terra. Serão previstas etiquetas individuais, indicando a utilização dos vários circuitos. As etiquetas deverão ser de material laminado, tipo trafolite, gravadas com a designação dos locais servidos por cada

circuito, sendo aparafusadas. Na electrificação interior, os condutores deverão ser rígidos e nunca poderão ter secção inferior à da saída a que se destinam com o mínimo de 4 mm<sup>2</sup> e deverão estar arrumados de tal modo que se evitem os cruzamentos e o espaço, compreendido entre a aparelhagem e a régua de bornes, não impeça o conveniente trabalho de manutenção. Admite-se, contudo, que os condutores de comando, tipo flexível, possam ter secções mínimas de 1,5 mm<sup>2</sup>. Todos os bornes de sinalização e comando deverão estar suficientemente agrupados e sem qualquer possibilidade de serem confundidos com os bornes de energia.

### **3.4.8 Inversor**

O inversor é o responsável por converter a corrente contínua gerada pelos módulos solares em corrente alternada sincronizada com a da rede. Serão empregues três inversores, modelo PVS800-57-0250kW-A, do fabricante ABB e com as seguintes características técnicas: (ver Anexo A-5)

Cada inversor estará situado num edifício de betão prefabricado cujas dimensões e localização se indicam nos planos correspondentes. O funcionamento do inversor será totalmente automático. A partir do momento em que os módulos solares gerem potência suficiente, a eletrónica implementada no inversor regulará a tensão, a frequência e a produção de energia.

O inversor desligar-se-á em caso de:

- Encontrar-se em curto-circuito e, portanto, desligar-se-á, não funcionando em nenhum caso em modo ilha, voltando-se a ligar assim que se tenha restabelecido a tensão na rede.
- Tensão fora do limite: se a tensão está acima ou abaixo da tensão de funcionamento do inversor, esta desligar-se-á automaticamente, esperando por condições mais favoráveis de funcionamento.
- Temperatura elevada: o inversor dispõe de um sistema de refrigeração por convecção e ventilação forçada. Na situação em que a temperatura interior do equipamento aumente, este está concebido para entregar menos potência por

forma a não exceder o limite de temperatura, porém, se necessário, o mesmo desligar-se-á automaticamente.

### **3.4.9 Quadros Eléctrico AC**

Os quadros de baixa tensão serão do tipo armário metálico, em caixa normalizada, classe II de isolamento. As caixas terão porta de segurança e tampa de afloramento de aparelhagem. Os disjuntores serão montados em calha DIN. Os quadros eléctricos serão equipados com a aparelhagem de manobra e protecção indicada e obedecerão às prescrições regulamentares aplicáveis, nomeadamente as secções 31 a 34 da parte 1, secções 52 a 54 da parte 2, secções 30 a 39 e 58 da parte 5 das Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão – Portaria nº 949-A/2006 (RTIEBT) e às condições e características técnicas constantes do presente projecto. Os quadros serão grau de protecção não inferior à IP65 segundo a norma EN 60529 e IEC 60529 e IP 8 segundo a norma EN 62262. A estrutura interior e dimensões será tal que satisfaça as normas portuguesas em vigor e que permita alojar a aparelhagem indicada no respetivo esquema e protegê-la contra contactos diretos ou outras ações, por todas as faces. Todos os quadros eléctrico serão obrigatoriamente de classe II de isolamento ou de isolamento equivalente, satisfazendo às condições indicadas na Secção 413.2. Os circuitos de saída deverão ser identificados por etiquetas, cravadas no painel, ou de colocação na própria aparelhagem de protecção. Os quadros eléctrico serão equipados com corte geral do tipo multipolar e com a aparelhagem de manobra e protecção contra sobrecargas e curto-circuitos e dispositivos diferenciais contracorrentes de fuga à terra que obedecerão às prescrições regulamentares aplicáveis, e esquemas unifilares constantes do presente projecto. Os aparelhos de corte e protecção previstos na instalação serão essencialmente disjuntores, com poder de corte não inferior à Icc presumida.

### **3.4.6- Segurança e Protecção**

A instalação eléctrica cumprirá as seguintes indicações:

- A parte DC da instalação será flutuante (esquema IT), isto é, nenhum dos pólos positivo ou negativo do gerador estarão ligados à terra.
- Instalar-se-á um sistema de monitorização permanente de isolamento de ambos os polos (positivo e negativo) em relação à terra. Este monitor de isolamento pode estar incorporado no inversor.
- Serão utilizados dispositivos limitadores de sobretensões induzidas por descargas atmosféricas ligados em T entre ambos os polos do gerador fotovoltaico e terra nos barramentos das caixas de concentração.
- Os dispositivos de corte em carga para a parte DC da instalação estarão devidamente homologados para esta função, dependendo da tensão de funcionamento e poder de corte de intensidade necessário.
- Os fusíveis, bases de porta-fusíveis e os elementos de ligação estarão devidamente homologados para a sua utilização em CC e para uma tensão mínima de 1000 V.
- Para minimizar a possibilidade de curto-circuitos, separar-se-á a condução dos terminais positivos e negativos provenientes do gerador FV nas caixas de ligações.
- Para além disso, o gerador fotovoltaico deverá estar protegido contra a formação de pontos quentes por sombreamento com díodos de bypass, incorporados no próprio módulo.

### **3.4.7- Sistema de Ligação à Terra**

A rede de terra da instalação fotovoltaica será única e composta por um cabo de cobre, sem isolamento, enterrado e reforçado com varetas metálicas, que se estenderá por toda a central, formando uma malha à qual serão ligadas todas as estruturas e partes metálicas da instalação, assim como os anéis de ligação à terra dos edifícios prefabricados, das caixas de string e dos quadros eléctricos. As partes metálicas da

estrutura serão ligadas entre si por meio de ligações com cabo de cobre isolado, formando uma massa única que por sua vez se ligará à malha de terra enterrada. A protecção contra contactos directos e indirectos obtém-se com as seguintes medidas:

- Ligação à terra das massas metálicas;
- Isolamento reforçado classe II em módulos, cablagem e caixas de ligação;
- Sistema IT no lado DC, com monitorização de isolamento à terra pelo inversor.

Este desligar-se-á dando um sinal de alarme quando se deteta uma resistência de isolamento à terra inferior ao limiar predefinido, para evitar um segundo contacto accidental (Com este sistema, uma eventual passagem à massa da parte em tensão DC só fixa o nível "0" de tensão, pelo que a massa metálica não apresenta queda de tensão em relação à terra e não representa risco algum. Apenas uma segunda falta ou contacto com partes ativas representaria perigo para as pessoas).

O inversor, por concepção, não pode injetar corrente de descarga para a terra no lado DC.

#### **3.4.8 - Canalizações Eléctricas**

As valas para acomodar a cablagem de corrente contínua serão de dimensões mínimas 0,50 x 0,70 m, canalizadas com tubos de polietileno de parede dupla, ondulada e de cor vermelha no exterior e lisa e incolor no interior, com guia de plástico resistente e de diâmetro adequado à secção e número de cabos. No fundo da vala e em toda a extensão será colocada uma camada de areia de aproximadamente 0,10 m de espessura onde se depositarão os tubos. De seguida, colocar-se-á outra camada de areia sobre os tubos, envolvendo-os completamente. E, finalmente, faz-se o enchimento da vala; para este enchimento utilizar-se-á terra proveniente da escavação. Na área de preenchimento entre os tubos e a superfície do solo será colocada uma protecção mecânica e uma fita de sinalização de cabos. A parte inferior dos tubos encontrar-se-á a uma distância mínima de 40 cm abaixo do nível do solo. A união dos tubos que formam a canalização será realizada através de mangas apropriadas. Serão aproveitadas as valas dos cabos para fazer a passagem de cabos de sistemas complementares. Nas zonas de cruzamento de estradas a camada de areia será substituída por betão HM-15. As dimensões e características de cada um dos tipos de valas encontram-se especificadas no plano de canalizações.

