



Comparação técnico-económica entre Sistemas com Inversores Centrais e Sistemas com Inversores *String*

Samuel Alberto Correia Rabaça

Relatório Final de Estágio Profissional apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança, para obtenção do Grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética

Orientador: Prof. Dr. José Magalhães Lima
Co-orientador: Eng. Leandro Bento

Bragança, Julho 2014

Resumo

Devido ao aumento da importância da energia solar a nível mundial e à crescente demanda energética, tem-se verificado uma contínua aposta em parques fotovoltaicos cada vez maiores por todo o mundo, sendo necessário otimizar cada vez mais as soluções para que a eficiência seja maior e consequentemente o lucro também. Contudo, em países onde fatores de radiação, temperatura, condições climatéricas e de construção, vão influenciar a decisão na escolha do sistema de inversor, há que escolher a mais acertada. Foi realizado um estudo para quatro geografias distintas (Chile, Índia, Portugal e Roménia) e três potências diferentes (1MW, 7.5MW e 15MW) das instalações fotovoltaicas para cada país, sendo ainda estudado para cada país e potência dois tipos de sistema: inversor central e inversor *string*. Foi simulada a produção e dimensionada toda a instalação para cada caso. Neste estudo comparou-se a produção específica e custo final da instalação por watt pico para cada país e potência em cada tipo de sistema. Verifica-se uma relação entre o tipo de sistema a seleccionar e a geografia da instalação.

Palavras-chave: Fotovoltaico, solar, inversor central, inversor *string*.

Abstract

Due to the increasing importance of solar energy worldwide and the growing energy demand, there has been a continuous investment in growing photovoltaic parks around the world, being necessary to optimize more and more solutions to that efficiency is higher and consequently the profit too. However, in countries where irradiation, temperature, weather and construction factors will influence the decision to choose the drive system, it is necessary to choose the right one. Was conducted a study for four different geographies (Chile, India, Portugal and Romania) and three different powers (1MW, 7.5MW e 15MW) photovoltaic installations for each country, still being studied for each country and two types of power system was performed: central inverter and string inverter. It was simulated the production and installation all dimensioned for each case. This study compared the specific production and final cost of installation by watt peak power for each country and for each type of production system. There is a relationship between the type of system to select and geography of the installation.

Keywords: Photovoltaic, solar, central inverter, string inverter.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Lima por ter sido um exemplo de humildade, simpatia, profissionalismo e boa disposição durante todo o meu período académico. Pela sua disponibilidade em orientar-me pela segunda vez no estágio e no processo da realização da tese.

Ao meu orientador na empresa Martifer Solar S.A., Eng. Leandro Bento, por me ter recebido pela segunda vez também de braços abertos, por toda a motivação e confiança depositada em mim e no meu trabalho.

Ao grupo espetacular que é o *Business Support* com quem convivi diariamente durante o período de estágio, que sempre se demonstraram disponíveis para as minhas dúvidas e questões, e em especial ao Eng. Jorge Almeida pelo empenho e incontornável contribuição na concretização desta tese.

À minha família, única e insubstituível que me apoiou durante todo o meu período académico, sem eles chegar aqui não seria possível. Aos meus pais e irmãos que me deram condições e ensinamentos essenciais, fazendo de mim a pessoa que sou hoje. À minha namorada que sempre esteve ao meu lado, apoiando-me e incentivando-me a querer e lutar sempre por mais sem nunca desistir dos meus objetivos. Ao meu tio Doutor António Correia e Doutor Armando Abreu que foram os responsáveis por ter realizado este estágio na Martifer Solar S.A., abrindo assim uma porta para o meu futuro.

Aos meus amigos, que são e serão sempre uma rede de apoio incondicional em todas as fases da vida!

Um muito obrigado!

Samuel Rabaça

Índice

Resumo	iii
Abstract	iv
Agradecimentos	v
Índice	vi
Lista de figuras	x
Lista de tabelas	xiii
Abreviaturas e Símbolos	xv
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Motivação	1
1.2 - Objetivos	2
1.3 - Potencial Solar	2
1.4 - Mudança na preferência pelo inversor fotovoltaico	3
1.5 - Estrutura do documento	4
Capítulo 2	5
Sistemas Solares Fotovoltaicos	5
2.1 - Energia Solar	5
2.2 - Energia Solar Fotovoltaica	6
2.2.1 - Efeito fotovoltaico	6
2.2.2 - Elementos do sistema fotovoltaico	7
2.2.3 - Fabrico de células fotovoltaicas	7
2.3 - Módulo Fotovoltaico	8
2.3.1 - Tipos de módulos fotovoltaicos	8
2.3.1.1 - Silício Cristalino	8
2.3.1.2 - Filme Fino	9
2.3.1.3 - Módulos de Elevada Performance	10
2.3.2 - Constituição do módulo fotovoltaico de c-Si	11
2.4 - Inversor DC/AC	12

2.4.1 - Tipos de inversores	12
2.4.1.1 - Inversor Central.....	12
2.4.1.2 - Inversor <i>String</i>	13
2.4.1.3 - Inversor Multi- <i>String</i>	14
2.4.1.4 - Micro inversor	14
2.4.2 - Dimensionamento dos Inversores	15
2.4.3 - Rendimento europeu de um inversor	15
2.4.4 - Curva de eficiência.....	16
2.4.5 - MPPT (<i>Maximum Power Point Tracking</i>)	16
2.4.6 - Monitorização	17
2.5.6.1 - SCADA	19
2.5.6.2 - Monitorização Remota	19
2.6 - Estruturas fotovoltaicas	19
2.6.1 - Estrutura fixa.....	19
2.6.2 - Estrutura seguidor de um eixo horizontal	20
2.6.3 - Estrutura seguidor de um eixo inclinado.....	21
2.6.4 - Estrutura seguidor de um eixo vertical.....	22
2.6.5 - Estrutura seguidor de dois eixos	23
2.7 - Configurações dos Sistemas Fotovoltáicos	24
2.7.1 - Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois tipos.....	24
2.7.1.1 - Isolados/autónomos com ou sem armazenamento	24
2.7.1.2 - Ligados à rede	24
2.7.2 - Associação de Módulos Fotovoltáicos.....	24
2.7.2.1 - Curva I-V	24
2.7.2.2 - Ligação em série (<i>string</i>).....	25
2.7.2.3 - Ligação em paralelo	27
2.7.2.4 - Ligação em série-paralelo (mista).....	28
2.7.3 - PR (<i>Performance Ratio</i>).....	29
2.7.4 - Rendimento	30
Capítulo 3.....	31
Central vs. <i>String</i>	31
3.1 - Prós e Contras	32
3.2 - Inversor Central.....	33
3.2.1 - Principais características técnicas	33
3.2.2 - Curva de eficiência.....	34
3.3 - Inversor <i>String</i>	34
3.3.1 - Principais características técnicas	35
3.3.2 - Curva de eficiência.....	35
3.4 - Dados dos módulos fotovoltaicos	36
3.5 - O&M	37
Capítulo 4.....	38
Caso de estudo particular.....	38
4.1 - Informação básica	38
4.2 - Limites do terreno	39
4.3 - Configuração	39
4.3.1 - Altura Solar	39
4.3.2 - Disposição dos módulos.....	40
4.3.2.1 - Cálculo do <i>pitch</i>	41

4.4 - Inversor Central.....	42
4.4.1 - Fase 1. Técnica.....	42
4.4.1.1 - Dimensionamento dos Inversores	42
4.4.1.2 - Simulação PVsyst®.....	42
4.4.1.3 - Perdas Cablagem.....	43
4.4.1.4 - Cálculo Cablagem	43
4.4.2 - Fase 2. Construção	43
4.4.2.1 - <i>Layout</i>	43
4.4.2.2 - Lista de quantidades	44
4.4.3 - Fase 3. Comercial.....	45
4.5 - Inversor <i>String</i>	45
4.5.1 - Fase 1. Técnica.....	45
4.5.1.1 - Dimensionamento dos Inversores	45
4.5.1.2 - Simulação PVsyst®.....	46
4.5.1.3 - Perdas Cablagem.....	46
4.5.1.4 - Cálculo Cablagem	46
4.5.2 - Fase 2. Construção	47
4.5.2.1 - <i>Layout</i>	47
4.5.2.2 - Lista de material utilizado.....	47
4.5.3 - Fase 3. Comercial.....	48
4.6 - Conclusões	48
Capítulo 5.....	50
Análise de outras geografias.....	50
5.1 - Geografia.....	51
5.2 - Chile	52
5.2.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento	52
5.2.2 - Análise Económica – Chile 1MW.....	52
5.2.3 - Análise Económica – Chile 7.5MW.....	53
5.2.4 - Análise Económica – Chile 15MW.....	53
5.2.5 - Resumo.....	54
5.3 - Índia.....	54
5.3.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento	54
5.3.2 - Análise Económica – Índia 1MW	55
5.3.3 - Análise Económica – Índia 7.5MW	55
5.3.4 - Análise Económica – Índia 15MW	56
5.3.5 - Resumo.....	56
5.4 - Portugal	57
5.4.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento	57
5.4.2 - Análise Económica – Portugal 1MW.....	57
5.4.3 - Análise Económica – Portugal 7.5MW.....	58
5.4.4 - Análise Económica – Portugal 15MW.....	58
5.4.5 - Resumo.....	59
5.5 - Roménia	59
5.5.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento	59
5.5.2 - Análise Económica – Roménia 1MW.....	60
5.5.3 - Análise Económica – Roménia 7.5MW.....	60
5.5.4 - Análise Económica – Roménia 15MW.....	60
5.5.5 - Resumo.....	61

Capítulo 6	62
Conclusão	62
Referências	64
Anexo A	68
<i>Datasheets</i>	68
Anexo B	73
Análise Económica Caso de estudo particular (Capítulo 4)	73
Anexo C	75
Análise económica de outras geografias (Capítulo 5).....	75
Anexo D	88
<i>Layouts</i>	88

Lista de figuras

Figura 1.1 - Radiação solar versus recursos energéticos globais [1].....	3
Figura 1.2 - Preferências pelos inversores fotovoltaicos [2]	3
Figura 2.1 - Funcionamento de célula solar fotovoltaica [3].....	6
Figura 2.2 - Diferenças entre os vários conceitos PV.....	7
Figura 2.3 - Processo de fabrico de Silício Monocristalino e Policristalino [10].....	7
Figura 2.4 - Constituição interna de um módulo PV [17]	12
Figura 2.5 - Inversor Central [26].....	13
Figura 2.6 - Inversor de <i>String</i> [26].....	13
Figura 2.7 - Inversor Multi- <i>String</i> [26]	14
Figura 2.8 - Micro Inversor [26].....	14
Figura 2.9 - Curva rendimento europeu de um inversor [24].....	16
Figura 2.10 - Gráfico I-V de uma célula fotovoltaica	17
Figura 2.11 - Esquema de monitorização [22]	18
Figura 2.12 - Estrutura fixa para painéis solares fotovoltaicos [20].....	20
Figura 2.13 - Estrutura seguidor solar de um eixo horizontal para painéis solares fotovoltaicos [20].....	21
Figura 2.14 - Estrutura seguidor solar de um eixo inclinado para painéis solares fotovoltaicos [20].....	22
Figura 2.15 - Estrutura seguidor solar de um eixo vertical para painéis solares fotovoltaicos [20].....	23

Figura 2.16 - Estrutura seguidor solar de um eixo vertical para painéis solares fotovoltaicos [21].....	23
Figura 2.17 - Curva I-V de um módulo fotovoltaico [18].....	25
Figura 2.18 - Representação esquemática do símbolo utilizado para um módulo fotovoltaico [19]	25
Figura 2.19 - Representação esquemática da associação em série de n módulos fotovoltaicos [19].....	26
Figura 2.20 - Representação das curvas IV relativas à associação em série de três módulos PV [19].....	26
Figura 2.21 - Representação esquemática da associação em paralelo de n módulos fotovoltaicos [19].....	27
Figura 2.22 - Representação das curvas IV referentes à associação em paralelo de três módulos PV [19].....	28
Figura 2.23 - Representação esquemática da associação mista de n módulos PV [19] .	28
Figura 2.24 - Representação das curvas IV relativas à associação mista de três módulos PV [19].....	29
Figura 3.1 - a) Esquema inversor central; b) Esquema inversor <i>string</i> [4]	31
Figura 3.2 - Inversor Central <i>Power Electronics</i> , utilizado nos estudos [29]	33
Figura 3.3 - Curva de eficiência para o inversor central [30].....	34
Figura 3.4 - Inversor <i>String Power-One</i> , utilizado nos estudos [27].....	35
Figura 3.5 - Curva de eficiência para o inversor <i>string</i> [28]	36
Figura 4.1 – Limitação do terreno para implantação do parque fotovoltaico.....	39
Figura 4.2 - Variação da altura do Sol [13]	40
Figura 4.3 - Cálculo da distância entre mesas	41
Figura 4.4 - Perdas admitidas na cablagem DC e AC, para os inversores centrais.....	43
Figura 4.5 - <i>Layout</i> com os inversores centrais para o parque fotovoltaico em Portugal	44
Figura 4.6 - Perdas admitidas na cablagem DC e AC, para os inversores <i>string</i>	46
Figura 4.7 - <i>Layout</i> com os inversores <i>string</i> para o parque fotovoltaico em Portugal..	47
Figura 5.1 - Mapa-mundo da radiação global horizontal [31].....	51
Figura A.1 - <i>Datasheet</i> do módulo CSUN250-60P	69

Figura A.2 - <i>Datasheet</i> inversor central <i>Power Electronics FreeSun</i> FS1250 HE 360V	70
Figura A.3 - <i>Datasheet</i> inversor central <i>Power Electronics FreeSun</i> FS1001 HE 330V	71
Figura A.4 - <i>Datasheet</i> inversor <i>string</i> <i>Power One</i> TRIO 27.6 TL-OUTD	72
Figura B.1 - Análise económica caso de estudo particular.....	74
Figura C.1 - Análise económica Chile 1MW	76
Figura C.2 - Análise económica Chile 7.5MW	77
Figura C.3 - Análise económica Chile 15MW	78
Figura C.4 - Análise económica Índia 1MW.....	79
Figura C.5 - Análise económica Índia 7.5MW	80
Figura C.6 - Análise económica Índia 15MW.....	81
Figura C.7 - Análise económica Portugal 1MW	82
Figura C.8 - Análise económica Portugal 7.5MW	83
Figura C.9 - Análise económica Portugal 15MW	84
Figura C.10 - Análise económica Roménia 1MW	85
Figura C.11 - Análise económica Roménia 7.5MW	86
Figura C.12 - Análise económica Roménia 15MW	87

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Prós e Contras do Inversor Central.....	32
Tabela 3.2 - Prós e Contras do Inversor <i>String</i>	32
Tabela 3.3 – Características técnicas do inversor central FREESUN HE 1001CH	33
Tabela 3.4 - Características técnicas do inversor central FREESUN HE 1250_H.....	34
Tabela 3.5 - Características técnicas do inversor <i>string</i>	35
Tabela 3.6 - Dados do módulo fotovoltaico utilizado	36
Tabela 4.1 - Informação básica sobre o local	38
Tabela 4.2 - Informação sobre a disposição dos módulos	41
Tabela 4.3 - Produção simulada no PVsyst® com inversores centrais	43
Tabela 4.4 - Lista de quantidades utilizada para a instalação com inversores centrais ..	44
Tabela 4.5 - Análise comercial para a instalação com inversores centrais.....	45
Tabela 4.6 - Produção simulada no PVsyst® com inversores <i>string</i>	46
Tabela 4.7 - Lista de quantidades utilizada para a instalação com inversores <i>string</i>	47
Tabela 4.8 - Análise comercial para a instalação com inversores <i>string</i>	48
Tabela 4.9 - Comparação do investimento com inversores centrais e inversores <i>string</i>	48
Tabela 5.1 - Radiação global horizontal, radiação difusa e temperatura média ambiente para os diferentes países.....	51

Tabela 5.2 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Chile.....	52
Tabela 5.3 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para o Chile - 1MW	53
Tabela 5.4 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para o Chile - 7.5MW	53
Tabela 5.5 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para o Chile - 15MW	54
Tabela 5.6 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Índia	54
Tabela 5.7 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para a Índia - 1MW .	55
Tabela 5.8 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para a Índia - 7.5MW	55
Tabela 5.9 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para a Índia - 15MW	56
Tabela 5.10 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Portugal	57
Tabela 5.11 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para Portugal - 1MW	57
Tabela 5.12 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para Portugal - 7.5MW	58
Tabela 5.13 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para Portugal - 15MW	58
Tabela 5.14 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Roménia	59
Tabela 5.15 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para a Roménia - 1MW	60
Tabela 5.16 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para a Roménia - 7.5MW	60
Tabela 5.17 - Análise económica com inversores centrais e <i>string</i> para a Roménia - 15MW	61

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AC	(<i>Alternate Current</i>) - corrente alternada
AM	(<i>Airmass</i>) - massa de ar
BT	(Baixa Tensão) - parâmetro
CdTe	(Telúrio de Cádmiio) - material alternativo ao silício
CIGS	(<i>Copper indium gallium (di)selenide</i>) - material célula
DC	(<i>Direct Current</i>) - corrente contínua
PS	(Posto de Seccionamento) - instalação
EPIA	(<i>European Photovoltaic Industry Association</i>) - entidade
EPI	(Equipamento de Proteção Individual) - equipamento
ESI	(<i>European Solar Initiative</i>) - entidade
EVA	(Etileno, Vinil e Acetato) - material
FF	(Fator Forma) - parâmetro elétrico
GaAS	(<i>Gallium Arsenide</i>) - material célula
IHS	Empresa de Pesquisa de Mercado
LID	(<i>Light Induced Degradation</i>) - fenómeno
MPP	(<i>Maximum Power Point</i>) - ponto potência máxima
MPPT	(<i>Maximum Power Point Tracking</i>) - procura do ponto potência máxima
MT	(Média Tensão) - parâmetro
NOCT	(<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>) - Condições Nominais de Temperatura de funcionamento da célula
O&M	(<i>Operation and Maintenance</i>) - serviço de operação e manutenção
PID	(<i>Potential Induced Degradation</i>) - fenómeno

PR	(<i>Performance Ratio</i>) – fator de qualidade de um sistema fotovoltaico
PV	(<i>Photovoltaics</i>) - fotovoltaico
RESP	(Rede Elétrica de Serviço Público) – entidade
SCADA	(<i>Supervisory Control And Data Acquisition Software</i>) – Controlo de Supervisão e Aquisição de Dados
SET	(<i>Strtegic Energy Technology</i>) - entidade
Si-a	(Silício amorfo) - material célula
Si-a:H	(Silício amorfo hidrogenado) - material célula
Si-c	(Silício cristalino) - material célula
Si-pc	(Silício policristalino) - material célula
STC	(<i>Standard Test Conditions</i>) - Condições teste (1000W/m ² , 25°C, AM 1.5)
PT	(Posto de transformação) - instalação

Lista de Símbolos

G	Radiação solar incidente
I	Corrente
I _{mpp}	Corrente de máxima potência
I _{sc}	Corrente curto-circuito
P	Potência
P _{máx}	Potência Máxima
T	Temperatura
U	Tensão
V	Corrente
V _{mpp}	Tensão de máxima potência
V _{oc}	Tensão circuito aberto

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo é apresentada a motivação para a elaboração deste documento. De seguida é exposta uma pequena secção referente ao potencial solar que afeta a Terra em comparação com todas as energias utilizadas pelo ser humano. É realizada uma primeira abordagem ao tema central, a utilização de inversores centrais e de *string*, onde é analisado um estudo feito por uma empresa sobre esse tema. No final são apresentados os objetivos e a estrutura do documento.

1.1 - Motivação

Hoje em dia verifica-se uma crescente procura de formas de energia alternativa devido à ascensão dos preços dos combustíveis fósseis. Cada vez mais a utilização de energias renováveis mostra-se como uma alternativa viável. Entre elas encontra-se a energia fotovoltaica, que tem apresentado um crescimento bastante acentuado ao longo dos últimos anos, tornando-a assim uma grande motivação para o seu estudo e desenvolvimento.

As energias renováveis são uma oportunidade clara para a Europa estabelecer e reforçar uma posição de destaque numa indústria altamente competitiva. Neste contexto, a energia fotovoltaica representa uma solução chave devido às suas características únicas, sendo uma tecnologia segura, limpa, robusta e eficiente, de aplicação acessível tanto a países desenvolvidos ou em desenvolvimento.

Além disso, a energia fotovoltaica está já associada a uma crescente indústria energética. O sucesso da mesma tem sido impulsionado também por medidas adotadas em diversos países da União Europeia sustentando a investigação e implementação. Os custos associados à tecnologia fotovoltaica têm-se tornado cada vez mais competitivos. Um grande esforço tem sido realizado visando um maior desenvolvimento e inovação com vista a tornar este sector cada vez mais produtivo e competitivo acelerando a sua evolução.

Assim, o impressionante progresso do sector fotovoltaico representa só por si uma grande motivação para a abordagem do mesmo. Impulsionado por mecanismos Europeus de incentivo à produção solar, nomeadamente o “*European Solar Initiative*” (ESI), que foi criado pelo “*European Strategic Energy Technology*” (SET), desenvolvido especialmente para acelerar a disponibilidade de tecnologias verdes com baixas emissões de carbono [4].

1.2 - Objetivos

O principal objetivo desta dissertação reside no desenvolvimento de um estudo a nível técnico-económico na utilização de inversores centrais ou inversores de *string* em instalações de grande capacidade, para diferentes potências e países.

O objetivo deste estudo é verificar até que potência fará sentido o recurso a inversores de *string*, e serão considerados fatores como o investimento inicial, custos de operação e manutenção e valores de performance do sistema (associados aos ganhos do sistema).

1.3 - Potencial Solar

Existe muito mais radiação solar disponível do que aquela que é utilizada, como se verifica na Figura 1.1. Em média cada metro quadrado de terra é exposto à radiação solar suficiente para gerar 1.700 kWh de energia por ano usando apenas a tecnologia atualmente disponível. O total de energia solar que chega à superfície da Terra poderia atender 10.000 vezes mais as necessidades energéticas. Onde há mais sol, mais energia pode ser gerada. A energia média recebida na Europa é cerca de 1.200 kWh/m² por ano,

enquanto no Médio Oriente a energia média recebida é entre 1.800 e 2.300 kWh/m² por ano [1] [14].

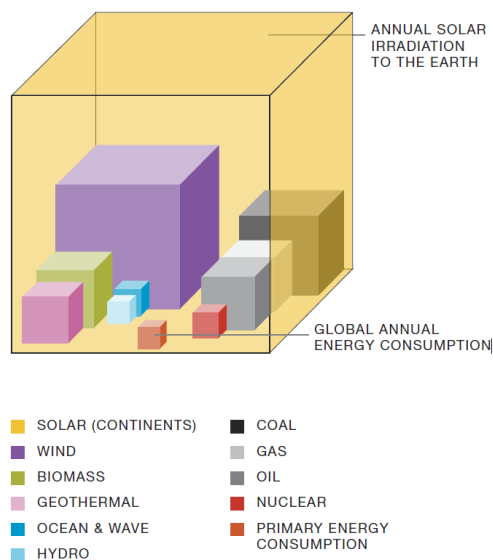


Figura 1.1 - Radiação solar versus recursos energéticos globais [1]

1.4 - Mudança na preferência pelo inversor fotovoltaico

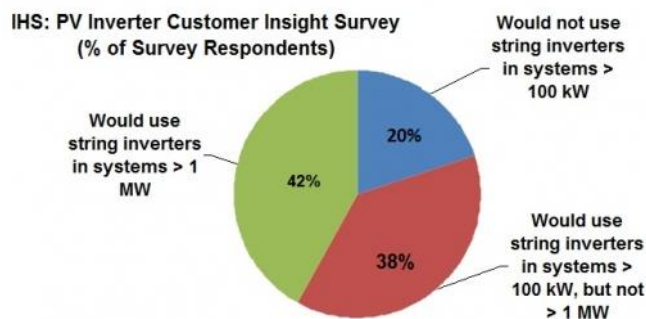


Figura 1.2 - Preferências pelos inversores fotovoltaicos [2]

O mercado de inversores fotovoltaicos continua a evoluir com a mudança de preferências pelos inversores *string* em relação aos inversores centrais, de acordo com a empresa de pesquisa de mercado, a IHS (Figura 1.2). Uma das principais conclusões da IHS é que há uma crescente procura pelos inversores *string* para parques fotovoltaicos acima de 1MW. De acordo com a pesquisa, 42% dos compradores de inversores, opta pelos inversores de *string* para parques de grande escala em vez dos inversores centrais, uma vez que os de *string* oferecem uma maior flexibilidade do projeto bem como uma redução nas perdas em caso de falha. Cerca de 20% dos compradores questionados não usariam inversores *string* em sistemas com potência acima dos 100kW, mas 38% dos

participantes do questionário usariam inversores de *string* em sistemas maiores que 100kW mas inferiores a 1MW.

A utilização de inversores *string* em sistemas de grande capacidade intensificou-se no último ano, sendo que irão continuar a participar em vários mercados fotovoltaicos. Outra mudança realizada pelos compradores de inversores é a compra a fornecedores chineses, notando-se a diminuição de interesse por qualidade e confiabilidade [2].

1.5 - Estrutura do documento

O presente documento encontra-se dividido em 6 capítulos incluindo este capítulo introdutório, onde é apresentada a motivação para a realização deste documento, os objetivos para este estudo, uma abordagem realizada por uma empresa de pesquisa de mercado sobre a questão fundamental do trabalho, a escolha de inversores de *string* ou centrais.

No Capítulo 2 é apresentada informação básica mas importante para a compreensão do problema tal como o material usado, o tipo e a constituição dos módulos e os tipos de estruturas. São também descritas todas as configurações possíveis ao nível do sistema.

No Capítulo 3 são expostos os prós e contras dos inversores centrais e dos inversores *string*, assim como as características técnicas de cada inversor utilizado nos estudos.

No Capítulo 4 é apresentado um caso de estudo particular para Portugal, onde é dimensionado uma instalação de 7.5MW e calculada a viabilidade económica para cada sistema.

No Capítulo 5, são analisadas várias geografias com condições distintas e para potências diferentes para tentar chegar à conclusão de qual o sistema mais favorável.

No último capítulo (Capítulo 6) é apresentada uma conclusão onde é abordado todo o trabalho, são comparadas soluções tendo em conta já o fator económico e viabilidade técnica de algumas alternativas apresentadas nos capítulos anteriores.

Capítulo 2

Sistemas Solares Fotovoltaicos

Neste capítulo é descrito inicialmente as várias formas de captação de energia solar e o efeito fotovoltaico. Posterior a esta informação, é exposta informação acerca dos módulos e sua constituição, dos inversores, informações técnicas e monitorização, tipos de estrutura e configurações dos sistemas. Embora extenso, é crucial para uma boa compreensão dos capítulos seguintes.

2.1 - Energia Solar

A energia solar pode ser captada de diferentes formas, através:

- do aproveitamento direto nos edifícios do calor proveniente do sol – Energia Solar Passiva;
- de coletores solares para a produção de água quente – Energia Solar Térmica;
- de “espelhos” que concentram a energia proveniente do sol num ponto para produzir vapor que, por sua vez, aciona uma turbina que produz energia elétrica – Energia Solar Termoelétrica;
- de painéis solares para a produção direta de energia elétrica a partir da radiação solar – Energia Solar Fotovoltaica [24].

Neste estudo apenas irá ser abordada a energia solar fotovoltaica.

2.2 - Energia Solar Fotovoltaica

2.2.1 - Efeito fotovoltaico

As células fotovoltaicas têm como princípio de funcionamento o efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. O efeito fotovoltaico explica a conversão de energia luminosa incidente numa junção p-n (célula fotovoltaica) em energia elétrica.

Segundo os princípios do efeito fotovoltaico, a incidência de fótons numa camada n de um material semicondutor fornece energia aos elétrons (portadores majoritários) que, quando superior à banda de energia intrínseca do semicondutor (*bandgap*) que separa as bandas de valência e de condução, provoca a criação de pares elétron-lacuna. O campo elétrico devido à existência da junção p-n promove a circulação dos elétrons pelo circuito de carga (exterior à célula fotovoltaica). A tensão da célula deve-se ao efeito de difusão que ocorre no material. O efeito de difusão e o campo elétrico devido à junção p-n neutralizam-se de forma a atingir um ponto de equilíbrio, dependente da corrente que circula pela carga. A recombinação de portadores na junção p-n, responsável pelo aparecimento da corrente de diodo, aumenta com o aumento da tensão externa. A diminuição da diferença de potencial aos terminais da célula, devida a aumento de carga, diminui o campo elétrico da junção provocando uma difusão mais larga e conseqüentemente uma diminuição da corrente de diodo (contrária à corrente de carga) [6] [7] [8].

Na Figura 2.1 pode-se observar um esquema simplificado do efeito fotovoltaico.

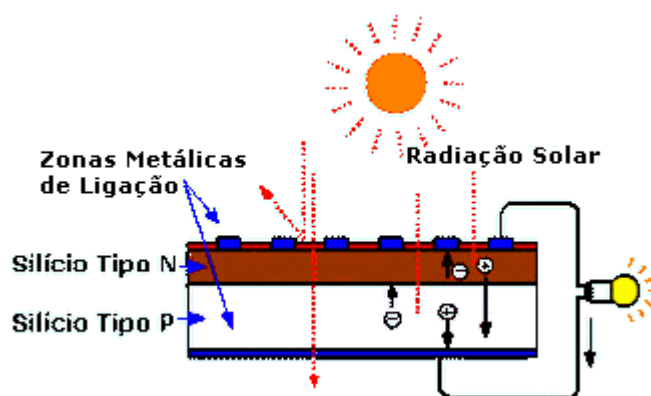


Figura 2.1 - Funcionamento de célula solar fotovoltaica [3]

2.2.2 - Elementos do sistema fotovoltaico

É importante referir a diferença entre células, módulos e painéis fotovoltaicos. Na Figura 2.2 pode-se observar as diferenças entre as nomenclaturas e o seu significado. Da esquerda para a direita, temos a célula solar que é a base onde se cria o efeito fotovoltaico, o módulo, que é um conjunto de células ligadas em série, e o painel, que é no fundo um conjunto de módulos que podem ser ligados em série ou em paralelo. O sistema é um conjunto de painéis ligados em paralelo ou em série a um ou vários inversores, no entanto, em habitações domésticas, o sistema pode ser constituído por um único painel.

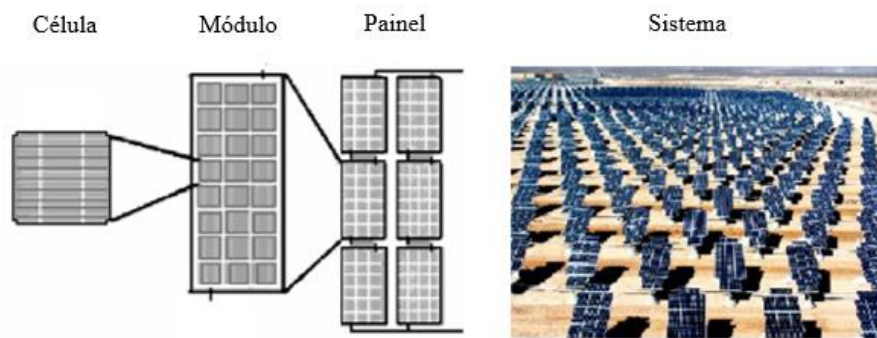


Figura 2.2 - Diferenças entre os vários conceitos PV

2.2.3 - Fabrico de células fotovoltaicas

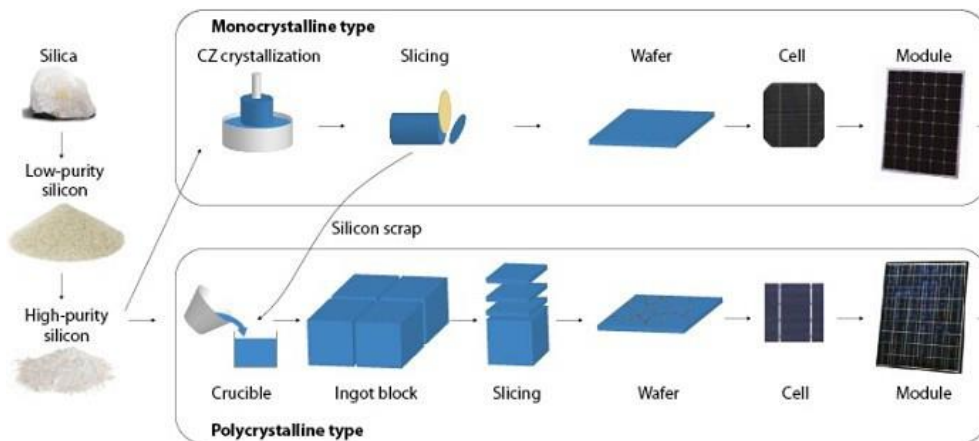


Figura 2.3 - Processo de fabrico de Silício Monocristalino e Policristalino [10]

Na Figura 2.3 é descrito o processo de fabrico do material mais usado atualmente no mercado, o silício. É o segundo elemento mais abundante na Terra, à temperatura ambiente o silício encontra-se no estado sólido. Na forma cristalina é muito duro e pouco

solúvel, apresenta um brilho metálico e transmite mais de 95% dos comprimentos de onda das radiações infravermelhas [9]. O silício monocristalino é uma forma deste elemento que possui uma estrutura cristalina homogênea ao longo de todo o material (incluindo orientação e propriedades elétricas). É frequentemente dopado com fósforo ou boro para criar respectivamente silício de tipo-N ou de tipo-P. Este tipo de silício é fabricado na forma de pastilhas (*wafers*) de silício. O silício policristalino é formado por grãos mais pequenos com uma orientação cristalográfica variada. Este material pode ser sintetizado facilmente, bastando para tal que o silício fundido seja posto a arrefecer numa forma cristalina com a estrutura adequada. Podem ser também usadas técnicas de cristalização que transformam silício de tipo amorfo em silício policristalino, nomeadamente a deposição química a vapor de alta temperatura [9] [10] [16].

2.3 - Módulo Fotovoltaico

2.3.1 - Tipos de módulos fotovoltaicos

A maioria dos módulos fotovoltaicos usa no fabrico das suas células silício. As células podem ser construídas através de silício monocristalino, policristalino e amorfo.

2.3.1.1 - Silício Cristalino

Monocristalino

O módulo de silício monocristalino é o mais usado e comercializado como conversor direto de energia solar em eletricidade. A tecnologia necessária à sua fabricação é um processo muito bem constituído. A fabricação do módulo de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. O silício, na indústria eletrónica, além do elevado grau de pureza deve ter a estrutura monocristalina e uma baixa densidade de defeitos. Considerando os módulos fotovoltaicos que utilizam o silício como material base, os monocristalinos são, em geral, os que apresentam as maiores eficiências, sendo no entanto, os mais caros. Os módulos comerciais obtidos com o processo descrito atingem uma eficiência até 15% podendo chegar a 18% em módulos testados em laboratórios [11].