### **3.4.9-CAIXAS**

Para facilitar a colocação dos cabos de corrente contínua, nas secções rectas, serão instaladas caixas acessíveis a cada 40 m. Esta distância pode variar de uma forma razoável, em função das derivações e mudanças de direção. Existirá também uma caixa acessível em cada derivação e mudança de direção. As dimensões destas caixas dependerão do número de tubos da canalização. Estarão dimensionadas para garantir um acoplamento correto entre o caixilho e a tampa. A profundidade da caixa será de pelo menos 45 cm e as dimensões internas mínimas serão de 40x40 mm. Serão instaladas directamente sobre as valas da canalização. O fundo da caixa será formado pelo próprio terreno, livre de sujidade, para facilitar a drenagem. Todas as caixas estarão dotadas de caixilho e tampa de ferro dúctil. Além disso, estarão elevadas sobre o terreno para impedir a entrada de água. Os cabos serão assinalados em todas as caixas de derivação, de forma a identificar o circuito e a polaridade dos mesmos. Uma vez instalados os condutores e depois de verificar que os mesmos se movem livremente, os tubos da canalização ocupados na totalidade das caixas poderão ser selados, com espuma de poliuretano expandido, e colocar obturadores nos de reserva, tudo isto com o objetivo de impedir a entrada de sujidade ou de roedores. Serão utilizadas caixas de registo suficientes e convenientemente dispostas de forma que a substituição, reposição ou ampliação dos condutores se possa efetuar de forma fácil, os quais se poderão mover livremente no interior dos tubos.

A conexão em série dos módulos é realizada nos próprios módulos, enquanto a conexão paralela das strings é realizada dentro das caixas de derivação, que também acomodam, em conjunto com os sistemas de interconexão, os dispositivos de protecção contra sobre corrente, seccionadores e dispositivos de protecção contra surtos. As caixas de derivação formam subsistemas, que podem ser padronizados de acordo com número de strings, tensão e corrente nominal.

### 3.5-Calculos justificativos

#### 3.5.1-Avaliação do recurso solar

De acordo com a ferramenta de simulação online denominada “PVGIS” foi possível extrair os dados médios relativos à radiação da zona que será instalado o sistema solar. A partir de dados de entrada a seguir:

Tabela 3: Dados de entrada

DADOS DE LOCAL	
Latitude, longitude	26,044,32,327
base de dados	PVGIS-SARAH2
Tecnologia do painel fotovoltaica	silício cristalino
potencia instalada	3487.4
perdas previstas	14%

Fonte: PVGIS

Tabela 4: Resultados de produção anual pós simulação.

Resultados de Simulação	
ANGULO DE INCLINACAO	23,00°
Angulo azimutal	0°
Produção anual fotovoltaica	3755744.72 kwh
Radiação plena anual	1456,73kwh/m2
Variação anual	107293.34 KWh
Perdas totais	26,07%
Custo de eletricidade	2,028 por kWh

Fonte: PVGIS

Os resultados apresentados na tabela 4 dão-nos o ângulo de inclinação a que os painéis deverão estar sujeitos, a estimativa da energia anual disponível, a irradiação anual, a variação anual da energia disponível e ainda nos fornece os fatores que podem causar alterações na saída de um possível sistema fotovoltaico instalado, que são: o ângulo da incidência, efeitos espectrais e a temperatura e baixa irradiância. No geral esta tabela

nos dá as perdas totais do sistema de conversão da energia solar em eléctrica, que é de 23.58%.

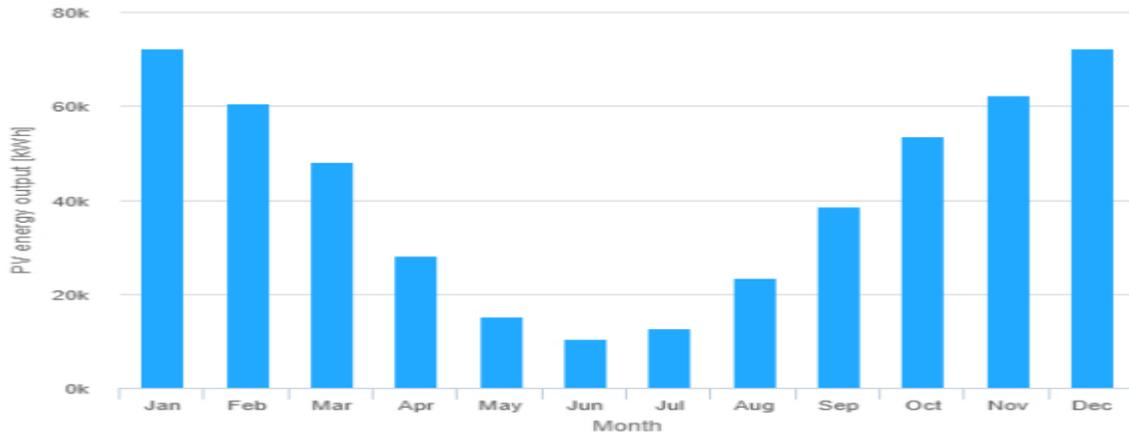


Figura 29: Estimativa da disponibilidade mensal de energia para um angulo fixo(FONTE: PVGIS).

Do Gráfico da figura 29 é possível verificar que a energia disponível atinge o pico nos extremos do ano e vai decrescendo até um alcançar um vale mínimo no meio do ano, concretamente no mês de junho, que por sinal é o mês do pico do inverno.' Para os meses de janeiro e dezembro apresenta-nos uma disponibilidade de energia de 138.6kWh e 137.6 kWh respetivamente, e ao mês de junho 33.9 KWh.

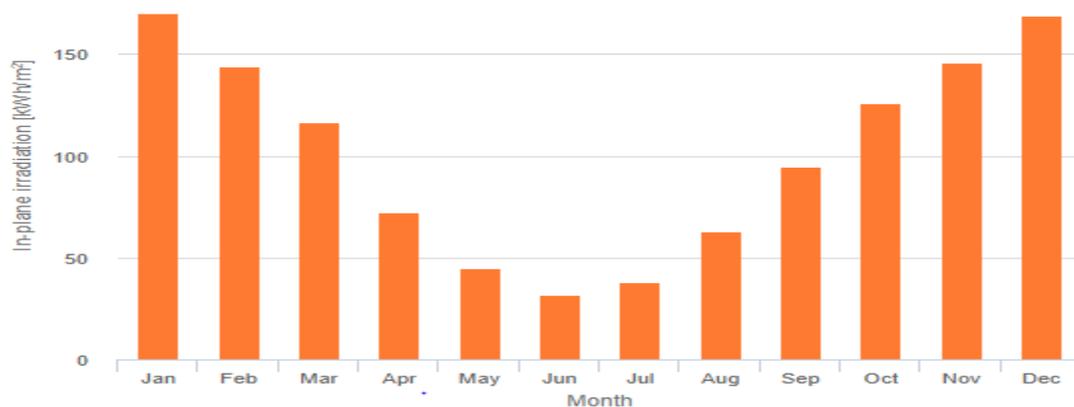


Figura 30: Disponibilidade mensal da irradiação para um angulo fixo dos painéis. (FONTE: PVGIS)

O comportamento da irradiação mensal ao longo do ano possui um comportamento semelhante ao da energia disponível, sendo que se atinge o pico nos meses de janeiro e dezembro cujos valores são 169.83KWh/m<sup>2</sup> mês e 169.07KWh/m<sup>2</sup>.mes respetivamente. O mínimo é atingido em junho, onde a radiação é de 31.7 kWh/m<sup>2</sup>mes.

### Irradiação solar e energia mensal fotovoltaica

Tabela 5: Resultados Irradiação solar e energia mensal fotovoltaica

Mês	E_m [kWh]	H(i)_m [kWh/m <sup>2</sup> ]	SD_m[kWh]
Janeiro	69124.4	169.8	6982.4
Fevereiro	57764.1	143.9	3435.8
Marco	46072.2	116.4	2088.3
Abril	26842.6	72.2	1042.3
Maio	14579.5	44.6	728.1
Junho	10060.5	31.7	692.7
Julho	12125.0	37.7	1036.3
Agosto	22443.8	62.9	649.9
Setembro	36957.0	94.9	1860.2
Outubro	51129.0	125.8	3609.3
Novembro	59458.5	145.6	3515.1
Dezembro	69080.6	169.1	5625.1

Fonte: PVGIS

#### Onde:

E\_m : Produção média mensal de electricidade do sistema [kWh]

H(i)\_m: Soma média mensal da irradiação global por metro quadrado recebida pelos módulos do sistema [kWh/m<sup>2</sup>]

SD\_m: Desvio padrão da produção mensal de electricidade devido à variação anual [kWh].