Policristalino

Os módulos de silício policristalino são mais baratos que os de silício monocristalino por ter um processo de preparação das células menos rigoroso. Estes módulos são produzidos a partir de blocos de silício obtidos por fusão de blocos de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício arrefece lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Porém a eficiência é menor em comparação aos módulos de silício monocristalino. Basicamente, as técnicas de fabricação de módulos policristalinos são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com menor rigor de controlo. Atingem uma eficiência de 13% podendo chegar a 15% em módulos feitos em laboratórios [11]. Tem como desvantagem a perda elevada de eficiência quando expostos a radiação difusa e temperaturas elevadas.

2.3.1.2 - Filme Fino

Silício Amorfo (a-Si)

Um módulo de silício amorfo é diferente das demais estruturas cristalinas porque apresenta alto grau de desordem na estrutura dos átomos. Um semiconductor amorfo formado apenas por átomos de silício possui muitas ligações não compensadas que dão origem a centros de recombinação de eletrões tornando por isso o material inadequado para aplicação em módulos solares (para formação de díodos). A introdução de átomos de hidrogénio permitiu que partes dessas ligações fiquem compensadas dotando o material de propriedades eletro-ópticas mais interessantes, passando então a designar-se de silício amorfo hidrogenado, Si-a:H. A utilização de silício amorfo para uso em módulos tem revelado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas como no processo de fabricação. Apresenta uma maior absorção da radiação solar na faixa do visível e pode ser fabricado mediante a deposição de diversos tipos de substratos. O silício amorfo destaca-se como uma tecnologia adequada a sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira prende-se com a baixa eficiência de conversão comparada com os módulos mono e policristalinos. A segunda deve-se ao facto de os módulos serem afetados por um processo de degradação denominado de LID (*Light Induced Degradation*) nos primeiros meses de operação. São mais suscetíveis ao

aparecimento do PID devido às tensões de operação (muito superiores às cristalinas). Atingem uma eficiência entre 5 e 7% [11].

Módulos de CdTe

Esta tecnologia tem por base o telureto de cádmio, e apresenta um potencial considerável para a redução de custos quando produzida em massa. No entanto, a sua utilização tem levantado problemas devido ao uso de produtos contaminantes e venenosos. Apresenta uma eficiência de 16% em laboratório, no entanto, o valor para módulos comercializados não vai além de 8%. A estrutura destes módulos é homogênea e a gama de cores varia entre o verde-escuro e o preto [10]. Tem como vantagem a alta absorção de luz, funcionando bem com radiação difusa (ideal para regiões com muita nebulosidade).

Módulos de CIS (CuInSe₂)

Têm por base o Disseleneto de Cobre-Índio. Os módulos solares CIS são, atualmente, os mais eficientes de todos os de película fina. Não são tão suscetíveis à deterioração por indução de luz como os módulos de silício amorfo, mas no entanto apresentam problemas quando instalados em ambientes quentes e húmidos. Nestes casos é recomendada uma boa selagem contra este tipo de ambientes. Espera-se que uma produção em massa deste tipo de módulo possa vir a baixar o custo de produção em relação ao custo dos módulos de silício cristalino. A eficiência situa-se entre os 7,5 e os 9% nos módulos comercializados [11].

Módulos de CIGS

Constituídos pelos mesmos elementos dos CIS mas com a particularidade de o índio formar uma liga com o gálio o que permite obter melhores desempenhos. A sua eficiência máxima testada em laboratório é de 19,5% [12].

2.3.1.3 - Módulos de Elevada Performance

Existem também outros módulos denominados *Very high Performance Cells*, de grande performance mas que ainda não estão massificados devido aos materiais usados, a técnicas complexas de construção e montagem que fazem com que o seu uso não seja economicamente viável face às alternativas [10]. O seu uso é normalmente aplicado às

estações espaciais onde a área disponível para aplicação de módulos é reduzida e tem de se fazer render o espaço, o que leva à utilização de módulos com elevada eficiência.

Single and Double junction (GaAs)

Fabricado pela *Millennium Communication e Spires Semiconductors*, apresenta uma eficiência de 24% na dupla junção e 21% na de junção única, é composta por materiais como o Gálio (Ga) e o Índio (In). Este tipo de módulos concentram os fótons de luz numa segunda zona com células de alta eficiência [10]. Tem como desvantagem o elevado custo de matéria-prima e a complexidade de fabrico.

Multi-junction Nanowire PV Cells

Patenteado pela *Honda Motor Company*, este módulo combina o uso de semicondutores com nano condutores e é qualificado como uma tecnologia de 4ª geração para módulos.

Em termos de eficiência ainda não existem estudos concretos mas espera-se obter um rendimento aproximado de 40%, o módulo é composto por colunas de 20 nanómetros a fim de prevenir a ocorrência de defeitos na diferença de potencial sucessivo entre cinco diferentes materiais semicondutores. A matéria-prima utilizada para compor as cinco secções é o Gálio (Ga) e o Índio (In) em pequenas quantidades [10].

É de salientar que no estudo realizado são apenas utilizados módulos de silício policristalino, pois representa cerca de mais de 90% de módulos disponíveis no mercado.

2.3.2 - Constituição do módulo fotovoltaico de c-Si

Após construídas as células fotovoltaicas, estas são aplicadas entre uma placa de *tedlar* que se encontra no fundo e um vidro temperado na parte superior. São encapsuladas por camadas finas de EVA (Etileno - Acetato de Vinila), que garantem a resistência e estabilidade à radiação ultravioleta. A face que será exposta à radiação solar adquire um vidro temperado com baixo teor de ferro, que assegura uma elevada eficiência na condução da energia solar. Para proteção da parte anterior ao encapsulamento, são revestidas a *tedlar*, altamente resistente às agressões de agentes ambientais externos

(humidade, poeira, chuva, ventos, etc.). Normalmente, um módulo é emoldurado em alumínio para proporcionar o aperfeiçoamento e facilitar a sua instalação (Figura 2.4) [13] [15] [18].

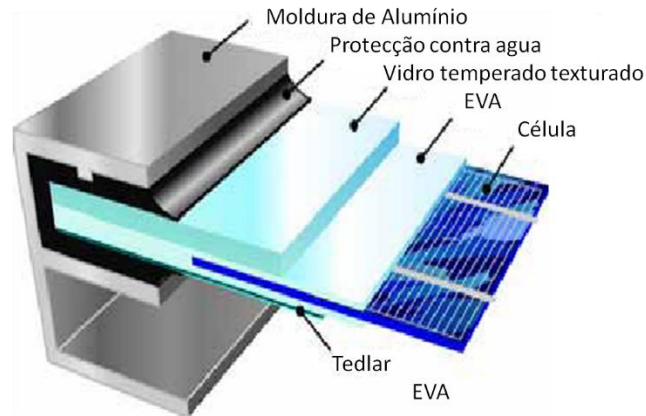


Figura 2.4 - Constituição interna de um módulo PV [17]

2.4 - Inversor DC/AC

A par dos módulos, o inversor DC/AC é o componente principal de uma instalação fotovoltaica e a sua principal função é converter o sinal DC do sistema fotovoltaico num sinal AC, com as mesmas características da RESP. Para além da conversão do sinal o inversor assume outras funções como o ajuste do ponto operacional do inversor ao MPPT do sistema PV, dispositivos de proteção AC e DC e registo de dados operacionais e sinalização.

2.4.1 - Tipos de inversores

2.4.1.1 - Inversor Central

Atualmente existem vários conceitos no que diz respeito aos inversores, mas inicialmente apenas era conhecido o inversor central. Esta solução é caracterizada pela ligação dos módulos em série de forma a constituírem *strings* que são depois ligadas a um único inversor, de potência aproximadamente igual ao sistema PV (Figura 2.5). Apesar de estes inversores serem robustos, de alta eficiência e baratos, apresentam uma

diminuição do rendimento na presença de incompatibilidades entre os módulos e sombreamento parcial, tem a desvantagem do MPPT centralizado, e obrigam a usar secções de cabos maiores devido às elevadas correntes. Devido às dimensões do inversor central, obriga a sua instalação num local próprio que por vezes se traduz em grandes distâncias entre o sistema fotovoltaico e o inversor, o que implica a utilização de caixas de derivação e de um ou vários cabos principais DC, dependendo do número de entradas do inversor. Os inversores centrais podem ser divididos em módulos, contendo mais MPPT maximizando assim a produção do sistema [26].

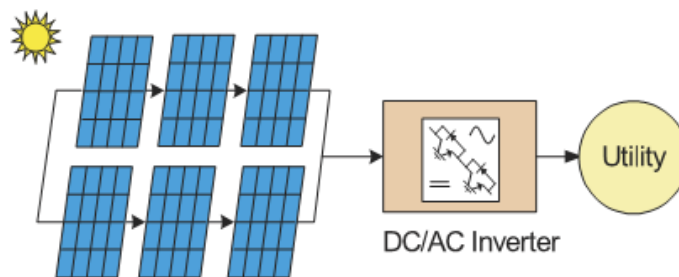


Figura 2.5 - Inversor Central [26]

2.4.1.2 - Inversor *String*

O conceito dos inversores de *strings*, Figura 2.6, é uma versão reduzida do inversor central aplicado a vários conjuntos de *strings*. Com esta solução cada conjunto de *strings* é associado a um inversor e por isso a um MPPT. Permite assim minimizar o impacto do sombreamento parcial e a incompatibilidade dos módulos. Além disso, as correntes são menores pelo que se pode usar secções menores nos cabos [25].

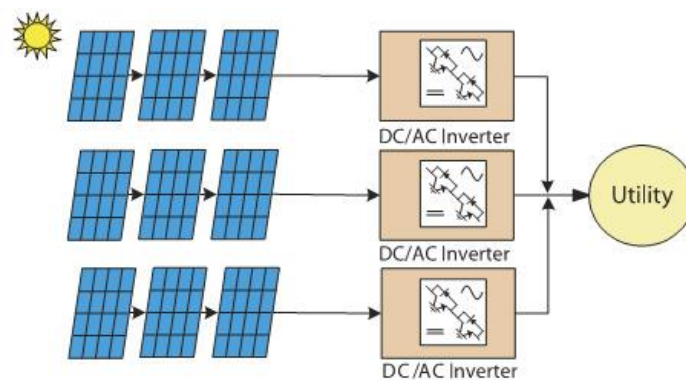


Figura 2.6 - Inversor de *String* [26]

2.4.1.3 - Inversor Multi-String

Uma outra solução é o conceito dos inversores multi-strings, Figura 2.7. O conceito é parecido com o inversor de *string* com a diferença da utilização de inversores DC/DC ligados à *string* (ou conjunto de *strings*) e estes ligados a um inversor central. Esta solução permite usar na mesma instalação diferentes módulos fotovoltaicos com diferentes tecnologias (por exemplo cristalino ou película fina) e orientação (por exemplo sul, oeste e este) [26].

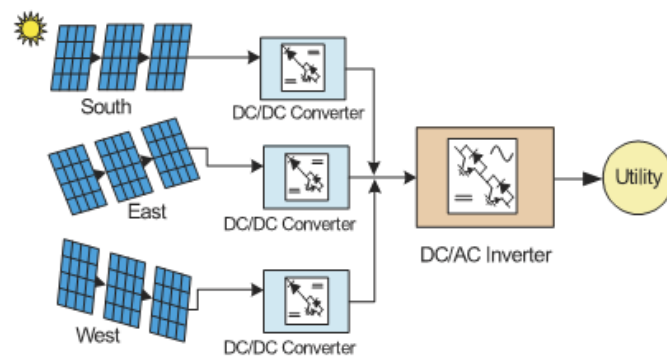


Figura 2.7 - Inversor Multi-String [26]

2.4.1.4 - Micro inversor

Por fim temos o conceito dos micro inversores, Figura 2.8. Estes módulos já possuem um inversor o que permite uma grande flexibilidade do sistema e um elevado rendimento já que cada módulo possui o seu próprio MPPT e a incompatibilidade entre módulos é eliminada. O uso de cabos DC também é eliminado. Apesar das suas vantagens o preço ainda é um entrave à sua aplicação mas pensa-se que será o futuro [26].

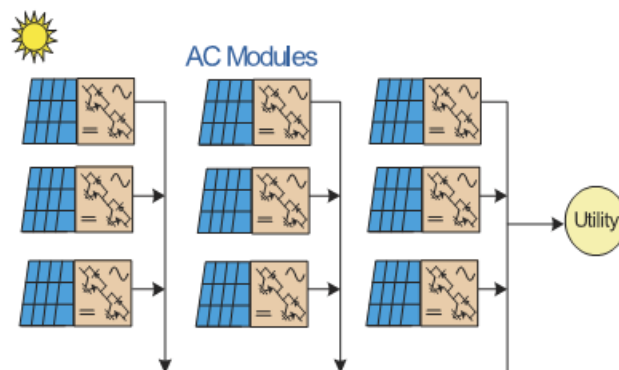


Figura 2.8 - Micro Inversor [26]

2.4.2 - Dimensionamento dos Inversores

Raramente um sistema fotovoltaico entrega a sua potência nominal máxima. Em certos dias o céu pode apresentar-se nublado, fazendo com que a irradiância seja inferior a 1000 W/m^2 durante largos intervalos de tempo. Além disso, e em diferente circunstâncias, a temperatura das células pode encontrar-se mais alta do que $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Dessa forma, como as condições de operação dificilmente se assemelham às condições STC (*Standard Test Conditions*), a potência fornecida pelo sistema é geralmente inferior à sua capacidade nominal.

O dimensionamento do sistema deve ser feito de tal modo que o inversor não seja nem pouco utilizado nem sobrecarregado. O subdimensionamento surge assim como uma possibilidade de redução dos custos do kWh gerado. Então, pode ser utilizado um inversor com menor capacidade para o mesmo gerador fotovoltaico sem ter um impacto significativo na quantidade de energia introduzida na rede e na qualidade do sistema. A energia gerada tende, pois, a ser mais barata.

2.4.3 - Rendimento europeu de um inversor

Os inversores funcionam com diferentes rendimentos, dependendo do nível de carga (potência produzida). Utilizando o *European Efficiency Standard Method*, os inversores com diferentes curvas de rendimento podem ser comparados se tivermos em conta o tempo espectável de funcionamento do inversor a diferentes níveis (percentagens) de carga/radiação solar:

$$\eta = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%} \quad (2.1)$$

Em que, por exemplo, $0.13\eta_{20\%}$, significa que o inversor opera com um rendimento $\eta_{20\%}$, a 20% da sua potência máxima, durante 13% do tempo total de funcionamento [24].



Figura 2.9 - Curva rendimento europeu de um inversor [24]

A curva de rendimento do inversor acima (Figura 2.9) tem um rendimento de 94.5% de acordo com o método *European Efficiency Standard*. O inversor opera com um rendimento máximo de 95.4%, a 50% da potência nominal (P50) e durante 48% do tempo total de funcionamento [24].

2.4.4 - Curva de eficiência

A eficiência de um inversor é caracterizada por uma função de transferência de energia durante a operação normal, dependendo da potência instantânea. Esta transferência é normalmente dada em função da entrada ou saída de potência. Isto é, é representada uma curva não linear, que inicialmente tem uma entrada de potência não constante que pode ser entendido como o consumo do próprio inversor, não produzindo assim energia. A partir deste ponto, o inversor começa a produzir energia AC. A produção do inversor é penalizada por perdas ôhmicas. A curva de eficiência de um inversor, normalmente é dada pelo fabricante do mesmo.

2.4.5 - MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

A análise da curva de I-V é a base para o funcionamento no ponto de potência máxima de um módulo fotovoltaico. A potência máxima varia conforme a corrente e tensão aos terminais do módulo e está dependente das condições ambientais. A corrente é diretamente proporcional à radiação solar que incide no módulo e a tensão diminui com o aumento da temperatura do módulo. É naturalmente desejável o funcionamento sempre

em máxima potência. Por forma a colocar o módulo fotovoltaico no ponto de operação correspondente à potência máxima, os conversores fotovoltaicos são equipados com um sistema eletrónico designado seguidor de potência máxima. Estes dispositivos são especialmente indicados no caso de sistemas isolados, devido à tensão ser constante e imposta pela bateria, mas também são usados nas aplicações ligadas à rede. O MPPT consiste num conversor DC/DC que, de acordo com as condições ambientais de temperatura e radiação e com as condições impostas pela rede, ajusta a tensão de saída do módulo de modo a que o funcionamento se processe no ponto correspondente à potência máxima. No gráfico abaixo (Figura 2.10) é apresentado o MPPT (*Maximum Power Point Tracker*), que representa o ponto ideal de funcionamento [23].

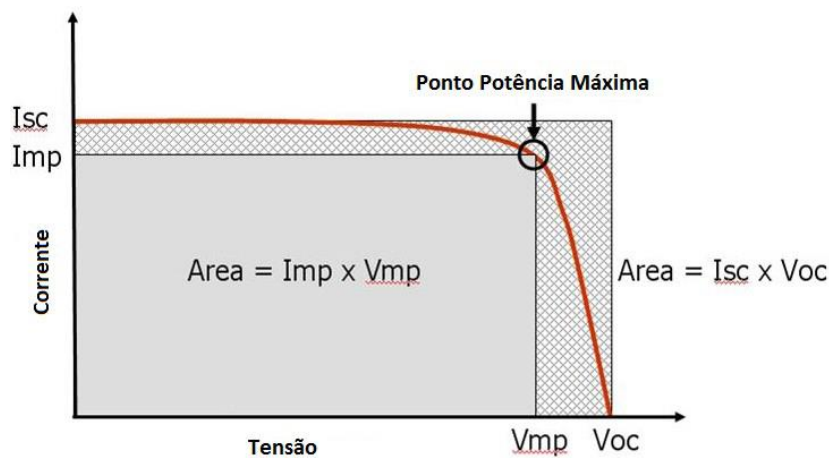


Figura 2.10 - Gráfico I-V de uma célula fotovoltaica

Igualmente importante é a referência ao Fator Forma, fator de rendimento muito comum, que é calculado pela seguinte fórmula [23].

$$FF = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc}}{I_{mp} \cdot V_{mp}} \quad (2.2)$$

2.4.6 - Monitorização

A monitorização e controlo de uma planta fotovoltaica tem a intenção de maximizar a energia produzida, reduzir o tempo de inatividade e, conseqüentemente, evitar a falha da planta, devido ao desgaste. Desta forma, o mau funcionamento da instalação pode ser mais cedo detetado.

Para os estudos foi implementado o mesmo sistema de monitorização variando só o custo dependendo da potência, pois conforme o aumento da potência mais *strings*, logo mais monitorização [22].

Um esquema representativo do sistema de monitorização integrante no sistema fotovoltaico é estruturado da seguinte forma:

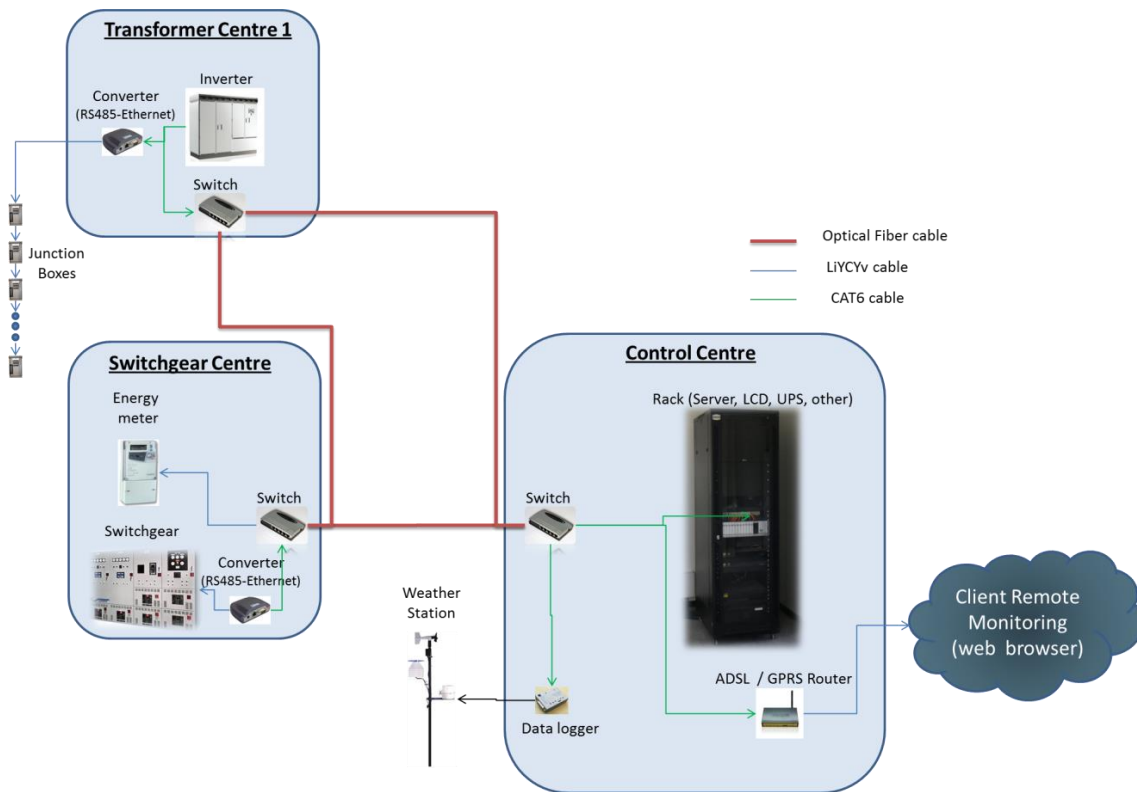


Figura 2.11 - Esquema de monitorização [22]

As caixas de junção são todas ligadas ao Posto de Transformação, onde existe um conversor que recebe a informação das *strings* e do inversor, depois esta informação é enviada para o centro de controlo. O centro de controlo vai estar ligado um *router*, sendo assim depois possível o cliente consultar os dados. Este sistema de monitorização tem também integrada uma estação meteorológica, que fornece dados de irradiação horizontal e de temperatura do local, medidas por um piranómetro e por um sensor, respetivamente [22].

2.5.6.1 - SCADA

Sistema de Monitorização

Este *software* irá fornecer capacidades de monitorização para os dispositivos de comunicação incluídos na planta PV. Este permitirá o acesso do cliente, rede local e remota (via internet), mostrando os dados das instalações físicas, produção de energia, as condições meteorológicas e outros, tornando este sistema numa ferramenta influente para tomar medidas preventivas e corretivas.

Todas estas informações devem ser processadas e apresentadas de uma forma conciliadora e compreensível para o utilizador, por meio de ferramentas desenvolvidas para esta planta específica [22].

2.5.6.2 - Monitorização Remota

A monitorização remota permite ao utilizador:

- Acesso via internet com proteção por senha com a possibilidade de criar vários perfis de acesso;
- Visualização de parâmetros medidos em tempo real;
- Visualização dos parâmetros de qualidade de energia;
- Opções de alarme para variáveis monitorizadas;
- Impressões de gráficos, tabelas e relatórios;
- Apresentar dados históricos de gráficos, tabelas e relatórios;
- Uma versão versátil e intuitiva [22].

2.6 - Estruturas fotovoltaicas

2.6.1 - Estrutura fixa

A estrutura fixa (Figura 2.12) é composta por elementos lineares de aço ou alumínio, ou uma combinação dos dois materiais. Estes elementos constituem as madres, onde são fixados os módulos fotovoltaicos, vigas principais e pilares. Geralmente, os

pilares da estrutura funcionam também como fundação, sendo cravados no solo até à profundidade necessária para garantir o correto suporte da mesma. Quando, por condições do solo, não é possível cravar os pilares, pode ser necessário recorrer a parafusos metálicos ou sapatas de betão, por exemplo.

Cada uma das estruturas, normalmente designada de mesa, é (geralmente) alinhada na direção este-oeste e suporta um número de módulos igual a um múltiplo do número de módulos por *string* e apresenta a geometria necessária para colocá-los com a inclinação ótima e orientados para sul ou norte, de acordo com a localização da planta. Algumas estruturas permitem a alteração sazonal do ângulo dos módulos de forma manual, solução que pode ser interessante em regiões afastadas da linha do equador, onde o ângulo solar varia de forma significativa entre os solstícios.



Figura 2.12 - Estrutura fixa para painéis solares fotovoltaicos [20]

2.6.2 - Estrutura seguidor de um eixo horizontal

O princípio básico de aplicação do seguidor de eixo horizontal pode assemelhar-se ao da estrutura fixa. Contudo, o *tilt* dos módulos fotovoltaicos é alterado por meio de motores, fazendo com que seja mais produtivo alinhar as mesas na direção norte-sul. Deste modo, os módulos “seguem” o movimento diário do sol, exibindo os máximos ângulos de rotação (em geral, cerca de $\pm 50^\circ$) ao nascer e ao pôr-do-sol, em torno de um eixo horizontal. Quando o sol se encontra no ponto mais alto da sua trajetória diária, o *tilt* dos módulos será zero.

A rotação dos módulos pode ser efetuada por meio de uma barra com direção este-oeste, que é movida nessa mesma direção por ação de um motor. Esta barra é unida a um número limitado de mesas, sendo que a cada conjunto constituído por um motor se considera um seguidor. Outro método utilizado para a rotação dos módulos consiste na utilização de um veio, alinhado a cada conjunto de mesas, que é rodado em torno do seu eixo, também por ação de um motor (Figura 2.13).



Figura 2.13 - Estrutura seguidor solar de um eixo horizontal para painéis solares fotovoltaicos [20]

2.6.3 - Estrutura seguidor de um eixo inclinado

Pode-se considerar que o seguidor de eixo inclinado é uma combinação da estrutura fixa com o seguidor de eixo horizontal. Neste caso, os módulos “seguem” também o movimento diário do sol, mas em torno de um eixo com uma inclinação que permite aumentar a produção elétrica. Deste modo, quando a rotação do seguidor é zero, os módulos estarão orientados para o sol com a inclinação que se aplicaria a uma estrutura fixa na mesma localização (Figura 2.14). O funcionamento é semelhante ao do seguidor de eixo horizontal.



Figura 2.14 - Estrutura seguidor solar de um eixo inclinado para painéis solares fotovoltaicos [20]

2.6.4 - Estrutura seguidor de um eixo vertical

Um seguidor de eixo vertical é constituído por uma mesa de madres e vigas metálicas, onde os módulos são arrumados em forma retangular ou em “nuvem”, ao invés da forma linear das estruturas descritas anteriormente. Cada mesa apresenta uma inclinação ótima para a produção elétrica, dependendo da região de instalação, e é unida a um veio vertical que roda em torno do seu eixo, em função da posição do sol. Comparativamente aos seguidores descritos anteriormente, este apresenta uma estrutura metálica mais pesada para o mesmo número de módulos ou, alternativamente, mais motores. Deste modo, este seguidor torna-se mais atrativo financeiramente para instalações muito pequenas ou com espaço reduzido. Geralmente, as fundações desta estrutura são materializadas com sapatas de betão armado (Figura 2.15).



Figura 2.15 - Estrutura seguidor solar de um eixo vertical para painéis solares fotovoltaicos [20]

2.6.5 - Estrutura seguidor de dois eixos

O seguidor de dois eixos apresenta o mesmo princípio de funcionamento do seguidor de eixo vertical, ao qual é adicionado um motor extra que permite também a rotação em torno de um eixo horizontal. Deste modo, os módulos fotovoltaicos apresentam, em qualquer hora do dia, o melhor ângulo para a produção elétrica (Figura 2.16).



Figura 2.16 - Estrutura seguidor solar de um eixo vertical para painéis solares fotovoltaicos [21]

Para os estudos realizados a estrutura escolhida foi a estrutura fixa, pois é a mais utilizada em parques de grande escala e mais barata.

2.7 - Configurações dos Sistemas Fotovoltaicos

2.7.1 - Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois tipos

2.7.1.1 - Isolados/autónomos com ou sem armazenamento

Nos sistemas isolados diversos módulos estão ligados a um regulador de carga, baterias e um inversor, o regulador de carga é responsável pelo controlo de carga da bateria, sendo a capacidade da mesma fundamental para a utilização da energia à noite e em períodos de baixa radiação.

2.7.1.2 - Ligados à rede

Neste caso, a produção é integrada no regime produtor/consumidor ou só no regime produtor, onde a energia é vendida às companhias distribuidoras não sendo necessário o uso de baterias. É constituído por um inversor que permite a conversão DC/AC, por um contador bidirecional, onde é feita a contagem e por caixas de ligação onde se realiza a ligação à rede e onde são colocadas as proteções, necessárias à segurança da instalação.

2.7.2 - Associação de Módulos Fotovoltaicos

2.7.2.1 - Curva I-V

A principal característica de um módulo fotovoltaico, para além da sua potência nominal e da sua eficiência, é a sua curva I-V, que representa o comportamento da sua corrente em função da sua tensão. Os principais pontos desta curva são o ponto de curto-circuito ($V=0$ e $I=I_{SC}$, sendo I_{SC} a corrente de curto-circuito), o ponto de circuito aberto ($I=0$ e $V=V_{OC}$, sendo V_{OC} a tensão de circuito aberto) e ponto de potência máxima, MPP ($I=I_{mpp}$ e $V=V_{mpp}$, sendo I_{mpp} a corrente de máxima potência e V_{mpp} a tensão de máxima potência) [18]. A Figura 2.17 apresenta as várias curvas I-V de um módulo fotovoltaico, para as condições STC.

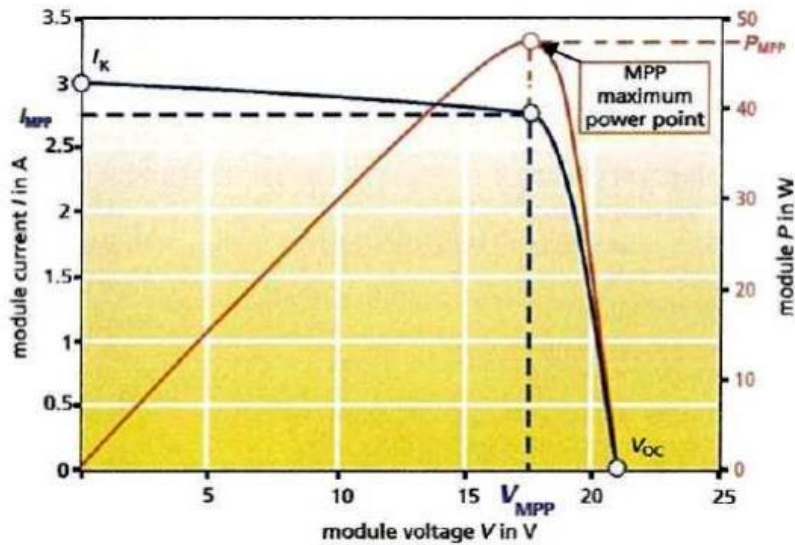


Figura 2.17 - Curva I-V de um módulo fotovoltaico [18]

Os módulos fotovoltaicos devem ser interligados a fim de se conseguir aumentar a potência máxima, P_{max} de um painel fotovoltaico. Nesse sentido, existem três possibilidades de se realizar a associação de módulos fotovoltaicos: a interligação de módulos em série, em paralelo ou mista. O símbolo a seguir apresentado na Figura 2.18 é normalmente utilizado para representar um módulo fotovoltaico.

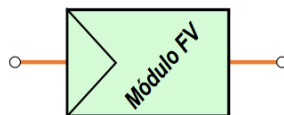


Figura 2.18 - Representação esquemática do símbolo utilizado para um módulo fotovoltaico [19]

2.7.2.2 - Ligação em série (*string*)

Os módulos fotovoltaicos ligados em série constituem aquilo que normalmente se designa por *string*. É importante realçar que na associação de módulos fotovoltaicos devem ser utilizados módulos do mesmo tipo, de forma a minimizar as perdas de potência no sistema [13]. A Figura 2.19 representa esquematicamente a associação em série de n módulos fotovoltaicos.

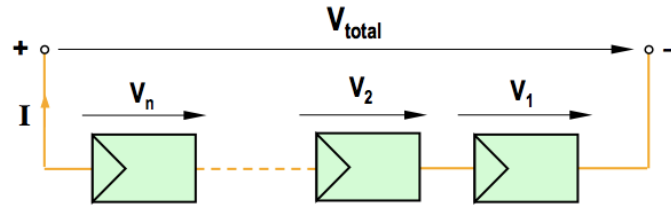


Figura 2.19 - Representação esquemática da associação em série de n módulos fotovoltaicos [19]

De acordo com a Figura 2.19, podem-se escrever as seguintes relações:

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n = n \times V \text{ [V]} \quad (2.3)$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_N \text{ [A]} \quad (2.4)$$

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N \text{ [W]} \quad (2.5)$$

$$P_{TOTAL} = V_{TOTAL} \times I_{TOTAL} \text{ [W]} \quad (2.6)$$

A Figura 2.20 corresponde à representação gráfica da curva característica de corrente – tensão (curva I-V) referente à associação em série de por exemplo, três módulos fotovoltaicos (Shell SM 100-12) em condições STC [13].

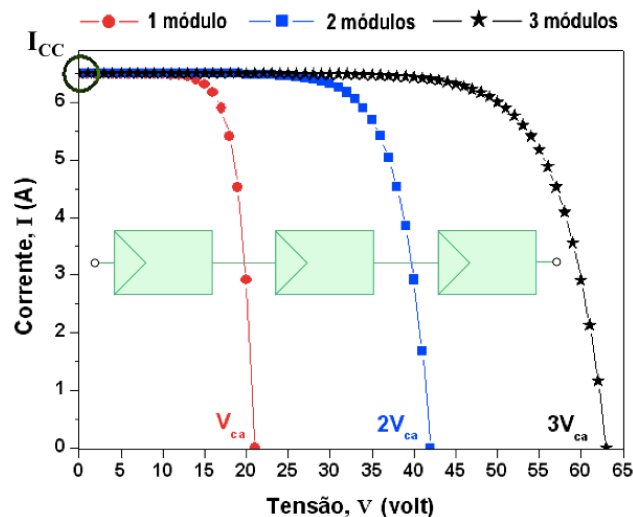


Figura 2.20 - Representação das curvas IV relativas à associação em série de três módulos PV [19]

Nesta condição, a corrente de curto-circuito da associação de três módulos ligados em série mantém-se inalterada. No entanto, a tensão de circuito aberto é três vezes superior [13].

2.7.2.3 - Ligação em paralelo

A ligação em paralelo entre módulos individuais (utilizada tipicamente nos sistemas autónomos) é efetuada quando se pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo [12]. A Figura 2.21 representa esquematicamente a associação em paralelo de n módulos fotovoltaicos.