### 3.5.1.1-Calculo de horas do sol pleno

Com recurso a equação (6) calculou-se as horas de sol pleno referente ao mês de junho o mês com menor incidência de radiação solar.

$$H_{sp} = \frac{\text{irradiação media}[kWh/m^2]}{1kw/m^2}$$
$$H_{sp} = 3,17h$$

### 3.5.2-Identificação da potência a gerar

A potência de painéis será calculada tomando como base o consumo da energia eléctrica mensal da empresa referente ao mês de julho ver anexo A1-1:

$$E_{cons\ mensal} = 265273\ KWh$$

#### 3.5.2.1-Determinação de consumo médio diário

$$E_{cons\ diario} = \frac{E_{cons\ mensal}}{30} = \frac{265273\ KWh}{30} = 8842.5\ KWh/dia$$

Determinação de potencia máxima do sistema

$$P_g = \frac{E_c}{H_{sp} \cdot \eta_t}$$

$$\eta_t = \Delta W_{temp} + \Delta W_{incomp} + \Delta W_{sjdd} + \Delta W_{cabcc} + \Delta W_{cabca} + \Delta W_{inv} \quad (9)$$

$$\Delta W_{temp} = 11.5\%$$

$$\Delta W_{incomp} = 1.5\%$$

$$\Delta W_{sjdd} = 2.0\%$$

$$\Delta W_{cabcc} = 1.0\%$$

$$\Delta W_{cabca} = 1.0\%$$

$$\Delta W_{cabca} = 4.0\%$$

$$P_g = \frac{8842.5}{3.17 \cdot 0.8}$$

$$P_g = 3486.8\ KWp/dia$$

### 3.5.2.2-Quantidade de módulos fotovoltaicos

$$N_p = \frac{P_g}{P_{modulo}}$$
$$N_p = \frac{3486.8}{0.7}$$
$$N_p = 4981.2 = 4982$$

### 3.5.3-Potência máxima do sistema fotovoltaico

$$P_{max\ sfv} = N_p \cdot P_{max} \quad (5)$$
$$P_{max\ sfv} = 4982 \cdot 0.7$$
$$P_{max\ sfv} = 3487 \cdot 4KWp$$

## 3.6-Configuracao do sistema

### 3.6.1-Número máximo de painéis FV por fileira

O numero máximo de painéis por fileiras é igual ao numero de modulo por string, com recurso as características do modulo fotovoltaico fornecido pelo datasheet (ver anexo A6-6).

Tabela 6: Dados do modulo fotovoltaico

- Potencia nominal (P):	700 W
- Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ )	17,82 A
- Tensão de circuito aberto( $V_{oc}$ )	49,83 V
- Tensão no ponto de potencia Máxima( $V_{mp}$ )	41,78 V
- Coeficiente de temperatura $\beta$ de tensão de circuito aberto ( $\beta$ )	0,29%/°C
- Corrente no ponto de tensão máxima ( $I_{mp}$ )	16,77A

A partir da tabela acima nas condições STC, e uso da *equação 13*, obteve-se a tensão do circuito aberto do modulo fotovoltaico.

$$V_{OC\ max\ mod} \cong 1.14 \cdot V_{ocstc} \quad (13)$$
$$V_{oc\ max\ mod} = 56.80\ V$$

### 3.6.2-Número máximo de módulos fotovoltaicos por fileira

$$N^{\circ}max\ mod = \frac{V_{max\ inversor}}{V_{oc\ max\ modulo}}$$
$$N^{\circ}max\ mod = \frac{900V}{56.80V} = 15.84$$

O número máximo de módulos por fileira é de 15 módulos.

### 3.6.3-Número mínimo de módulos fotovoltaicos por fileira

$$N^{\circ}min\ mod,S = \frac{V_{min\ inversor}}{V_{MPP}}$$
$$V_{MPP} = 0.82 \cdot V_{MPP(STC)}$$
$$V_{MPP} = 0.82 \cdot 41.78V$$
$$V_{MPP} = 34.26V$$
$$N^{\circ}min\ mod,s = \frac{450V}{34.26V} = 13.13$$

O número máximo de módulos por fileira é de 14 módulos.

### 3.6.4-Determinação de número máximo de fileiras ou strings por cada inversor

#### 3.6.4.1-Determinação da corrente máxima da fileira

$$I_{sc\ max\ mod} = I_{sc\ stc} [1 - (\beta)(25 - T_{cell})]$$
$$T_{cell} = 60^{\circ}C$$
$$I_{sc\ max\ mod} = 17.82 [1 - (0.048\%)(25 - 60)]$$
$$I_{sc\ max\ mod} = 18.11\ A$$
$$I_{sc\ max\ mod} = I_{sc\ max\ fil} = 18.11\ A$$

Com ajuda da equação 45 determinou-se o número máximo de fileiras ou string que podem ser conectados ao mesmo MPPT.

$$N^{\circ}_{max\ string} \leq \frac{I_{sc\ max\ input}}{I_{sc\ max\ String}}$$
$$N^{\circ}_{max\ string} = \frac{600A}{18.11A} = 33.13$$

*Serão conectados no máximo 33 strings num único inversor*

### **3.6.5-Determinação da tensão de entrada do inversor.**

Em função da tensão mínima dos módulos ligados em serie e o numero máximo de modulo verificou-se a tensão mínima que os módulos iram injetar ao inversor

$$V_{min MPPT inver} < V_{MPPT min mod} \cdot N_{mod,s} \quad (20)$$

$$N_{mod,s} = 15$$

$$V_{MPPT min mod} = 34.26V$$

$$V_{min MPPT inver} < (34.26 \cdot 15)V$$

$$450V < 513.9V$$

**(Condição Satisfeita)**

Verificada esta condição, determina-se o número de painéis em série a instalar  $N_{p,s}$  sabendo que  $N_{p,s}$  esta entre valores( $N^{\circ}min mod, N^{\circ}max mod,$ ) como pode ser visto a seguir.

$$N^{\circ}min mod < N_{mod,s} \leq N^{\circ}max mod \quad (21)$$

$$14 < 15 \leq 15 \quad (21)$$

(Condição satisfeita)

### **3.7-Configuração física de arranjos**

Devido aos efeitos de autos sombreamento que devem ser considerados no sistema fotovoltaico montado em solo com arranjos fotovoltaicos independentes fixos. As perdas por autos sombreamento são causadas por uma fileira anterior de módulos fotovoltaicos e se aplica a todas as fileiras de módulos fotovoltaicos, exceto a primeira. Para minimizar as perdas por auto - sombreamento definiu-se a distância  $d$  mínima entre as fileiras vizinhas do designer fotovoltaico.

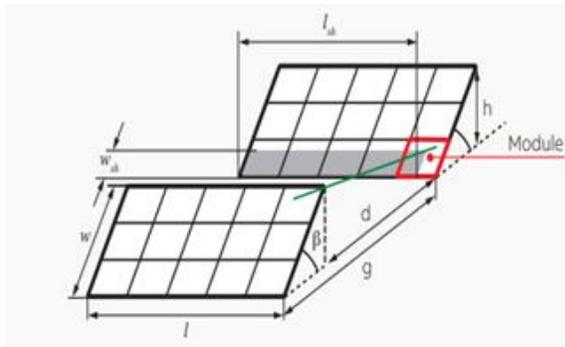


Fig 31: Demonstração da Disposição de painéis solares (ABB, 2018)

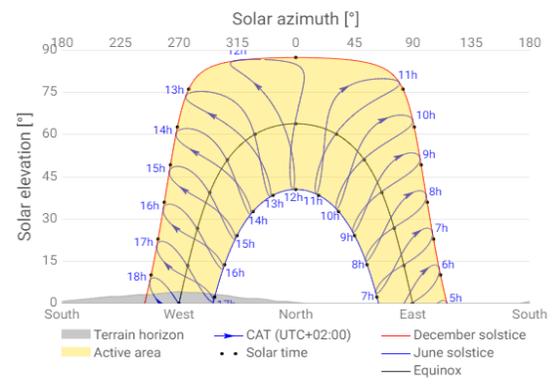


Fig. 32: Comportamento de Azimute solar (Fonte: PVGIS)

$$h = w \cdot \sin\beta$$

**A largura do painel é**  $w = 2 \times h_{mod} = 2 \times 1.303 = 2.606m$

$$\beta = 35^\circ$$

$$h = w \cdot \sin\beta = 1.50 \text{ m}$$

**Então o espaçamento de fileiras é:**

$$d = \frac{h}{\tan \theta} = \frac{1.50}{\tan 31^\circ} = 2.496 \approx 2.5m$$

**E a largura da fileira é:**

$$g = d + w \times \cos\beta = 2.5m + 2.606m \times \cos 35$$

$$g = 4.63m$$

### 3.8-Esquema do inversor

Para otimizar o cabeamento dos módulos, é necessário considerar as configurações físicas do arranjo (configuração do painel) na seleção das dimensões da string. O campo

fotovoltaico é dividido em 12 subsistemas iguais; cada subsistema é equipado com 1 inversor.

Cada inversor será configurado da seguinte forma:

Todos os 12 inversores serão conectados 20 strings cada strings com 15 módulos e cada modulo com uma potencia de 0.7KW.

Os inversores serão conectados em paralelo no barramento de corrente alternada.

### 3.9 - Dimensionamento de cabos

#### Lado de corrente contínua

##### Trecho 1: entre modulo fotovoltaicos e caixa strings:

##### Critério da capacidade de corrente

O dimensionamento dos cabos de conexão de modulo fotovoltaico em serie da instalação é realizada nas piores condições, isto é, sem protecção contra sobre corrente a temperatura ambiente máxima de 30°C, o método de instalação escolhido para esta ligação é cabo instalado ao ar livre:

modo 1 - dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal. Instalação ao ar livre exposta ao sol.

$$I_{B \text{ mod serie}} = 1.25 I_{sc \text{ max mod}}$$

$$I_{B \text{ mod serie}} = 22.277 \text{ A}$$

Conforme Tabela C.4 (ver anexoA3-3), para Instalação exposta ao Sol, Modo de Instalação 1, a seção nominal do cabo é 2,5 mm<sup>2</sup>.

##### Critério da queda de tensão:

$$S = \frac{L \cdot I_b}{\sigma \cdot e} \quad (32)$$

$$\sigma = 44 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$

$$L = 5 \text{ m}$$

$$I_{B \text{ mod serie}} = 22.277 \text{ A}$$

$$U_{\text{mod serie}} = 1 \text{ modulos} \cdot 41.78 = 41.78 \text{ V}$$

Considerando uma queda de tensão de 1% entre os modulo fotovoltaicos teremos:

$$\begin{aligned}
 e &= U_{mod\ serie} \cdot 1\% \\
 e &= 0.4178\ V \\
 S &= \frac{5 \cdot 22.277}{44 \cdot 0.4178} \quad (32) \\
 S &= 4.84\ mm^2
 \end{aligned}$$

A seção nominal padronizada mais próxima superior a 4.84 mm<sup>2</sup> é 6 mm<sup>2</sup>.

Seção final do cabo fotovoltaico: deve-se escolher a maior entre as seções calculadas e, portanto, a seção nominal do cabo fotovoltaico que interliga os módulos entre si e até a caixa string é 6 mm<sup>2</sup> (critério de queda de tensão).

## **Trecho 2: entre caixa strings e caixa de junção**

### **Critério da capacidade de corrente**

A conexão de modulo fotovoltaico em serie da Instalação é sem protecção contra sobre corrente a temperatura ambiente máxima = 30 °C, o método de instalação escolhido para esta ligação é A. Isto e Cabo instalado ao ar livre: Modo 1 - dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal. Instalação ao ar livre exposta ao Sol.

$$\begin{aligned}
 I_{B\ mod\ serie} &= 1.25\ I_{sc\ max\ mod} \\
 I_{B\ mod\ serie} &= 22.277\ A
 \end{aligned}$$

Conforme Tabela C.4 (Ver anexo A8-8), para Instalação exposta ao Sol, Modo de Instalação 1, a seção nominal do cabo é 2,5 mm<sup>2</sup>.

### **Critério da queda de tensão:**

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{L \cdot I_b}{\sigma \cdot e} \quad (32) \\
 \sigma &= 44\ m/\Omega \cdot mm^2 \\
 L &= 20\ m \\
 I_{B\ mod\ serie} &= 22.277\ A \\
 U_{mod\ serie} &= 15 \cdot 41.78 = 626.7V
 \end{aligned}$$

Considerando uma queda de tensão de 1% entre os modulo fotovoltaicos teremos:

$$\begin{aligned}
 e &= U_{mod\ serie} \cdot 1\% \\
 e &= 0.4178\ V
 \end{aligned}$$

$$S = \frac{35 \cdot 22.277}{44 \cdot 6.267} \quad (32)$$

$$S = 2.83 \text{ mm}^2$$

A seção nominal padronizada mais próxima superior a  $2.83 \text{ mm}^2$  é  $4 \text{ mm}^2$ .

Seção final do cabo fotovoltaico: deve-se escolher a maior entre as seções calculadas e, portanto, a seção nominal do cabo fotovoltaico que interliga os módulos entre si e até a caixa string é  $4 \text{ mm}^2$  (critério de queda de tensão).

### Trecho 3: entre caixa de juncão e inversor

#### Critério da capacidade de corrente

A conexão de módulos fotovoltaico em serie da Instalação é sem protecção contra sobre corrente a temperatura ambiente máxima =  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , o método de instalação escolhido para esta ligação é A. *Isto e Cabo instalado ao ar livre: Modo 1 - dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal. Instalação ao ar livre exposta ao Sol.*

$$I_{B1} = I_{B20} = I_{B1} \cdot SSA$$

Conforme Tabela C.4 (Ver anexo A8-8), para Instalação exposta ao Sol, Modo de Instalação 1, a seção nominal do cabo é  $240 \text{ mm}^2$ .

#### Critério da queda de tensão:

$$S = \frac{L \cdot I_b}{\sigma \cdot e} \quad (32)$$

$$\sigma = 44 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$

$$L = (60 + 60)\text{m} = 120\text{m}$$

$$I_{B \text{ mod serie}} = 445.5 \text{ A}$$

$$U_{\text{mod serie}} = 15 \text{ modulos} \cdot 41.78 = 626.7\text{V}$$

Considerando uma queda de tensão de 2% entre os módulos fotovoltaicos teremos:

$$e = U_{\text{mod serie}} \cdot 2\%$$

$$e = 12.534 \text{ V}$$

$$S = \frac{120 \cdot 445.5}{44 \cdot 6.267} \quad (32)$$

$$S = 193.87 \text{ mm}^2$$

A seção nominal padronizada mais próxima superior a  $193.873 \text{ mm}^2$  é  $240 \text{ mm}^2$ .

Seção final do cabo fotovoltaico: deve-se escolher a maior entre as seções calculadas e, portanto, a seção nominal do cabo fotovoltaico que interliga os módulos entre si e até a caixa string é  $240 \text{ mm}^2$  (critério de queda de tensão).

### **Cabo Lado de CA**

#### **Trecho 4: entre inversor e quadro de transferência**

##### **Critério da capacidade de corrente**

$$I_{inv} = 485A$$

$$I_b = I_{inv}$$

A seção nominal padronizada para corrente máxima admissível de 485A é  $240 \text{ mm}^2$

$$e = 1\% \cdot U_{\max inv}$$

$$U_{\max inv} = 400V$$

$$e = 4$$

$$S = \frac{L \cdot I_{inv}}{\sigma \cdot e}$$

$$L = 3 \cdot 20 = 60m$$

$$S = \frac{60 \cdot 485}{44 \cdot 4}$$

$$S = 165.40 \text{ mm}^2$$

A seção nominal padronizada mais próxima superior a  $165.40 \text{ mm}^2$  é  $185 \text{ mm}^2$  uma vez que se considera o cabo de maior seção calculado através de um dos métodos, para a saída do inversor até ao quadro de transferência será usado o cabo do tipo **0,6-1KV XAV 3X240+1X95+T**.

##### **Seleção do disjuntor de protecção**

$$I_b = I_{inv} = 485A$$

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_z = 506A$$

A corrente máxima admissível  $I_z$  do cabo escolhido é de 551A , a capacidade do disjuntor  $I_n$  superior a 485A e inferior a 551A e de 500A logo é válida a condição.

$$485A \leq 500A \leq 551A$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$$

$$725A \leq 733.7A \text{ (condição válida)}$$

## Seleção do Contactores

### Contactor comutação de inversores

A corrente de saída de cada inversor é de 485A recorrendo a condição (1) termos:

$$I_n = 485A$$

$$I_e \geq I_n$$

$$I_e = 580A$$

$$580A \geq 485A$$

Será usado um contactor com capacidade de 580A para cada inversor, com referência **AF580-30-10** marca **ABB** (ver tabela em anexo 2).