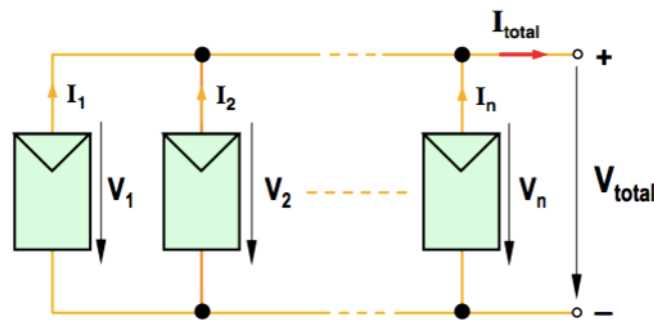


Figura 2.21 - Representação esquemática da associação em paralelo de n módulos fotovoltaicos [19]

Nesta situação, obtêm-se intensidades de corrente mais elevadas, mantendo-se sempre a mesma tensão do módulo. Neste caso, é possível escreverem-se as seguintes relações [13]:

$$V_T = V_1 = V_2 = \dots = V_n \text{ [V]} \quad (2.7)$$

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = \dots + I_N = n \times I \text{ [A]} \quad (2.8)$$

$$P_{TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N \text{ [W]} \quad (2.9)$$

$$P_{TOTAL} = V_{TOTAL} \times I_{TOTAL} \text{ [W]} \quad (2.6)$$

A Figura 2.22 corresponde à representação gráfica da curva característica de corrente – tensão (curva I-V) referente à associação em paralelo de três módulos fotovoltaicos (Shell SM 100-12) em condições STC.

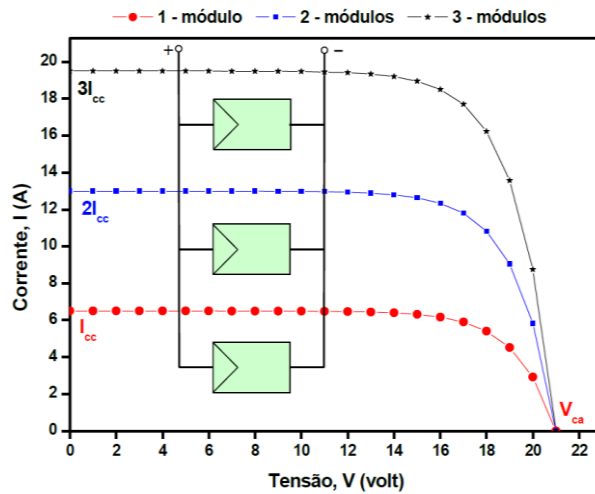


Figura 2.22 - Representação das curvas IV referentes à associação em paralelo de três módulos PV [19]

Nesta situação, a tensão de circuito aberto da associação de três módulos ligados em paralelo mantém-se inalterada. Contudo, a corrente de curto-circuito é três vezes superior [13].

2.7.2.4 - Ligação em série-paralelo (mista)

Nos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, é muito comum efetuar-se a associação de várias *strings* de módulos ligadas em paralelo [13]. A Figura 2.23 representa esquematicamente a associação mista de $n \times m$ módulos fotovoltaicos.

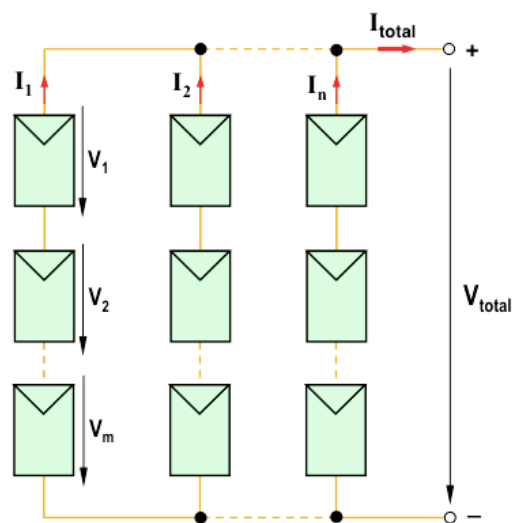


Figura 2.23 - Representação esquemática da associação mista de n módulos PV [19]

Na figura anterior, n representa o número de fileiras de módulos associados em paralelo e m representa o número de módulos associados em série.

Na associação mista de módulos fotovoltaicos, obtêm-se as características das associações em série e em paralelo. No entanto, conseguem-se obter valores mais elevados de corrente e de tensão. Com efeito, no pressuposto de que o sistema é constituído por módulos do mesmo tipo, então a corrente I que atravessa cada *string* é igual [13].

A Figura 2.24 corresponde à representação gráfica da curva característica de corrente – tensão referente à associação mista de três módulos fotovoltaicos (*Shell SM 100-12*) em condições STC.

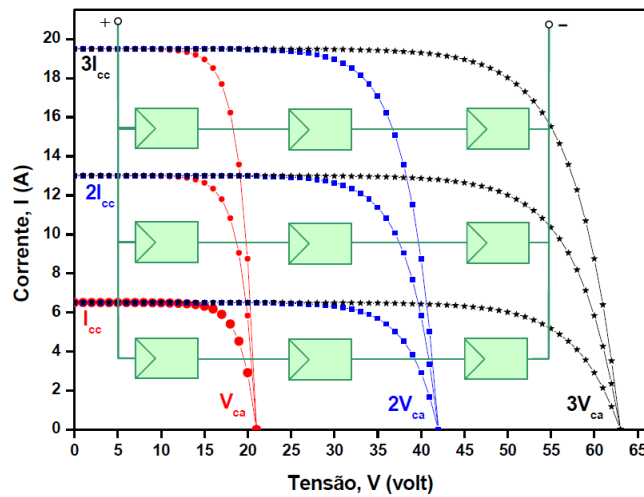


Figura 2.24 - Representação das curvas IV relativas à associação mista de três módulos PV [19]

2.7.3 - PR (*Performance Ratio*)

A avaliação da eficiência de um sistema fotovoltaico é realizada através da medida da sua *Performance Ratio* (PR). Mais concretamente, a PR designa a relação entre a produção energética (kWh) pela radiação incidente por unidade de área (kWh/m²) e a potência pico (kWp) [32], como se apresenta na equação 2.12.

$$PR = \frac{\text{Energia Produzida}}{G_{inc} \times P_{pico}} \quad (2.10)$$

A PR é uma medida, independente da localização, para a qualidade de um sistema fotovoltaico e é por isso frequentemente designada como fator de qualidade. A PR é

fornecida em percentagem e designa a relação entre o rendimento real e o rendimento esperado do sistema fotovoltaico. Assim é-lhe fornecida qual a proporção de energia disponível após a dedução das perdas de energia e do consumo interno para o funcionamento real para a alimentação.

Quanto mais próximo dos 100 % estiver o valor da PR estipulado para um sistema fotovoltaico, mais eficaz é esse sistema fotovoltaico. Um valor de 100 % não é contudo atingível na realidade, pois durante a operação do sistema fotovoltaico também ocorrem sempre perdas inevitáveis (por exemplo, perdas térmicas devido ao aquecimento do módulo fotovoltaico). Sistemas fotovoltaicos eficientes atingem contudo uma *Performance Ratio* superior a 80 %.

2.7.4 - Rendimento

A eficiência de uma célula fotovoltaica é o quociente entre a potência máxima fornecida pela célula e a radiação solar incidente na célula multiplicada pela área. O símbolo dessa grandeza é η e a unidade vem expressa em percentagem (%) [25].

$$\eta = \frac{P_{max}}{A \times G} \times 100 (\%) \quad (2.11)$$

Sendo A, a área da célula em m², e o G a radiação solar incidente por unidade de superfície (W/m²).

Existem fatores que influenciam a eficiência de uma célula fotovoltaica, tais como:

- Perdas causadas pela resistência interna;
- Perdas por recombinação;
- Eficiência termodinâmica;
- Perdas por reflexão da radiação.

Capítulo 3

Central vs. *String*

Em projetos fotovoltaicos de grande escala, a nível mundial os inversores centrais são os mais utilizados (Figura 3.1 a)). Mas, o uso de inversores *string* em muitos casos torna-se uma melhor opção (Figura 3.1 b)).

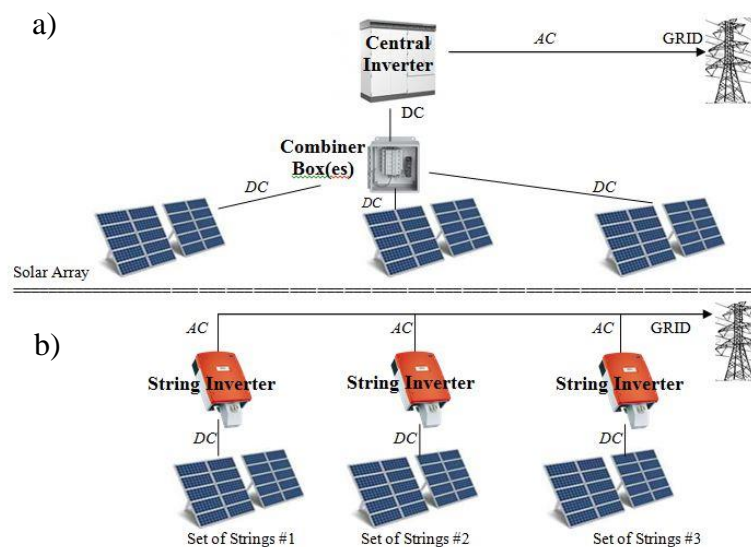


Figura 3.1 - a) Esquema inversor central; b) Esquema inversor *string* [4]

3.1 - Prós e Contras

A decisão de usar um inversor central ou inversor *string* deve ser pensada de caso para caso, tendo em conta principalmente dois elementos: o custo total do sistema e a produção total de energia [4]. Assim, são apresentados os prós e contras ao primeiro olhar relativamente a cada tipo de inversor nas tabelas seguintes (Tabela 3.1 e Tabela 3.2). Mais à frente serão apresentados estudos que vêm cimentar estes pressupostos.

Tabela 3.1 - Prós e Contras do Inversor Central

	Prós	Contras
Inversor Central	<ul style="list-style-type: none">- Menos conexões- Ideal para sistemas de grande potência- Mais <i>know-how</i> sobre a tecnologia- Mais baratos	<ul style="list-style-type: none">- Maior custo de instalação- Maiores custos de cablagem- Requer formação especializada para a instalação

Tabela 3.2 - Prós e Contras do Inversor *String*

	Prós	Contras
Inversor <i>String</i>	<ul style="list-style-type: none">- Ideal para espaços pequenos- Modularidade para sistemas com diferentes orientações- Instalação mais simples	<ul style="list-style-type: none">- Maior nº conexões ao inversor- Menor eficiência do que os centrais- Proteção necessária (chuva, neve,...)

3.2 - Inversor Central

Nos capítulos seguintes em que são apresentados dois casos de estudo (Capítulo 4 e Capítulo 5), são utilizados dois tipos de inversores centrais, por causa da potência nominal desejada. Para o caso de estudo em que a potência nominal é de 1MW, o inversor central utilizado é o FREESUN HE 1001CH, para a potência nominal de 7.5MW são utilizados seis inversores do modelo FREESUN HE 1250_H, e para a potência de 15MW são utilizados doze inversores também do modelo FREESUN HE 1250_H, estes inversores utilizados são da marca *Power Electronics* (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Inversor Central *Power Electronics*, utilizado nos estudos [29]

3.2.1 - Principais características técnicas

Na tabela seguinte (Tabela 3.3) são apresentados os principais parâmetros relativos ao inversor utilizado para a potência nominal de 1MW, como já foi referido anteriormente. São referidos valores como eficiência e tensão MPP do inversor em causa.

Tabela 3.3 – Características técnicas do inversor central FREESUN HE 1001CH

Parâmetro	Descrição
Tensão MPP máxima	800 V
Tensão MPP mínima	520 V
Potência nominal AC	1000 kW
Eficiência Máxima	98.6 %
Eficiência Europeia	98.4 %
Tensão máxima absoluta fotovoltaica	1000 V

A seguir, é apresentado valores para os principais parâmetros do inversor usado para as potências de 7.5MW e 15MW (Tabela 3.4). A eficiência máxima deste inversor é inferior ao inversor anterior, afetando assim a produção do sistema.

Tabela 3.4 - Características técnicas do inversor central FREESUN HE 1250_H

Parâmetro	Descrição
Tensão MPP máxima	800 V
Tensão MPP mínima	565 V
Potência nominal AC	1250 kW
Eficiência Máxima	95.6 %
Eficiência Europeia	98.4 %
Tensão máxima absoluta fotovoltaica	1000 V

3.2.2 - Curva de eficiência

Na Figura 3.3, podemos ver a curva de eficiência para os inversores anteriormente referidos, em que a verde temos a curva para a potência de 7.5MW e 15MW. A curva do inversor para um 1MW, encontra-se entre a linha a cor azul e verde.

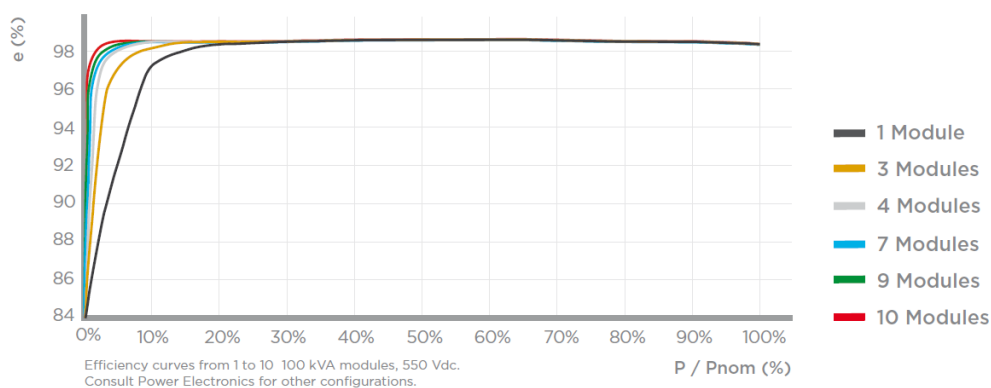


Figura 3.3 - Curva de eficiência para o inversor central [30]

3.3 - Inversor *String*

Para os casos de estudo já referidos, também foram analisados com inversores de *string*, sendo que foi utilizado sempre o mesmo modelo para as três diferentes potências (1MW, 7.5MW e 15MW) (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Inversor *String Power-One*, utilizado nos estudos [27]

3.3.1 - Principais características técnicas

Tabela 3.5 - Características técnicas do inversor *string*

Parâmetro	Descrição
Tensão MPP máxima	800 V
Tensão MPP mínima	520 V
Potência nominal AC	27.6 kW
Eficiência Máxima	98.2 %
Eficiência Europeia	98.0 %

Na tabela anterior (Tabela 3.5), são apresentadas as principais características do inversor *string*, da marca *Power-One*, modelo TRIO-27.6-TL-OUTD utilizado nos casos de estudo. De notar que este tipo de inversores tal como os inversores centrais também possuem dispositivos MPPT, *Maximum Power Point Tracking*, que garantem que o módulo fotovoltaico opere no seu ponto máximo de potência. Este inversor é o mais utilizado para este tipo de sistemas, pois apresenta um boa eficiência apesar de que ainda inferior aos centrais.

3.3.2 - Curva de eficiência

O inversor *string* tem uma eficiência máxima quando está a operar a 620Vdc, sendo que a partir dos 20% da potência nominal de saída o inversor opera com uma eficiência acima dos 98% (Figura 3.5).

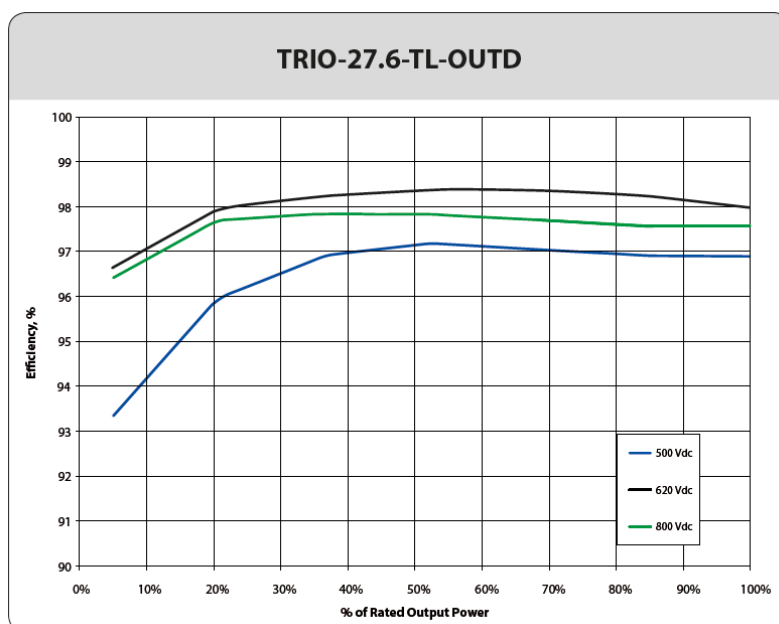


Figura 3.5 - Curva de eficiência para o inversor *string* [28]

3.4 - Dados dos módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos utilizados possuem as características apresentadas na tabela seguinte (Tabela 3.6) (Anexo A Figura A.1). Para os estudos foram utilizados sempre o mesmo módulo fotovoltaico quer para as simulações PVsyst® quer para os desenhos no AutoCad®. Cada mesa é constituída por duas *strings*, sendo que cada *string* tem 22 módulos ligados em série, fazendo um total de 44 módulos por mesa. Por questões de disponibilidade de terreno foram utilizadas em certos casos meias mesas para que facilitasse a ligação das mesmas à caixa de junção cumprindo assim o número de *strings* necessárias por caixa.