### Contactor de comutação de carga

Uma vez que o contactor será responsável por comutação de carga quando todos inversores estiverem a debitar a potência suficiente para alimentação da carga devesuportar a corrente todos inversores ligados em paralelo.

$$I_{n4} = 3 \cdot I_{n123}$$

$$I_{n4} = 1455A$$

$$I_e \geq I_{n4}$$

$$I_e = 1650A$$

$$1650A \geq 1455A$$

Será usado contactor com capacidade de 1650A para cada inversor, com referência AF1650-30-11.

## **Estimativa de custo**

Todos cálculos referentes ao orçamento do projecto, encontram-se no apêndice 2-2 em forma de tabela.

## **Conclusão**

Feito o estudo da situação actual do consumo de energia eléctrica no Sumol + Compal Moçambique SA a partir dos dados levantados durante o estagio as referentes ao, Dimensionamento de sistema fotovoltaica concluiu-se, a partir do consumo diário a potencia eléctrica a ser gerado pelo sistema para o fornecimento a empresa é de 3486.8 KWp o que corresponde uma contribuição de 25% de consumo total da empresa desta forma diminuindo as despesas da empresa na compra de energia eléctrica.

A partir da quantidade de irradiação solar para zona de Boane obteve se a produção anual de energia de 4977759 KWh com perdas de 10% informação obtida do aplicativo online PVIGIS, a participação da fonte solar no sistema eléctrico é máxima nos meses de janeiro e dezembro sendo que para o mês de Junho e onde temos a participação mínima da fonte solar.

Para o sistema será usado um quadro de transferência de carga automática onde a fonte fotovoltaica é principal sempre que o mesmo dispor de boa quantidade de energia, os inversores serão do tipo auto comutados sendo que os relas de falta de fase serão usados para detetar a falta de fase em todas as fontes do sistema.

O cabo de corrente continua são do tipo H1Z2Z2-K e foram dimensionados considerando a situação ambiental mais critica possível.

O condutor deve ser classe 5 de encordoamento, ou seja, bastante flexível, para permitir a movimentação do cabo, sem quebra dos fios condutores, ocasionada pelo vento e pela dilatação térmica dos arranjos e módulos fotovoltaicos. O condutor deve ser estanhado para melhorar a qualidade e a confiabilidade da conexão, que deverá ser realizada por conectores específicos para uso fotovoltaico.

## **Recomendações**

De ponto de vista económico recomendo a utilização de sistemas fotovoltaicos para redução da fatura do consumo de energia eléctrica uma vez que a fonte é não estável e o sistema fotovoltaico requer menor custo de manutenção e concepção.

De ponto de vista ambiental o sistema fotovoltaico para conversão de energia é limpo e silencioso o que faz desse tipo de sistema amigável ao ambiente

Recomendo a instalação do sistema no jardim da empresa mais próximo do quadro Geral de baixa tensão

Recomendo que toda a estrutura metálica esteja a ser protegida por uma camada de protecção e todos os strings serão compostos por respetivos DPS.

## Bibliografia

“PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. (25 de 09 de 2000).

Fonte: <https://dsp>.

” Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos / Rio de Janeiro, C. (1999). rio de Janeiro .

(12 de 10 de 2023). Fonte: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/grid-zero---como-funciona---suas-aplicacoes-e-homologacao-na-distribuidora-de-energia-eletrica>.

ABB. (2018). *Technical Application PapeCentrais Fotovoltaicas.pdf*.

CRESESB. (s.d.). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro,.

M. Carlos Tobajas Vázquez. (2005). *Energia Solar Fotovoltaica*, (Vol. segunda ). : editorial técnica,.

MESSENGER, R., & VENTRE, J. P. (1996). *Photovoltaic Systems Engineering*. londres: book editorial.

Moreno, P. E. (2019). *CABOS ELÉTRICOS PARA INSTALACOES FOTOVOLTAICAS*.

PEREIRA, e. J. (2015). *Chaves de Transferência Automática*. . Fonte: Chaves de Transferência Automática. 2018 B. .

(2025). *Planning and Installing Photovoltaic System*. earthscan,.

Solar, E. (30 de 09 de 2023). Fonte: <https://portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-de-energia-solar.html>.

## APÊNDICES

**Apêndice 1:** consumo mensal de energia eléctrica da empresa Sumol + Compal Moçambique

**Tabela 1.1-** consumo mensal de energia eléctrica da empresa Sumol + Compal Moçambique

Potência Instalada KVA Potência Contratada KW Tarifa Média Tensão (MT) NUIT 99991917893	49769.0 546.0 Média Tensão (MT) 99991917893	Outros Canais de Pagamento (Banco, ATM, Telemóvel e Internet) Entidade: Referência: Montante:	200 05 00008910823 1.704.384,50
--	--	---	---------------------------------------

Informação dos contadores	Contador Nº	Tipo	De	Até	Leitura Anterior	Leitura Actual	Coef	Consumo	E/N
	18797066	Energia activa	30/06/2023	31/07/2023	2577.82	2621.19	1090	265273.30	N
	18797066	En. Reactiva	30/06/2023	31/07/2023	1483.00	1620.55	1090	149929.50	N
	18797066	Ponta	30/06/2023	31/07/2023	0.0000	0.5304	1090	578.1360	N
		Perdas Em Vazio					792.0		

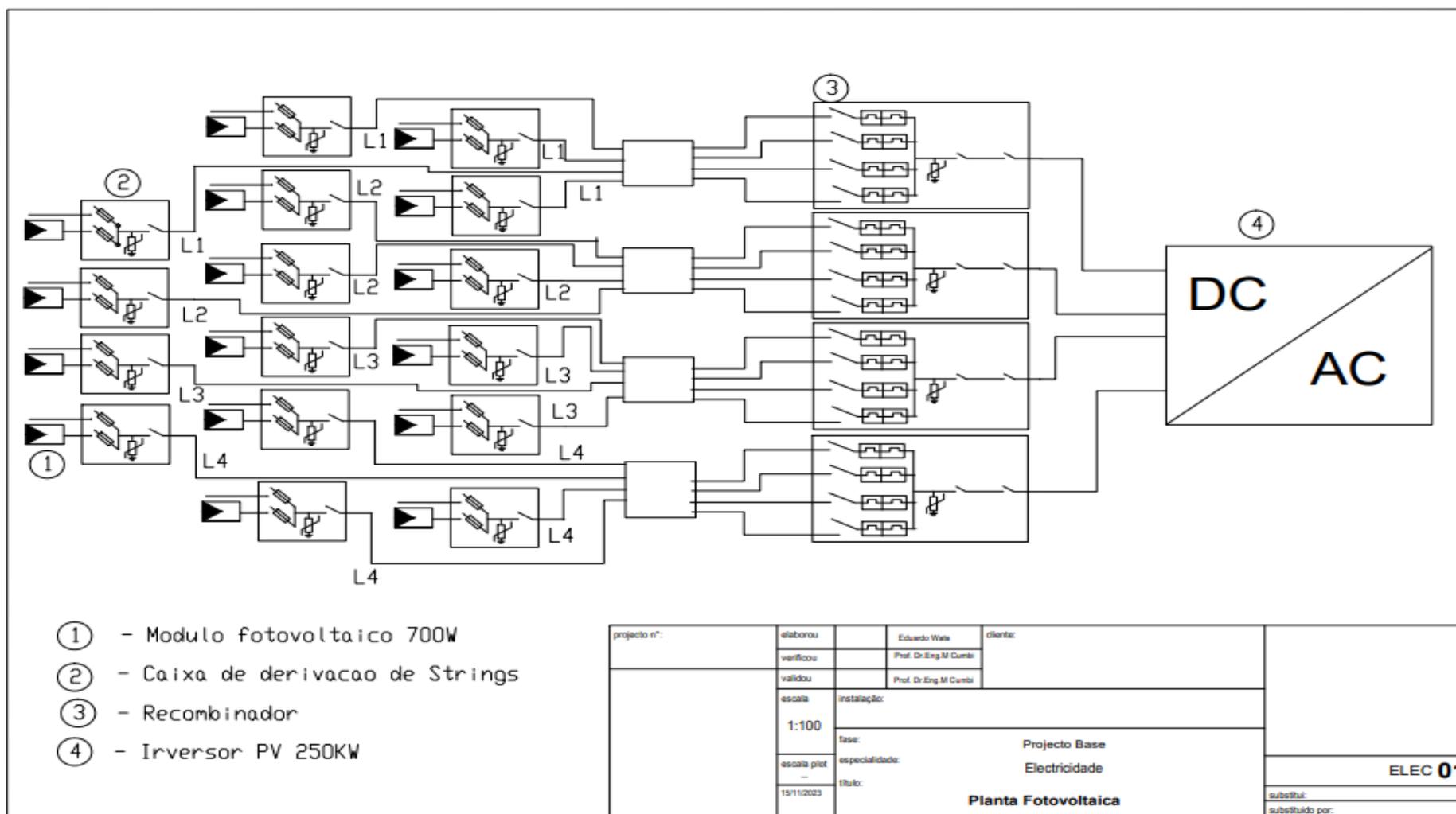
Iluminando a Transformação de Moçambique					
Informação do cálculo	Periodo	Item	Unidade/Base	Preço Unitário	Preço Total
	01/07/2023 - 31/07/2023	Consumo de Energia Activa	265273 kWh	4,78	1.266.006,37
		Consumo de energia Reactiva	0	1,43	0,00
		Ponta	562 kW	497,03	279.354,52
		Taxa Fixa	1 mes		3.207,25
		Radiodifusão	0 mes	297,00	0,00
		Taxa de Lixo	1 mes		0,00
		IVA (16% de 62%)	1550568.14Mt	0,0992	153.816,58

## Apêndice 2: Estimativa de custo para implementação do projecto

**Tabela 2.2-** Estimativa de custo para implementação do Projecto

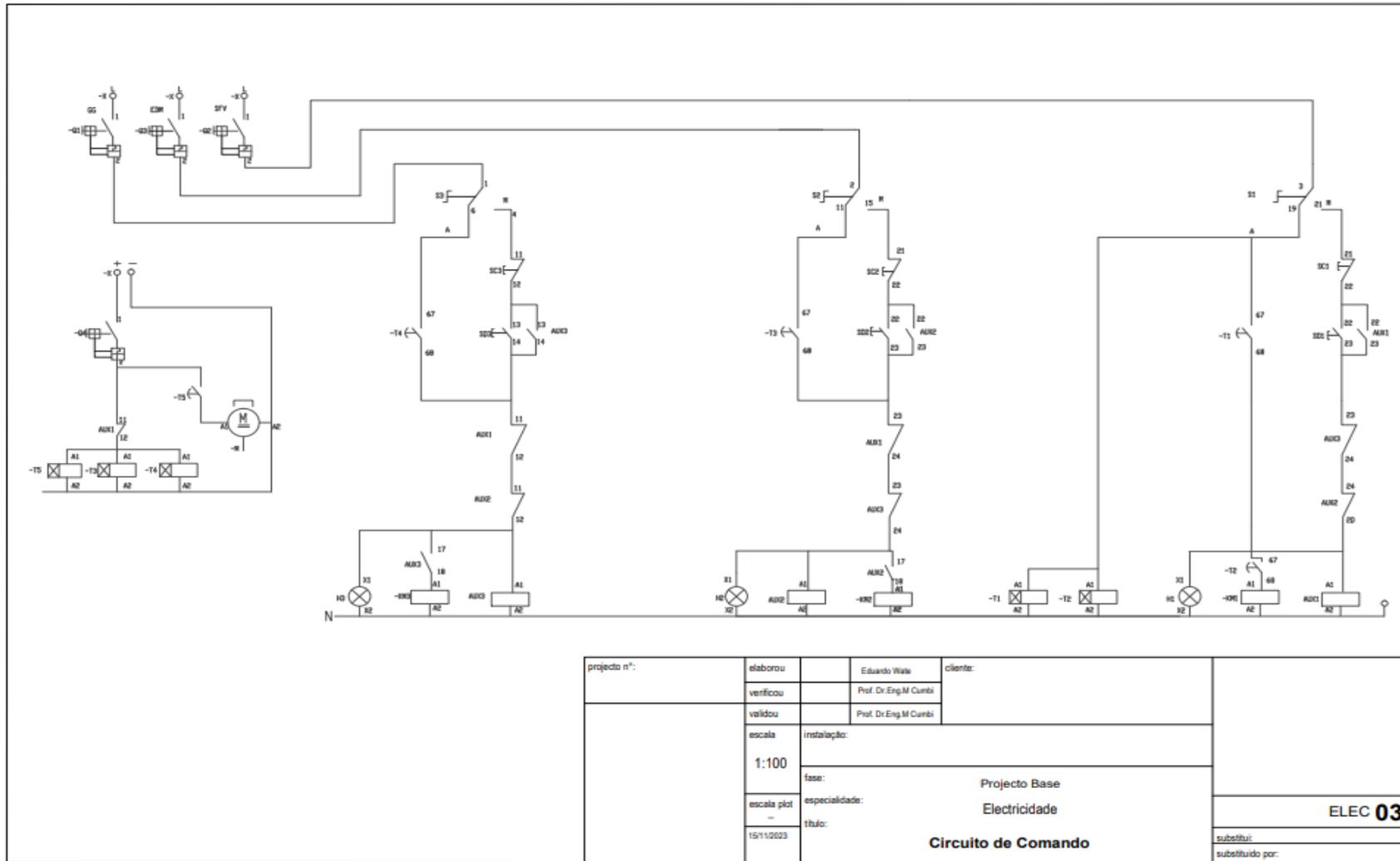
Estimativa de Custos					
Item	Designação	Unidade	Quant	Custo	
				Unitário	Total
1.1	Fornecimento e instalação de painel solar com capacidade de 700W, SPR-MAX3-400 da marca MAXEON	un	2	3 385,00	6 770,00
1.2	Fornecimento de inversores trifásicos até 400V de 250KW da marca ABB	un	12	86 553,00	1 038 636,00
1.3	Fornecimento e instalação de cabo DC com dupla proteção 1x6mm <sup>2</sup> (vermelho e preto).	m	1 000,00	17,4000	17 400,00
1.4	Fornecimento e montagem de estruturas para fixação de módulos solares ao solo, com dimensões 1690 x 1046 x 40 (mm), deverão abranger uma área de 168m <sup>2</sup>	un	1	23 400,00	23 400,00
1.5	Fornecimento e instalação de acessórios elétricos incluindo dispositivos de proteção e o respectivo quadro	un	1	94 850,00	94 850,00
1.6	Fornecimento e instalação de quadro de transferência com todos os acessórios	un	1	67 500,00	67 500,00
1.7	Fornecimento e fixação de calhas de 15cm de largura e 3m de comprimento para instalação da casa de força	m	26	850	22 100,00
1.8	Fornecimento e instalação de cabos elétricos (Vermelho, Azul e Preto) de 4mm <sup>2</sup> , 50m de comprimento ou rolo	m	2	4 280,00	8 560,00
1.9	Fornecimento e instalação de cabos elétricos (Vermelho, Azul e Preto) de 2,5 mm <sup>2</sup> , 50m de comprimento ou rolo	m	3	220	660
1.10	Fornecimento e instalação de cabos elétricos <b>XAV 0.6/1 KV 3X240+1X95+T</b>	m	450	850	382 500,00
1.18	Transporte	-	1	18 350,00	18 350,00
				Sub Total	1 553 916,00
				IVA	248626,56
				<b>Custo Total do Projeto</b>	<b>1 802 542,56</b>

### Apêndice 3. Sistema de Integração da Planta Fotovoltaica





## Apêndice 4: circuito de comando de integração de sistemas





ANEXOS

# Anexo 1 Características de Modulo Fotovoltaico

Tabela A1-1: Características de Modulo Fotovoltaico



**Anexo 2 Capacidade de condução de corrente para cabos de corrente continua instalados em temperatura ambiente de 30°C**

**Tabela A2-2:** Capacidade de condução de corrente para cabos corrente continua instalados em temperatura ambiente de 30°C

Seção	Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol				Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol			
	Modo de Instalação:				Modo de Instalação:			
mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	1	2	3	4
1,5	24	23	27	23	20	19	24	20
2,5	32	31	36	32	26	26	32	26
4	42	41	48	42	35	34	42	35
6	53	53	61	54	44	43	53	45
10	74	74	85	76	61	60	74	62
16	98	98	112	101	79	79	97	83
25	131	131	149	136	104	105	127	110
35	163	164	185	170	128	130	157	137
50	205	208	233	215	159	163	197	173
70	255	259	291	270	196	201	244	216
95	307	313	350	326	233	241	291	259
120	360	367	411	384	271	281	340	304
150	415	424	473	444	308	321	388	349
185	474	484	539	508	347	363	439	397
240	568	581	645	611	411	431	523	475
300	656	671	746	708	471	494	601	547
400	790	808	897	854	558	586	716	656