Tabela 3.6 - Dados do módulo fotovoltaico utilizado

Parâmetro	Descrição
Potência nominal STC	250 Wp
Tecnologia	Silício policristalino
Tolerância	0~3%
Irradiância de referência, G_{ref}	1000 W/m ²
Temperatura de referência, T_{ref}	25°C
Corrente de curto-circuito, I_{sc}	8.81 A
Tensão de circuito-aberto, V_{oc}	37.3 V
Corrente de potência máxima, I_{mpp}	8.36 A
Tensão de potência máxima, V_{mpp}	29.9 V

Tensão máxima do sistema	1000V
Eficiência	15.40 %
Comprimento e largura do módulo	1640 e 990 mm
NOCT	45°C

3.5 - O&M

Para um bom rendimento de uma instalação fotovoltaica é necessário um serviço de O&M (Operação e Manutenção).

Neste estudo, o custo total para além do serviço de mão-de-obra também está tido em conta a supervisão da instalação, custos relativos com os EPI e ferramentas, o aluguer de viaturas, combustível, comunicações, a manutenção das cabines subcontratadas e a termografia anual, estas variáveis são fixas para ambos os sistemas (central e *string*).

Dependendo do sistema será acrescentado o valor dos consumíveis (por exemplo fusíveis, ligações, pontas de cabos,...) e duas limpezas de módulos por ano.

Capítulo 4

Caso de estudo particular

Neste capítulo é abordado um caso prático em que é analisado um parque fotovoltaico em Portugal¹ com duas soluções: a primeira é com inversores centrais e a segunda com inversores *string*. Nesta análise são estudados fatores como a construção, operação e manutenção para as duas soluções, no final são pesados os custos de cada opção e tendo em atenção características técnicas que cada tipo de inversor tem, é tomada a decisão de qual a melhor opção para esta potência e nestas condições.

4.1 - Informação básica

Na Tabela 4.1, é exposta informação resumida e concreta de dados básicos acerca do local da instalação e da potência nominal e pico. São também fornecidas as coordenadas do local e área disponível para implementação da potência desejada.

Tabela 4.1 - Informação básica sobre o local

Parâmetro	Descrição
Local	Portugal
Área disponível	14.6ha
Potência nominal AC	7.5MW
Potência pico DC	9.0MW

¹ Por sigilo profissional a localização exata não é apresentada.

4.2 - Limites do terreno

Na Figura 4.1, está representado a vermelho os limites do terreno para implementação do parque fotovoltaico. Dados os limites do terreno, há que ter em atenção as distâncias de segurança, espaçamento entre as filas de módulos e sombreamentos. Nesta implantação não foi tido em conta a topografia do terreno, ou seja, foi assumido que o terreno é plano e não é necessário ter cuidados com os diferentes tipos de relevo.

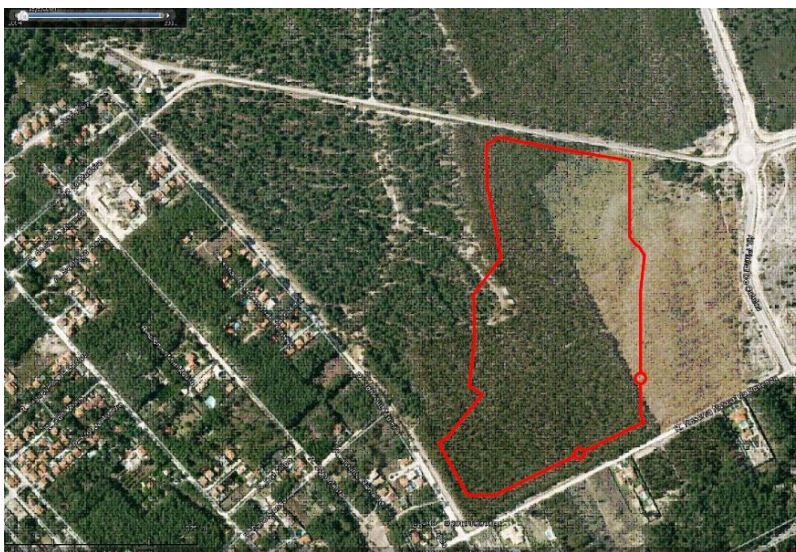


Figura 4.1 – Limitação do terreno para implantação do parque fotovoltaico

4.3 – Configuração

4.3.1 - Altura Solar

É o ângulo compreendido entre o raio solar e a projeção do mesmo sobre o plano horizontal. A altura do sol (Y_S) pode-se determinar sabendo antecipadamente o valor do ângulo de declinação e o respetivo valor da latitude do local [13].

Fórmulas de cálculo da altura solar:

$$Y_S = 90 - \varphi + \delta_S \quad (4.12)$$

$$Y_S = 90 + \varphi - \delta_S \quad (4.13)$$

φ - Latitude do lugar
 δ_S - Ângulo de declinação solar
 Y_S - Altura Solar

Outra formula para um cálculo de maior precisão é a seguinte:

$$\sin Y_S = \sin \varphi \sin \delta_S + \cos \varphi \cos \delta_S \cos h_S \quad (4.14)$$

h_S - Ângulo horário solar (em graus)

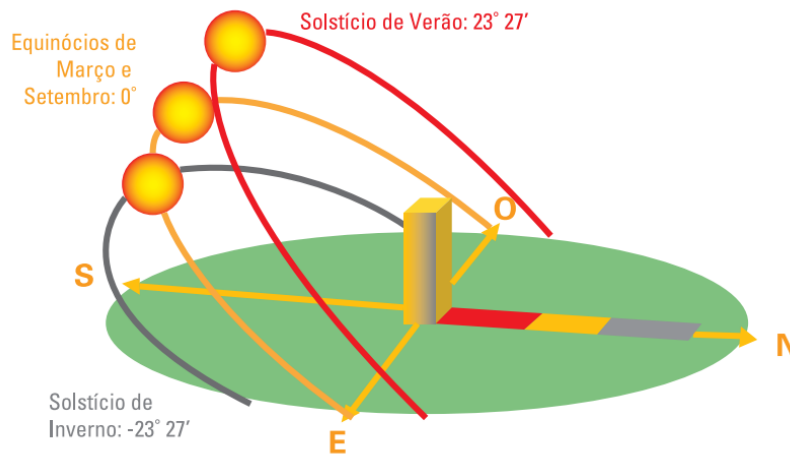


Figura 4.2 - Variação da altura do Sol [13]

De referir que quanto maior for a latitude do lugar, menor será a altura solar, logo, mais oblíquos incidirão os raios solares.

No solstício de Verão, a altura solar será mais elevada do que no solstício de Inverno, visto que a declinação varia entre -23.45 e $+23.45^\circ$ (Figura 4.2). A altura solar determinará o ângulo de inclinação ótima dos painéis solares e o azimute será determinante na sua orientação [13].

4.3.2 - Disposição dos módulos

Na Tabela 4.2, é apresentada a configuração relativa à disposição dos módulos na instalação fotovoltaica, ou seja, tipo de estrutura, *tilt* (inclinação dos módulos fotovoltaicos) e *pitch* (distância mínima necessária para não causar sombreamento nos módulos).

Tabela 4.2 - Informação sobre a disposição dos módulos

Parâmetro	Descrição
Estrutura	Fixa - 2 Módulos na vertical (<i>Portrait</i>)
Largura da estrutura	3.34m
Latitude	38.6°
<i>Tilt</i>	25.0°
Ângulo solar	27.9°
<i>Pitch</i>	6.00m

4.3.2.1 - Cálculo do *pitch*

Como referido no capítulo 2 a estrutura utilizada foi a estrutura fixa, sendo que cada mesa é composta por dois módulos em *portrait*, ou seja, quarenta e quatro módulos.

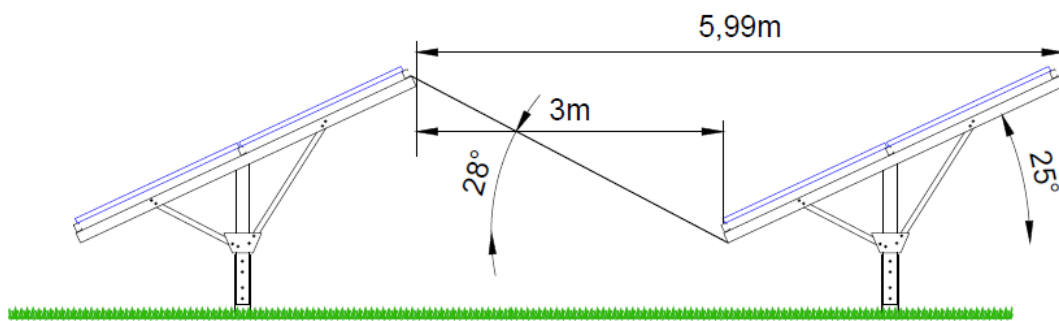


Figura 4.3 - Cálculo da distância entre mesas

Com o ângulo solar calculado, com o conhecimento da melhor inclinação dos módulos para o local (*tilt*) e largura da estrutura, obtém-se o *pitch* que para este caso vai ser cerca de 6 metros (como se verifica na Figura 4.3). Com esta distância evita-se o sombreamento por parte das estruturas. É de realçar que para a manutenção do parque e acesso aos módulos e estruturas é mantida uma distância mínima de 3 metros para a passagem de viaturas.

4.4 - Inversor Central

A primeira opção a ser estudada foi com inversores centrais. Esta secção está dividida em três fases: a primeira fase é a parte técnica, a segunda é a construção e por último a fase comercial. Na fase técnica está descrito o dimensionamento dos inversores, referidos os valores de produção obtidos através da simulação PVsyst® e as perdas admitidas no cálculo da cablagem. Na segunda fase, ou seja, na fase de construção, é implementado o parque fotovoltaico de acordo com o terreno disponível e considerações a ter, depois disso é possível fazer a lista de quantidades. A fase comercial expõe os custos com todos os componentes utilizados no parque fotovoltaico, como também a parte elétrica e civil, e ainda também custos com operação e manutenção.

4.4.1 - Fase 1. Técnica

4.4.1.1 - Dimensionamento dos Inversores

A potência nominal é definida pelo número de inversores, multiplicada pela potência nominal AC de cada um. Neste caso são utilizados seis inversores centrais, cada um tem uma potência de 1250kW o que faz um total de 7.5MW (potência nominal desejada).

A potência pico DC, foi definida de forma a manter um nível de sobredimensionamento (DC/AC) de 20%, de modo a otimizar o rendimento (produção kWh/kWp) e rentabilidade do projeto (custo €/Wp), assim a instalação ficou com uma potência pico de 9MW. Como referido no capítulo 3 os inversores centrais são da marca *Power Electronics*.

4.4.1.2 - Simulação PVsyst®

A estimação de produção com inversores centrais foi realizada com recurso ao *software* PVsyst® e pode ser analisada na Tabela 4.3. Na tabela são apresentados valores da energia produzida, produção específica, PR e perdas por sombreamento.

Tabela 4.3 - Produção simulada no PVsyst® com inversores centrais

Parâmetro	Descrição
Energia Produzida (MWh/ano)	14.101
Produção Especifica (kWh/kWp/ano)	1.567
Performance Ratio PR (%)	80.6
Perdas sombreamento (%)	3.5

4.4.1.3 - Perdas Cablagem

No esquema a seguir apresentado (Figura 4.4), estão descritas as percentagens relativamente as perdas admitidas nos cabos desde a *string* até ao posto de seccionamento (PS) Sendo que na parte DC, ou seja, desde a *string* até ao posto de transformação (PT) foram consideradas perdas num total de 1.5%. A partir do PT até ao PS, ou seja, no circuito AC são estimadas perdas de 0.5%.

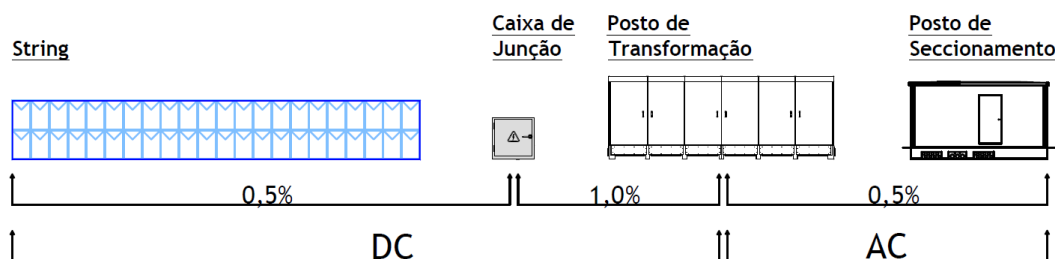


Figura 4.4 - Perdas admitidas na cablagem DC e AC, para os inversores centrais

4.4.1.4 - Cálculo Cablagem

Depois de medidas as distâncias de cabos no *layout*, foram dimensionadas as secções da cablagem necessária para esta instalação. O cálculo da cablagem foi realizado com o auxílio de uma ferramenta Excel da SMA. Para este parque as secções da cablagem são variadas sendo que a secção máxima necessária no circuito DC e AC é 185mm².

4.4.2 - Fase 2. Construção

4.4.2.1 - *Layout*

A implantação da instalação, dados os limites do terreno é apresentada na Figura 4.5. Foram tidas em conta distâncias de segurança para a vedação, caminhos até aos PT's,

raios de curvatura para boa manobra dos camiões, colocação dos *transformer center* junto ao caminho para fácil acesso e manutenção. No *layout* estão representadas todas as informações para uma boa compreensão do material utilizado e sua localização (Anexo D).

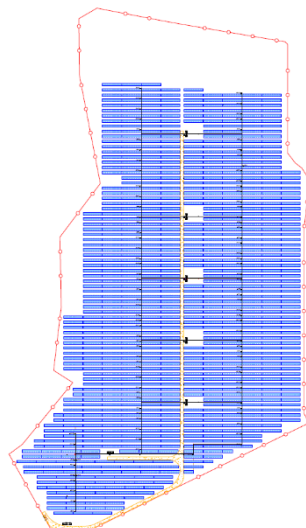


Figura 4.5 - *Layout* com os inversores centrais para o parque fotovoltaico em Portugal

4.4.2.2 - Lista de quantidades

Na Tabela 4.4, são apresentadas as quantidades do material que foram tidos em conta para a análise comercial, que irá ser abordada a seguir. Nesta lista estão descritos tanto material elétrico como também trabalhos civis dimensionados para a instalação fotovoltaica.

Tabela 4.4 - Lista de quantidades utilizada para a instalação com inversores centrais

Parâmetro	Descrição
Módulos	35992
Inversores	6
<i>Delivery Station</i>	1
Caixa de Junção 18in	2
Caixa de Junção 16in	100
Caixa de Visita BT	137
Caixa de Visita MT	28
Valas BT	1730m
Valas MT	660m
Caminho	680m

4.4.3 - Fase 3. Comercial

Nesta fase são apresentados os valores de custo por watt pico e o total para as partes elétricas, civil e O&M. Módulos, inversores, PS, caixas de junção e visita, cabos e sistema de monitorização estão presentes na parte elétrica. Na parte civil fazem parte do custo valas, caminhos e a estrutura fixa para os painéis. Ao custo destas duas partes é ainda acrescido o custo de operação e manutenção. Estes custos estão descritos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Análise comercial para a instalação com inversores centrais

	€/Wp	Total (€)
Parte Elétrica		
Módulos, inversores, caixas, cablagem, monitorização, PS	1,09	9.788.453,04
Parte Civil		
Valas, caminhos, estrutura	0,02	200.260,89
O&M		
Supervisão da instalação, limpeza dos módulos, entre outros	0,02	152.320,00
TOTAL investimento	1,13	10.141.033,93

4.5 - Inversor *String*

A segunda opção a ser estudada foi o dimensionamento da instalação com as mesmas condições anteriormente referidas para os inversores centrais, mas só que agora analisado com inversores *string*. Esta secção está dividida da mesma forma, ou seja, em três fases: a primeira fase é parte técnica, a segunda é a construção e por último a fase comercial. Nestas fases são abordados os mesmos pontos que na opção anterior.

4.5.1 - Fase 1. Técnica

4.5.1.1 - Dimensionamento dos Inversores

O sistema com inversores *string* foi dimensionado da mesma forma que o anterior, ou seja, de modo a otimizar a produção do projeto e a rentabilidade económica do projeto.

4.5.1.2 - Simulação PVsyst®

Através da ferramenta PVsyst® simulou-se a produção do sistema fotovoltaico, obtendo os valores apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Produção simulada no PVsyst® com inversores *string*

Parâmetro	Descrição
Energia Produzida (MWh/ano)	13.993
Produção Especifica (kWh/kWp/ano)	1.555
Performance Ratio PR (%)	80.0
Perdas sombreamento (%)	3.5

4.5.1.3 - Perdas Cablagem

Na Figura 4.6, estão descritas as percentagens relativamente as perdas admitidas na simulação PVsyst® para os cabos desde a *string* até à *delivery station*. Sendo esta opção estudada com inversores *string*, a cablagem DC é menor do que na opção anterior com inversores centrais, em contrapartida a cablagem AC vai ser maior. Foram consideradas perdas de 0.5% na parte DC e 2% na parte AC, como se verifica na seguinte figura (Figura 4.6).