### Anexo 3-3 Características Eléctricas dos Cabos do tipo XAV e XV

Tabela 3-3: Características Eléctricas dos Cabos do tipo XAV e XV

Secção Nominal mm <sup>2</sup>	1 Condutor			2 Condutores (5)			3, 4 e 4+T Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão $\Delta U=V / AKm$ Cos $\phi = 0,8$ (4)	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão $\Delta U=V / AKm$ Cos $\phi = 0,8$	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão $\Delta U=V / AKm$ Cos $\phi = 0,8$
1	-	24	32,100	-	20	37,000	-	18	32,000
1,5	48	32	21,500	32	26	24,800	30	24	21,400
2,5	63	43	13,200	43	35	15,200	40	32	13,100
4	82	57	8,270	55	45	9,510	52	42	8,240
6	103	72	5,600	68	58	6,380	64	53	5,530
10	137	99	3,340	90	80	3,830	86	73	3,310
16	177	131	2,140	115	105	2,440	111	96	2,110
25	229	177	1,360	149	143	1,570	143	130	1,350
35	275	218	1,020	178	176	1,150	173	160	1,010
50	327	266	0,776	211	215	0,870	205	195	0,774
70	402	338	0,562	259	270	0,623	252	247	0,559
95	482	416	0,427	310	335	0,469	303	305	0,425
120	550	487	0,356	352	390	0,387	346	355	0,353
150	618	559	0,306	396	447	0,329	390	407	0,303
185	701	648	0,261	449	514	0,227	441	469	0,259
240	819	779	0,218	521	610	0,228	511	551	0,215
300	931	902	0,189	-	-	-	-	-	-
400	1073	1100	0,165	-	-	-	-	-	-
500	1223	1246	0,144	-	-	-	-	-	-

### A3-3 Características Eléctricas dos Cabos do tipo VAV e VV

Tabela 3-3.1: Características Eléctricas dos Cabos do tipo VAV e VV

Secção Nominal mm <sup>2</sup>	1 Condutor			2 Condutores (5)			3, 4 e 4+T Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão $\Delta U=V / AKm$ Cos $\phi = 0,8$ (4)	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão $\Delta U=V / AKm$ Cos $\phi = 0,8$	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão $\Delta U=V / AKm$ Cos $\phi = 0,8$
0,5	-	12	-	-	10	-	-	9	-
0,75	-	15	-	-	13,5	-	-	12	-
1	-	18	-	-	14,5	34,800	-	13	30,100
1,5	34	23	20,200	30	19	23,300	25	17	20,200
2,5	45	31	12,400	40	26	14,300	35	24	12,400
4	60	42	7,770	50	35	8,940	45	31	7,740
6	75	52	5,220	65	44	6,000	60	42	5,190
10	105	74	3,140	90	61	3,600	80	57	3,120
16	135	96	2,020	120	83	2,300	110	79	1,990
25	180	127	1,310	155	110	1,480	135	96	1,280
35	225	158	0,963	185	132	1,080	165	114	0,946
50	260	184	0,734	220	158	0,822	190	132	0,718
70	345	242	0,533	280	198	0,589	245	171	0,520
95	410	290	0,406	335	237	0,443	295	206	0,393
120	485	343	0,340	380	268	0,368	340	237	0,326
150	550	387	0,299	435	308	0,313	390	272	0,279
185	630	444	0,250	490	343	0,265	445	312	0,238
240	740	523	0,210	570	400	0,218	515	360	0,198
300	855	602	0,183	640	448	0,188	590	413	0,172
400	1015	721	0,160	760	536	0,164	700	492	0,150
500	1170	822	0,140	-	-	-	-	-	-

## Anexo 4 Característica do inversor

Tabela 4-4: Características Técnicas do Inversor

<b>Dados Técnicos</b>	
Designação	Inversor ABB PVS 800-57-0250KW-A
<b>Alimentação em DC</b>	
Máxima potencia de entrada	300KWp
Intervalo da entrada DC	450-750V
Tensão DC Máxima	900V
Máxima corrente Máxima	600A
Rampa de tensão	<3%
Numero de entrada DC protegida	4(+/-)
<b>Saída em AC</b>	
Potencia	250KW
Corrente nominal	485A
Tensão máxima	380V
frequência	60HZ
Rampa de tensão	<3%
Tipo de rede de distribuição	TN & IT
Eficiência	98.6%
Dimensões(mm)	1830/2130/644



## Anexo 5: Acta de encontro

### Tabela 5.1-5: Acta de encontro numero 1



## UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA

### ACTA DE ENCONTROS

REFERENCIA DO TEMA	2023ELEPPL33
--------------------	--------------

#### 1. AGENDA

Apresentação do TAT e Discussão do Tema
---

#### 2. PRESENCAS

Supervisor	Prof.Dr.Eng <sup>o</sup> . M. Cumbi
Co-Supervisor	
Estudante	Eduardo Vasco Wate
Outros	

#### 3. RESUMO DO ENCONTRO:

Correção do tema
Correção da formulação do problema
Correção da metodologia

#### 4. RECOMENDAÇÕES:

Reformular alguns aspetos relacionado ao problema
Reformular objetivos

#### 5. OBSERVAÇÕES

6.Data do próximo encontro:	24/08/2023

## Anexo 5.1-6: Acta de encontro número 2

### Tabela 5.1-6: Acta de encontro número 2

## UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE



### FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA

### ACTA DE ENCONTROS

Referencia do tema	2023ELEPPL33
--------------------	--------------

#### 1.AGENDA

Apresentação do relatório primeira versão
---

#### 2.PRESENCAS

Supervisor	Prof.Dr.Eng <sup>o</sup> . M. Cumbi
Co-Supervisor	
Estudante	Eduardo Vasco Wate
Outros	

#### 3.RESUMO DO ENCONTRO:

Avaliação do primeira versão do relatório
Avaliação de aspetos bibliográficos
Avaliação do cenário atual do fornecimento de energia
Avaliação da organização do relatório

#### 4.RECOMENDAÇÕES:

Reformular os aspetos relacionado a configuração do projecto
Demonstrar o levantamento de carga

#### 5. OBSERVAÇÕES

--

6.DATA DO PROXIMO ENCOTRO:	12/09/2023
----------------------------	------------

## Anexo 5.1-7: Acta de encontro número 3

Tabela 5.1-7: Acta de encontro número 3

### UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE



FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA

#### ACTA DE ENCONTROS

REFERENCIA DO TEMA	2023ELEPPL33
<b>1.AGENDA</b>	
Apresentação do avanço do trabalho e conclusões	
<b>2.PRESENCAS</b>	
Supervisor	Prof.Dr.Eng <sup>o</sup> . M. Cumbi
Co-Supervisor	
Estudante	Eduardo Vasco Wate
Outros	
<b>3. RESUMO DO ENCONTRO:</b>	
Avaliação de todos aspetos organizacionais do relatório	
<b>4.RECOMENDAÇÕES:</b>	
<b>5. OBSERVAÇÕES</b>	
<b>6.DATA DO PROXIMO ENCOTRO:</b>	01/11/2023

## Anexo 6: Relatório de Progresso

Tabela 6.1-8: Relatório de Progresso



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA

### Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA: DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO (SFV) PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA A EMPRESA SUMOL + COMPAL MOÇAMBIQUE SA

Atividades Planificadas

ACTIVIDADE	PRAZO PREVISTO
1.Reajuste do Tema	15/08/2023
2.Reajuste de Referencias Bibliográficas	29/09/2023
3.Reajuste de Configuração do Projecto	15/10/2023
4.Desevolvimento e Organização do Trabalho	30/10/2023

#### 1. CONTROLE DE EXECUÇÃO

DATA	ESTÁGIO(%)	OBSERVAÇÕES	RUBRICA
16/08/2023	15	Reajustar o resumo	
23/08/2023	70	Reajustar os objetivos e metodologia	
30/08/2023	100	Pode avançar com revisão bibliográfica	
12/09/2023	50	Fazer especificação técnica dos dispositivos	
26/09/2023	75	Acertar erros ortográficos	
03/10/2023	100	Pode avançar com a parte pratica	
17/10/2023	30	Demstrar os desenhos do perfil	
24//10/2023	75	consumo energético	
01/11/2023	100	Pode avançar com estimativa do custo	
03/11/2023	45	Acertar a paginação dos anexos em conformidade com regras de culminação do curso	
07/11/2023	85	Compilar todas informações num documento	
10/11/2023	100	Avançar com conclusão e recomendações	

Anexo 7: F1 - Guia de avaliação do relatório escrito  
Tabela 7.1-9: F1-Guia de avaliação do relatório escrito

ANEXO 10.  
**GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO**



FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

**F1 - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO**

Nome do estudante: Eduardo Vasco Mate  
Referência do tema: 2023ELEPPL33 Data: 15/11/2023  
Título do tema: Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico (SFV) para...