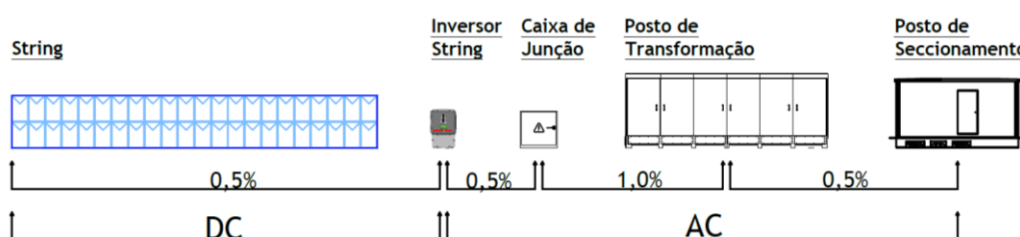


Figura 4.6 - Perdas admitidas na cablagem DC e AC, para os inversores *string*

4.5.1.4 - Cálculo Cablagem

Depois de medidas as distâncias de cabos no *layout*, da mesma forma que foram dimensionadas as secções para a opção anterior com os inversores centrais, assim foram calculadas com o auxílio da mesma ferramenta Excel. A secção utilizada no circuito DC

é de 4mm², sendo que a secção mínima utilizada no circuito AC é 16mm² e a máxima 240mm².

4.5.2 - Fase 2. Construção

4.5.2.1 - *Layout*

A implantação da instalação com os inversores *string* foi realizada tendo em conta os mesmos critérios do que para a instalação com inversores centrais, sendo que nesta utilizou-se mais área para facilitar a ligação das *strings* às caixas de junção. No *layout* a seguir (Figura 4.7) está representada uma vista global, sendo que no Anexo D poderá ser visto com mais pormenor.

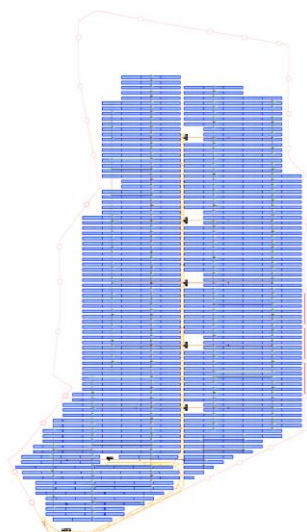


Figura 4.7 - *Layout* com os inversores *string* para o parque fotovoltaico em Portugal

4.5.2.2 - Lista de material utilizado

A lista de quantidades apresentada na Tabela 4.7 faz referência às quantidades do material que foi tido em conta para a análise comercial, que irá ser abordada a seguir.

Tabela 4.7 - Lista de quantidades utilizada para a instalação com inversores *string*

Parâmetro	Descrição
Módulos	35992
Inversores <i>String</i>	272
<i>Delivery Station</i>	1
Caixa de Junção	91

Caixa de Visita BT	323
Caixa de Visita MT	27
Posto de Transformação	6
Valas BT	3080m
Valas MT	720m
Caminho	680m

4.5.3 - Fase 3. Comercial

Nesta última fase são apresentados os valores de custo por watt pico e o total para as partes elétricas, civil e O&M. Os componentes presentes nesta análise comercial não diferem muito dos apresentados para os inversores centrais, a única alteração é que nos *string* são acrescentados os postos de transformação e são utilizadas sempre o mesmo modelo de caixas de junção, ou seja, caixas de junção com o mesmo número de entradas.

O custo total pode ser analisado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Análise comercial para a instalação com inversores *string*

	€/Wp	Total (€)
Parte Elétrica		
Módulos, inversores, caixas, cablagem, monitorização, PT e PS	1,21	10.925.913,96
Parte Civil		
Valas, caminhos, estrutura	0,03	255.915,70
O&M		
Supervisão da instalação, limpeza dos módulos, entre outros	0,02	149.920,00
TOTAL de investimento	1,26	11.331.749,00

4.6 - Conclusões

Tabela 4.9 - Comparação do investimento com inversores centrais e inversores *string*

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	9.788.453,04	10.925.913,96
Parte Civil	200.260,89	255.915,70
O&M	152.320,00	149.920,00
TOTAL de investimento	10.141.033,93	11.331.749,00

A tabela anterior (Tabela 4.9) apresenta os custos totais para as opções com inversores centrais e inversores *string*. O total do investimento com inversores de *string* é maior do que com inversores centrais cerca de 12%.

Apesar de a opção com inversores *string* ter um menor custo no que diz respeito à cablagem necessária, pois às secções e distâncias são menores nos *string* do que nos centrais e conseqüentemente o custo também, em contrapartida, o sistema com inversores de *string* tem um maior número de caixas de visita de baixa tensão (BT), mais metros de valas para a cablagem de baixa e média tensão, o que vai encarecer a solução. Mas a grande diferença do central para o *string* está presente no valor acrescido pelos postos de transformação, pois estes já estão incluídos no valor dos inversores centrais não tendo assim grande impacto no custo dessa opção.

Relativamente à produção os inversores de *string* também ficam a perder em comparação com os inversores centrais, apesar de a diferença ser mínima.

Contudo, os inversores *string* ganham em outros fatores como por exemplo mais fácil instalação, menor impacto na produção global em caso de falha de um inversor.

Capítulo 5

Análise de outras geografias

O caso particular estudado no capítulo anterior (Capítulo 4) foi apenas para uma localização, Portugal, ou seja uma situação específica com poucos fatores que influenciassem a decisão na escolha dos inversores para o sistema.

Assim, surgiu a necessidade de acrescentar outras variáveis para que se possa tirar conclusões mais específicas. Para este estudo foram analisados a produção em quatro países diferentes e para potências diferentes variando o tipo de sistema de inversor, entre central e *string*.

A estrutura deste capítulo vai ser dividida em subcapítulos relativos à geografia, ou seja, aos quatro países estudados (Chile, Índia, Portugal e Roménia). Estes países foram escolhidos devido às diferentes condições que cada um apresenta. Portugal é escolhido como sendo um país de referência, pois apresenta um clima ameno com temperaturas e radiações razoáveis. O Chile foi selecionado devido a ser um país com altitude e radiação elevadas tendo impacto no funcionamento do inversor. Para analisar as temperaturas foi escolhida a Índia, pois tem elevadas temperaturas e a Roménia que tem temperaturas mais baixas e até em certos períodos neve.

Em cada subcapítulo vai ser abordada uma análise económica para cada potência (1MW, 7.5MW e 15MW) e um quadro com a energia produzida, produção específica, performance ratio e perdas por sombreamento. Sendo que no fim de cada subcapítulo é apresentado um resumo para o país em causa com a melhor solução.

5.1 - Geografia

Os mapas de radiação global horizontal estão disponíveis *online* para vários países e regiões. A radiação global horizontal é o parâmetro mais importante para a avaliação do potencial de energia solar de uma determinada região e o valor mais básico para simulações PV. Na Figura 5.1 está representada a radiação global horizontal para todos os continentes, sendo que a vermelho mais escuro são os países com maior radiação e a azul as regiões com menos.

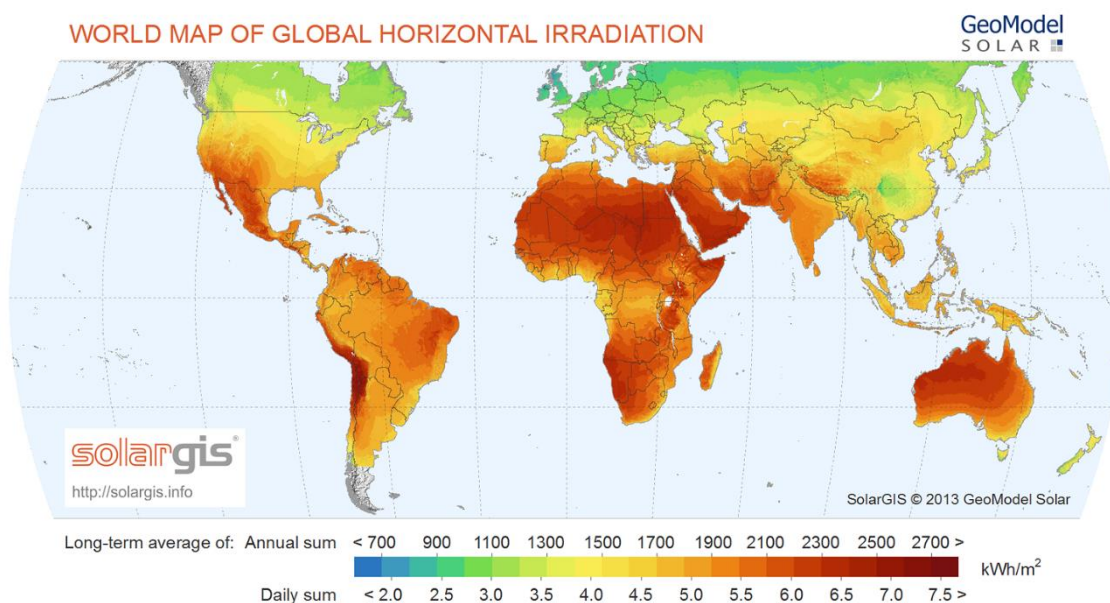


Figura 5.1 - Mapa-mundo da radiação global horizontal [31]

Na Tabela 5.1 são apresentados os valores de radiação global horizontal, radiação difusa e a temperatura ambiente para os quatro países em estudo. Também está descrito o *pitch* e o *tilt* ideal para cada país, de modo a obter uma maior produção.

Tabela 5.1 - Radiação global horizontal, radiação difusa e temperatura média ambiente para os diferentes países

País	Chile	Índia	Portugal	Roménia
Cidade	Antofagasta	Goa	Seixal	Bucareste
Latitude (°)	23.4	15.5	38.6	44.5
Tilt (°)	15.0	15.0	25.0	20.0
Pitch (m)	6.2	6.2	6.0	6.1
Radiação Global Horizontal (kWh/m ²)	1944.9	1987.9	1714.6	1414.1
Radiação Difusa (kWh/m ²)	787.8	808.7	638.4	620.9
Temperatura Ambiente (°C)	16.8	27.3	16.9	11.2

5.2 - Chile

5.2.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento

A produção específica mais elevada para o Chile é no dimensionamento de uma instalação para 1MW, tanto com inversores centrais como com inversores *string*. A performance ratio e as perdas por sombreamento são mais favoráveis também, quer com inversores centrais quer com inversores *string* para os parques de 1MW. No entanto os valores são todos muito próximos nas duas opções (central e *string*). Estes valores referidos e ainda a energia produzida para cada potência são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Chile

	Chile		
	1MW	7.5MW	15MW
Inversor Central			
Energia Produzida (MWh/ano)	2.037	15.261	30.537
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.699	1.696	1.696
<i>Performance Ratio</i> (%)	83.0	82,8	82,8
Perdas Sombreamento (%)	0.9	1,1	1,1
Inversor String			
Energia Produzida (MWh/ano)	2.027	15.149	30.387
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.691	1.684	1,687
<i>Performance Ratio</i> (%)	82.6	82,2	82,4
Perdas Sombreamento (%)	0.9	1,1	1,1

5.2.2 - Análise Económica – Chile 1MW

Na Tabela 5.3, está exposta a análise económica referente à instalação para 1MW, onde são referidos os custos para a parte elétrica, civil e operação e manutenção. O custo total das duas opções é muito aproximado sendo que o custo para os inversores de *string* só é inferior na parte de O&M.

Tabela 5.3 - Análise económica com inversores centrais e *string* para o Chile - 1MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	1.233.383,18	1.252.220,24
Parte Civil	219.935,33	227.661,87
O&M	51.626,67	51.306,67
Total de investimento (€)	1.504.945,18	1.539.522,11
Total (€/Wp)	1,25	1,28

5.2.3 - Análise Económica – Chile 7.5MW

Mais uma vez o recurso aos inversores centrais é compensatório para a potência de 7.5MW, nesta potência e neste caso para além da operação e manutenção ser também mais barata como aconteceu no caso anterior (para 1MW), a parte civil também tem um custo inferior na parte civil. Estes dois parâmetros não são suficientes para que a opção com inversores de *string* seja a escolhida pois no total o custo é muito superior à opção com inversor central (Tabela 5.4). A grande diferença no custo está presente na parte elétrica, este valor elevado deve-se ao maior número de caixas de visita na opção com *string* do que na opção central e o custo dos postos de transformação que é acrescentado na opção de *string* e na opção central não, pois já está incluído no custo dos inversores centrais e não é necessário.

Tabela 5.4 - Análise económica com inversores centrais e *string* para o Chile - 7.5MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	7.832.138,65	9.237.077,77
Parte Civil	1.630.134,56	1.624.965,02
O&M	194.320,00	191.920,00
Total de investimento (€)	9.789.926,54	11.053.962,78
Total (€/Wp)	1,09	1,23

5.2.4 - Análise Económica – Chile 15MW

Analisando a Tabela 5.5, conclui-se mais uma vez que a opção com inversores *string* não é viável, apesar de na parte elétrica e O&M os custos estarem abaixo da opção com inversores centrais, pelas mesmas razões apresentadas anteriormente.

Tabela 5.5 - Análise econômica com inversores centrais e *string* para o Chile - 15MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	15.363.218,40	20.961.235,09
Parte Civil	3.271.680,31	3.258.510,14
O&M	326.400,00	321.600,00
Total de investimento (€)	19.161.298,71	24.541.345,23
Total (€/Wp)	1,07	1,36

5.2.5 - Resumo

Através da observação das tabelas anteriores, pode-se concluir que os inversores centrais são sempre uma melhor opção para todas as potências no que diz respeito ao total do investimento. Para as potências de 7.5MW e 15MW o custo por watt pico para os inversores *string* distancia-se respectivamente 0,14€ e 0,29€, relativamente aos inversores centrais o que é uma diferença ainda considerável. Já para a potência de 1MW a distância não é tão acentuada entre o total de custo, ou seja, cerca de 0,03€ de diferença do *string* para o central.

5.3 - Índia

5.3.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento

A produção específica e performance ratio mais baixa quer para inversores centrais quer para inversores *string* é no dimensionamento para 7.5MW, isto para a Índia. No entanto os valores são todos muito próximos nas duas opções (central e *string*) para as três potências. Estes valores referidos e ainda a energia produzida para cada potência são apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Índia

	Índia		
	1MW	7.5MW	15MW
Inversor Central			
Energia Produzida (MWh/ano)	1.988	14.823	29.815
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.658	1.647	1.656
Performance Ratio (%)	78,9	78,4	78,8
Perdas Sombreamento (%)	0,9	1,1	1,1

Inversor String			
Energia Produzida (MWh/ano)	1.943	14.782	29.604
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.653	1.643	1.644
<i>Performance Ratio</i> (%)	78,7	78,2	78,3
Perdas Sombreamento (%)	0,9	1,1	1,1

5.3.2 - Análise Económica – Índia 1MW

Na Tabela 5.7, verifica-se que o custo por watt pico para o inversor central é mais baixo cerca de 0,08€ do que para a opção com inversor *string*. A operação e manutenção (O&M) tem um custo mais elevado na opção com inversor central, isto porque na opção central o custo dos consumíveis é maior.

Tabela 5.7 - Análise económica com inversores centrais e *string* para a Índia - 1MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	1.165.668,18	1.240.082,21
Parte Civil	179.935,33	187.661,87
O&M	34.826,67	34.506,67
Total de investimento (€)	1.380.430,18	1.474.388,77
Total (€/Wp)	1,15	1,23

5.3.3 - Análise Económica – Índia 7.5MW

A Tabela 5.8 apresenta a análise económica para o dimensionamento de uma instalação para a potência de 7.5MW. Nos inversores centrais o custo da análise elétrica é o que está mais baixo em relação aos inversores *string*, sendo que mesmo assim o custo total do inversor central continua menor do que o *string*.

Tabela 5.8 - Análise económica com inversores centrais e *string* para a Índia - 7.5MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	7.719.999,27	9.026.932,37
Parte Civil	1.330.134,56	1.324.965,02
O&M	110.320,00	107.920,00
Total de investimento (€)	9.405.926,54	10.669.962,78
Total (€/Wp)	1,05	1,19

5.3.4 - Análise Económica – Índia 15MW

Como no caso anterior, o custo de O&M e parte civil é mais baixo na opção com inversor *string*. No final das contas a opção inversor central torna-se mais viável uma vez que na parte elétrica tem um custo muito inferior comparativamente com a outra opção. Esta diferença é também devido ao sistema de monitorização ter uma menor custo presente na parte elétrica (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 - Análise económica com inversores centrais e *string* para a Índia - 15MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	15.140.252,65	20.538.687,50
Parte Civil	2.671.680,31	2.658.510,14
O&M	208.800,00	204.000,00
Total de investimento (€)	18.443.698,71	23.823.745,23
Total (€/Wp)	1,03	1,32

5.3.5 - Resumo

Na Índia a melhor opção passa também pelo recurso aos inversores centrais para as três potências em estudo. Para este país as diferenças no total de custo são maiores do que as apresentadas anteriormente para o Chile, sendo que nem para a potência de 1MW, o custo da opção *string* se aproximar da opção inversor central. Como já foi referido previamente na análise das tabelas das diferentes potências, esta disparidade de custo entre *string* e central é devido sobretudo à parte elétrica do dimensionamento, mais concretamente ao número de caixas de visita de baixa e média tensão que é são necessárias na opção *string* em relação à opção central. Outro fator que faz aumentar o custo dos inversores *string* é o sistema de monitorização, pois a monitorização é feita a um total de inversores de *string* maior que o número de caixas de junção monitoradas na opção com inversores centrais.

5.4 - Portugal

5.4.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento

Os resultados obtidos através do PVsyst® para as diferentes potências e para as soluções com os dois tipos de sistemas (central e *string*) para Portugal estão resumidos na Tabela 5.10. Nesta tabela são expressos valores da produção específica, performance ratio perdas e energia produzida.

Na potência de 1MW e no sistema de *string* é onde se regista uma maior produção específica e PR.