<b>1. Resumo</b>										
1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo (clareza, organização, correlação com o apresentado)										
	1	2	3	4	5					
Secção 1 subtotal (max: 5)										4

<b>2. Organização (estrutura) e explanação</b>										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5					
2.2. Introdução, antecedentes e pesquisa bibliográfica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 2 subtotal(max: 45)										32

<b>3. Argumentação</b>										
3.1. Criatividade e originalidade	1	2	3	4	5					
3.2. Rigor	1	2	3	4	5					
3.3. Análise crítica, evidência e lógica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4. Relação objectivos/ métodos/ resultados/conclusões	1	2	3	4	5					
3.5. Relevância	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal(max: 30)										23

<b>4. Apresentação e estilo da escrita</b>										
4.1. Legibilidade e organização	1	2	3	4	5					
4.2. Bustração e qualidade das figuras e tabelas	1	2	3	4	5					
4.3. Estilo da escrita (fluência do texto, uso da língua e gramática)	1	2	3	4	5					
4.4. Fontes bibliográficas (citação correcta, referências, etc)	1	2	3	4	5					
Secção 4 subtotal(max: 20)										16

Total de pontos (max: 100) 75

Nota (=Total\*0,2) 15,0

Nota: Quando exista a componente gráfica (desenhos técnicos), a nota acima é multiplicada por 0,8 cabendo os restantes 20% do peso à referida parte gráfica.

O supervisor

Maputo, 15 de Junho de 2023

Anexo 8: F2 - Guia de Avaliação de Apresentação Oral e Defesa  
Tabela 8.1-10: F2 - Guia de Avaliação de Apresentação Oral e Defesa numero 1

**ANEXO 11.**  
**GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA**  
**(PELO JÚRI)**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA

**F2 – GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA**

Nome do estudante: EDUARDO VASCO WATE  
Referência do tema: 2023 ELEPPC 33 Data: 21/12/2023  
Título do tema: DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA A EMPRESA SIMUL + COMPAC PROG. LUBILOU, SA

1. Introdução										
1.1. Apresentação dos pontos chaves na introdução (Contexto e importância do trabalho)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Secção 1 subtotal(max: 10)</b>										<b>6</b>

2. Organização e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Secção 2 subtotal(max: 25)</b>										<b>15</b>

3. Estilo da apresentação										
3.1. Uso efectivo do tempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.2. Clareza, tom, vivacidade e entusiasmo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.3. Uso e qualidade dos audio-visuais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Secção 3 subtotal(max: 15)</b>										<b>13</b>

4. Defesa										
4.1. Exactidão nas respostas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.2. Domínio dos conceitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.3. Confiança e domínio do trabalho realizado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.4. Domínio do significado e aplicação dos resultados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.5. Segurança nas intervenções	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Secção 3 subtotal(max: 50)</b>										<b>26</b>

<b>Total de pontos (max: 100)</b>	60	<b>Nota (=Total*0,2)</b>	12.0
-----------------------------------	----	--------------------------	------

*[Handwritten Signature]*  
21.12.2023

Anexo 9: F2 - Guia de Avaliação de Apresentação Oral e Defesa  
Tabela 9.1-11: F2 - Guia de Avaliação de Apresentação Oral e Defesa numero 2

**ANEXO 11.**  
**GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA**  
**(PELO JÚRI)**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

**F2 – GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA**

Nome do estudante: EDUARDO VASCO WATE  
Referência do tema: 2023ELE PPL33 Data: 21/12/2023

Título do tema: DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA FORNECIMENTO DE  
ENERGIA A EMPRESA SUMOLT COMPAZ MOFAMBIQUE SA

<b>1. Introdução</b>										
1.1. Apresentação dos pontos chaves na introdução (Contexto e importância do trabalho)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 1 subtotal(max: 10)	6									

<b>2. Organização e explanação</b>										
2.1. Objectivos	1	2	3							
2.3. Metodologia	1	2	3	4						
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8		
Secção 2 subtotal(max: 25)	19									

<b>3. Estilo da apresentação</b>										
3.1. Uso efectivo do tempo	1	2	3	4	5					
3.2. Clareza, tom, vivacidade e entusiasmo	1	2	3	4	5					
3.3. Uso e qualidade dos audio-visuais	1	2	3	4	5					
Secção 3 subtotal(max: 15)	13									

<b>4. Defesa</b>										
4.1. Exactidão nas respostas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.2. Domínio dos conceitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.3. Confiança e domínio do trabalho realizado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.4. Domínio do significado e aplicação dos resultados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.5. Segurança nas intervenções	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 3 subtotal(max: 50)	29									

Total de pontos (max: 100)	67	Nota (=Total*0,2)	13,4
----------------------------	----	-------------------	------

Anexo 10: F2 - Guia de Avaliação de Apresentação Oral e Defesa

Tabela 10.1-12: F2 - Guia de Avaliação de Apresentação Oral e Defesa numero 3

**ANEXO 11.**  
**GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA**  
**(PELO JÚRI)**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE.**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA

**F2 - GUIA DE AVALIAÇÃO DA APRESENTAÇÃO ORAL E DEFESA**

Nome do estudante: Eduardo Vasco Nete  
 Referência do tema: 2023 ELE PPL33 Data: 20/09/2023  
 Título do tema: Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para fornecimento de energia a empresa SINAL COMERCIAL MORGANVILLE SA

<b>1. Introdução</b>											
1.1. Apresentação dos pontos chaves na introdução (Contexto e importância do trabalho)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Secção 1 subtotal(max: 10)										6	
<b>2. Organização e explanação</b>											
2.1. Objectivos	1	2	3								
2.3. Metodologia	1	2	3	4							
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8			
Secção 2 subtotal(max: 25)										16	
<b>3. Estilo da apresentação</b>											
3.1. Uso efectivo do tempo	1	2	3	4	5						
3.2. Clareza, tom, vivacidade e entusiasmo	1	2	3	4	5						
3.3. Uso e qualidade dos audio-visuais	1	2	3	4	5						
Secção 3 subtotal(max: 15)										11	
<b>4. Defesa</b>											
4.1. Exactidão nas respostas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4.2. Domínio dos conceitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4.3. Confiança e domínio do trabalho realizado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4.4. Domínio do significado e aplicação dos resultados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4.5. Segurança nas intervenções	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Secção 3 subtotal(max: 50)										25	
<b>Total de pontos (max: 100)</b>	58				Nota (=Total*0,2)				11,6		

12,33  
Medi  
Fidelidade

20/09/2023

Anexo 10: Ficha de avaliação da atitude do estudante  
Tabela 11.1-13. - Ficha de avaliação da atitude do estudante

ANEXO 12  
FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE  
(PELO SUPERVISOR)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTECNICA

FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE  
(Auxiliar para o supervisor)

Nome do estudante: EDUARDO VASCO WATE  
Referência do tema: 2023 ELEPPL 23 Data:  / /  
Título do tema: DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO (SPV) PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA À EMPRESA S+C-ROF

Indicador	Classificação				
	1	2	3	4	5
Atitude geral (manteve uma disposição positiva e sentido de humor)					5
Dedicação e comprometimento (Deu grande prioridade ao projecto e aceitou as responsabilidades prontamente)				4	5
Independência (realizou as tarefas independentemente, como prometido e a tempo)				4	5
Iniciativa (viu o que devia ter sido feito e fê-lo sem hesitar e sem pressões do supervisor)				4	5
Flexibilidade (disponibilidade para se adaptar e estabelecer compromissos)				4	5
Sensibilidade (ouvia e tentou compreender as opiniões dos outros)				4	5
Criatividade (contribuiu com imaginação e novas ideias)				4	5
<b>Total de pontos (max: 35)</b>					

Valor do classificador	Cotação obtida	Significado
	1	Não aceitável (0 a 9 valores)
	2	Suficiente (10 a 13 valores)
	3	Bom (14 a 16 valores)
	4	Muito Bom (17 a 18 valores)
	5	Excelente (19 a 20 valores)

Total de pontos (max: 35) 29

Nota (=Total\*20/35) 16,5

*[Handwritten signature]*