Tabela 5.10 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Portugal

	Portugal		
	1MW	7.5MW	15MW
Inversor Central			
Energia Produzida (MWh/ano)	1.875	14.102	28.212
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.564	1.567	1.567
<i>Performance Ratio</i> (%)	80,4	80,6	80,6
Perdas Sombreamento (%)	2,7	3,5	3,5
Inversor String			
Energia Produzida (MWh/ano)	1.881	13.994	28.046
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.569	1.555	1.558
<i>Performance Ratio</i> (%)	80,7	80,0	80,1
Perdas Sombreamento (%)	2,7	3,5	3,5

5.4.2 - Análise Económica – Portugal 1MW

A análise da Tabela 5.11, permite concluir que o custo total para a solução com inversores *string* está muito próxima da solução com inversores centrais, cerca de 0,02€ de diferença.

Tabela 5.11 - Análise económica com inversores centrais e *string* para Portugal - 1MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	1.498.488,15	1.513.442,37
Parte Civil	219.935,33	227.661,87
O&M	43.226,67	42.906,67
Total de investimento (€)	1.761.650,15	1.784.010,91
Total (€/Wp)	1,47	1,49

5.4.3 - Análise Económica – Portugal 7.5MW

No dimensionamento para Portugal de uma instalação de 7.5MW, a melhor solução, ou seja, a solução economicamente mais viável é a utilização de inversores centrais uma vez que estes apresentam um custo total na instalação muito inferior aos de *string* como se verifica na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Análise económica com inversores centrais e *string* para Portugal - 7.5MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	9.654.533,58	11.059.472,70
Parte Civil	1.630.134,56	1.624.965,02
O&M	152.320,00	149.920,00
Total de investimento (€)	11.570.321,48	12.834.357,72
Total (€/Wp)	1,29	1,43

5.4.4 - Análise Económica – Portugal 15MW

O mesmo acontece que no caso anterior para a potência de 15MW, isto é, o inversor *string* não é economicamente compensatório, tornando assim o inversor central a melhor solução. Sendo que a diferença entre o central e o *string* é de 0,31€, como se pode verificar na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Análise económica com inversores centrais e *string* para Portugal - 15MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	19.209.877,22	24.809.106,00
Parte Civil	3.268.977,31	3.618.510,14
O&M	267.600,00	262.800,00
Total de investimento (€)	22.946.454,22	28.690.416,14
Total (€/Wp)	1,28	1,59

5.4.5 - Resumo

Em Portugal, o recurso ao inversor *string* só faria lógica para a potência de 1MW, porque é a situação em que o custo do sistema com inversores *string* está muito perto do custo do sistema com inversores centrais (cerca de 0,01€ a mais no *string* do que no central). Pois o uso de inversores *string* pode trazer muitas vantagens para uma instalação dependendo de vários fatores. Como mencionado anteriormente nos outros países a maior diferença de custos entre os dois sistemas (central e *string*) situa-se nas potências de 7.5MW e 15MW, sendo que na parte elétrica do dimensionamento é que se acentua essa diferença.

5.5 - Roménia

5.5.1 - Produção, PR e Perdas Sombreamento

Na Tabela 5.14, estão resumidos os valores da energia produzida por cada sistema e para cada potência, estão também os valores das perdas por sombreamento e PR em percentagem. Para comparar melhor cada tipo de sistema está também descrito os valores da produção específica para cada tipo de sistema consoante a potência.

Uma vez mais a potência de 1MW é a que regista melhores valores de produção específica, performance ratio e perdas por sombreamento.

Tabela 5.14 - Produção, PR e perdas por sombreamento para as potências em estudo - Roménia

	Roménia		
	1MW	7.5MW	15MW
Inversor Central			
Energia Produzida (MWh/ano)	1.585	11.744	23.650
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.322	1.305	1.313
<i>Performance Ratio</i> (%)	82,6	81,5	82,1
Perdas Sombreamento (%)	2,0	2,6	2,6
Inversor String			
Energia Produzida (MWh/ano)	1.584	11.723	23.480
Produção Específica (kWh/kWp/ano)	1.321	1.303	1.304
<i>Performance Ratio</i> (%)	82,5	81,4	81,5
Perdas Sombreamento (%)	2,0	2,6	2,6

5.5.2 - Análise Económica – Roménia 1MW

Analisando a seguinte tabela (Tabela 5.15), conclui-se que a opção central é a solução mais economicamente viável, pois apresenta um custo total inferior à opção *string*.

Tabela 5.15 - Análise económica com inversores centrais e *string* para a Roménia - 1MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	1.494.605,31	1.513.442,37
Parte Civil	243.935,33	251.661,87
O&M	40.426,67	40.106,67
Total de investimento (€)	1.778.967,31	1.805.210,91
Total (€/Wp)	1,48	1,50

5.5.3 - Análise Económica – Roménia 7.5MW

Na Tabela 5.16, é possível retirar a mesma conclusão que no caso anterior, ou seja, o sistema com inversores centrais é financeiramente mais económico do que com inversores *string*. Sendo que para esta potência (7.5MW) a diferença seja mais acentuada do que na anterior de 1MW, em que a diferença era só de dois cêntimos por watt pico.

Tabela 5.16 - Análise económica com inversores centrais e *string* para a Roménia - 7.5MW

	Central	String
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	9.654.533,58	11.059.472,70
Parte Civil	1.810.134,56	1.804.965,02
O&M	138.320,00	135.920,00
Total de investimento (€)	11.736.321,48	13.000.357,72
Total (€/Wp)	1,30	1,44

5.5.4 - Análise Económica – Roménia 15MW

Finalmente, na Tabela 5.17, volta-se a verificar o mesmo que nas anteriores: o inversor central é que apresenta um custo total final menor, distanciado cerca de 0,30€

para o *string*. Apesar de na parte civil e O&M o custo total do sistema com inversores *string* ser inferior ao sistema com central.

Tabela 5.17 - Análise económica com inversores centrais e *string* para a Roménia - 15MW

	Central	<i>String</i>
	Total (€)	Total (€)
Parte Elétrica	19.209.513,60	24.807.530,29
Parte Civil	3.628.977,31	3.618.510,14
O&M	248.000,00	243.200,00
Total de investimento (€)	23.286.490,91	28.669.240,43
Total (€/Wp)	1,29	1,59

5.5.5 - Resumo

Na Roménia, tal como nos outros países estudados a melhor opção seria sempre o uso de inversores centrais nas instalações fotovoltaicas para as três potências analisadas. Sendo que para 1MW os custos por watt-pico estão muito próximos, o que torna os *string* concorrentes dos centrais.

Capítulo 6

Conclusão

Na presente dissertação foi criada uma metodologia de dimensão e análise de centrais fotovoltaicas ligadas à rede. Inicialmente simulou-se a produção da instalação com o *software* PVsyst®, seguidamente foi implementada a solução com o recurso à ferramenta de desenho AutoCad® e finalmente calculado o custo da instalação, isto para dois sistemas: um sistema com inversores centrais e outro com inversores *string*.

Através dos estudos pode-se concluir que se o custo for o fator preponderante na decisão de qual sistema a escolher, os centrais têm vantagem sobre os *string*, o que já era de esperar. Pois, a nível do sistema os centrais são mais simples, enquanto que nos centrais podemos ter apenas uma máquina para uma determinada potência, com inversores *string* irá ser necessário mais máquinas, e conseqüentemente mais cablagem, valas, caixas de visita, etc.

Se formos decidir qual o melhor sistema para um investimento a longo prazo, a melhor solução são os inversores *string*, porque apresentam diversas vantagens como: a nível de produção, os inversores centrais apresentavam maiores valores, mas na realidade este fato pertence aos inversores *string* pois são os que têm maior eficiência; o PVsyst® também não tem em conta as perdas por *mismatch*, ou seja, com sistemas de inversores *string* são menos *strings* por MPPT do que com inversores centrais aumentando assim também a sua produção. Na realidade os inversores *string* vão produzir mais, na ocorrência de sombreamentos causados pelo tempo nublado, ou outros cenários temporários, não é afetada a produção de todo o sistema como nos centrais. Outros fatores são o consumo nos serviços auxiliares, por exemplo a ventilação dos inversores centrais, em que estes têm um consumo muito maior do que os de *string*; e a disponibilidade do

sistema, que é superior com inversores *string* dada a sua dimensão e facilidade na substituição em caso de avaria não deixando assim o sistema muito tempo sem produzir, o que acontece com os centrais pois é mais complicada a sua substituição.

Em geografias remotas, os inversores *string* são a melhor solução. Como a mão-de-obra especializada é escassa, em caso de avaria de uma máquina a sua substituição não necessita de grande formação específica, o que para os centrais não acontece porque requerem informação particular pelo fabricante. Os inversores *string* são mais fáceis de instalar, ou seja, para a instalação de um inversor central são necessárias gruas adequadas e em muitos casos estas não estão disponíveis, nem os terrenos permitem o acesso das mesmas; no caso de falha de uma máquina, tem menor impacto na produção global do sistema (maior disponibilidade), isto é, a substituição de um inversor *string* é realizada no momento, pois permite que hajam reservas (*spare parts*), enquanto que no caso do inversor central é necessário aguardar pela sua substituição, o que afeta a produção do sistema; é possível a atualização dos equipamentos com inversores de *string* sem grande custo, sendo que os centrais vão ficando obsoletos sem possibilidade de atualização; com os *string* existe uma maior flexibilidade para gerir os diferentes níveis de degradação dos módulos; permitem a otimização em terrenos irregulares, diferentes ângulos e orientações; menor *threshold* do que os centrais, isto é, começa a produzir mais cedo e termina mais tarde, aumentando assim a quantidade de energia produzida.

Em suma, na altura da decisão de qual inversor deve ser utilizado numa instalação fotovoltaica de grande capacidade, os inversores *string* surgem como uma forte solução, apesar do investimento inicial ser maior do que os centrais, o custo de operação e manutenção é uma grande vantagem.

Referências

- [1] Greenpeace International [Online] [acedido em 20 de março de 2014]. Disponível em:<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2011/Final%20SolarGeneration%20VI%20full%20report%20lr.pdf>;
- [2] PV Tech [Online] [acedido em 27 de março de 2014]. Disponível em: http://www.pv-tech.org/news/pv_inverter_preferences_changing_says_ihs ;
- [3] “Guia de Orientação para a Utilização das Energias Renováveis nas Empresas”, AlMinho-Associação Empresarial.2010;
- [4] The Solar Report [online] [acedido em 16 de abril de 2014]. Disponível em: <http://cenerypower.com/blog/string-vs-central-inverters-choosing-right-inverter/>;
- [5] “Photovoltaic solar Energy- Development and current research”, European commission.2009;
- [6] Eletronica [Online] [acedido em 16 de abril de 2014]. Disponível em: <http://www.electronica-pt.com/energia-solar/painel-solar-fotovoltaico>;
- [7] E-LEE Tecnologia das células [Online] [acedido em 23 de abril de 2014]. Disponível em: <http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaiques/Cellule/Technologie.htm>;

- [8] Conceção e certificação de nova geração de candeeiros de iluminação pública. Tecnologia Fotovoltaica [Online] [acedido em 23 de abril de 2014]. Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page830.htm;
- [9] Eletricidad gratuita. Construcción y fabricación. Proceso de producción de una celda FV[Online] [acedido em 24 de abril de 2014]. Disponível em: <http://www.electricidad-gratuita.com/produccion-celda-fvh-fv4.html>;
- [10] Tatsuo Saga , "Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production" NPG Asia Materials (2010);
- [11] Filipe Alexandre de Sousa Pereira, Manuel Ângelo Sarmiento Oliveira , PubIndustria- " Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica " , 1ª Edição Agosto 2011;
- [12] John Perkins, "NREL Highlights - Manufacturing-Friendly Advance Seen in CIGS Solar Cell Processing", Revised June 2011;
- [13] PEREIRA, Filipe; OLIVEIRA, Manuel - Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica. Publindústria, 2011;
- [14] Ebah, energia fotovoltaica [Online] [acedido em 28 de abril de 2014]. Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAAe_fgAJ/energia-fotovoltaica?part=3;
- [15] Calameo [Online] [acedido em 28 de abril de 2014]. Disponível em: <http://pt.calameo.com/read/0013781255fa242cedf7d>;
- [16] Yngli solar [Online] [acedido em 29 de abril de 2014]. Disponível em: <http://www.ynglisolar.com/br/products/manufacturing/>
- [17] Fotovoltaicos 001 [Online] [acedido em 30 de abril de 2014]. Disponível em: <http://fotovoltaicos001.blogspot.pt/2011/02/modulos-solares-fotovoltaicos.html>

- [18] Energia fotovoltaica- manual sobre tecnologias, projeto e instalação. 2004
- [19] Eletromagnetismo B. Módulos fotovoltaicos- características e associações. Joaquim Carneiro. 2010;
- [20] Martifer Solar [Online] [acedido em 23 de abril de 2014]. Disponível em: <http://www.martifersolar.com/pt/projectSegment.php?pbf=1>;
- [21] PRLOG Press Release Distribution [Online] [acedido em 28 de abril de 2014]. Disponível em: <http://www.prlog.org/11668462-solar-trackers-single-vs-dual-axis.html>
- [22] Martifer Solar. “One step ahead”. Operation & Maintenance Service. [online] [acedido em 28 de abril de 2014]. Disponível em: http://www.martifersolar.com/downloads/brochures/WEB_OM_Brochure.pdf
- [23] Wiley Online Library, Johannes Greulich*, Markus Glatthaar and Stefan Rein "Fill factor analysis of solar cells currentvoltage curves". [online] [acedido em 23 de abril de 2014]. Disponível em:<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.979/abstract>;
- [24] A. Vicente T. Leite “Apontamentos de mestrado em energias renováveis e eficiência energética, sistemas solares fotovoltaicos”. 2013;
- [25] NICOLA M. PEARSALL and ROBERT HILL, “Photovoltaic Modules, Systems and Applications”. 2001;
- [26] FREIRE R.N., Dissertação “Análise de viabilidade de Projectos de Minigeração Fotovoltaica” 2011;
- [27] Photon.info, The world of information in the world of solar electricity [online] [acedido em 8 de junho de 2014]. Disponível em: http://www.photon.info/photon_news_detail_en.photon?id=80194
- [28] Power one, general specifications outdoor models. 2012;

[29] ENF Accelerating the industry, Power Electronics España, S.L.. FREESUN HEC-360VAC [online] [acedido em 8 de junho de 2014]. Disponível em:<http://www.enfsolar.com/pv/inverter-datasheet/275>;

[30] Power Electronics [online] [acedido em 7 de junho de 2014]. Disponível em:<http://www.power-electronics.com/300.html?Solar+Inverters>;

[31] SolarGis, Free Download of Solar Radiation Maps: Direct Normal Irradiation (DNI) [online] [acedido em 7 de junho de 2014]. Disponível em: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-DNI>.

[32] PVsyst's fórum, How is calculated the PR (Performance Ratio) [online] [acedido em 17 de julho de 2014]. Disponível em:<http://forum.pvsyst.com/viewtopic.php?f=30&t=31>.

Anexo A

Datasheets

Electrical characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module	CSUN 255-60P	CSUN 250-60P	CSUN 245-60P	CSUN 240-60P	CSUN 235-60P
Maximum Power - P _{mpp} (W)	255	250	245	240	235
Positive power tolerance	0-3%	0-3%	0-3%	0-3%	0-3%
Open Circuit Voltage - Voc (V)	37.5	37.3	37.1	36.9	36.8
Short Circuit Current - Isc (A)	8.88	8.81	8.74	8.67	8.59
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	30.1	29.9	29.7	29.6	29.5
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	8.47	8.36	8.25	8.11	7.97
Module efficiency	15.70%	15.40%	15.09%	14.78%	14.47%

Electrical data relates to standard test conditions (STC): irradiance 1000W/m²; AM 1.5; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

Electrical Characteristics at Normal Operating Cell Temperature (NOCT)

Module	CSUN 255-60P	CSUN 250-60P	CSUN 245-60P	CSUN 240-60P	CSUN 235-60P
Maximum Power - P _{mpp} (W)	188	185	181	178	175
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	28.0	27.9	27.5	27.2	27.0
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	6.72	6.64	6.58	6.54	6.48
Open Circuit Voltage - Voc (V)	34.6	34.5	34.2	34.0	33.8
Short Circuit Current - Isc (A)	7.16	7.10	7.02	6.95	6.90

Electrical data relates to normal operating cell temperature (NOCT): irradiance 800W/m²; wind speed 1 m/s; cell temperature 45°C; ambient temperature 20°C measuring uncertainty of power is within ±3%.

Temperature Characteristics

Voltage Temperature Coefficient	-0.292%/K
Current Temperature Coefficient	+0.045%/K
Power Temperature Coefficient	-0.408%/K

Maximum Ratings

Maximum system voltage (V)	1000
Series fuse rating (A)	20
Reverse current overload (A)	27

Mechanical Characteristics

Dimensions	1640 × 990 × 35 mm
Weight	18.3 kg
Frame	Anodized aluminum profile
Front glass	White toughened safety glass, 3.2 mm
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film
Cells	6 × 10 pieces polycrystalline solar cells series strings (156 mm × 156 mm)
Junction Box	Rated current ≥ 12A, IP ≥ 65, TUV&UL
Cable	Length 900 mm, 1 × 4 mm ²
Connector	MC 4/ compatible with MC 4

Packaging

Container 20'	360 pcs.
Container 40'	840 pcs.
Container 40'HC	896 pcs.

System Design

Temp. range	-40°C to +85°C
Hail	max. diameter of 25mm with impact speed of 23m/s
Max. capacity	Snow 5400 Pa, wind 2400 Pa
Application class	A
Safety class	II

Dimensions

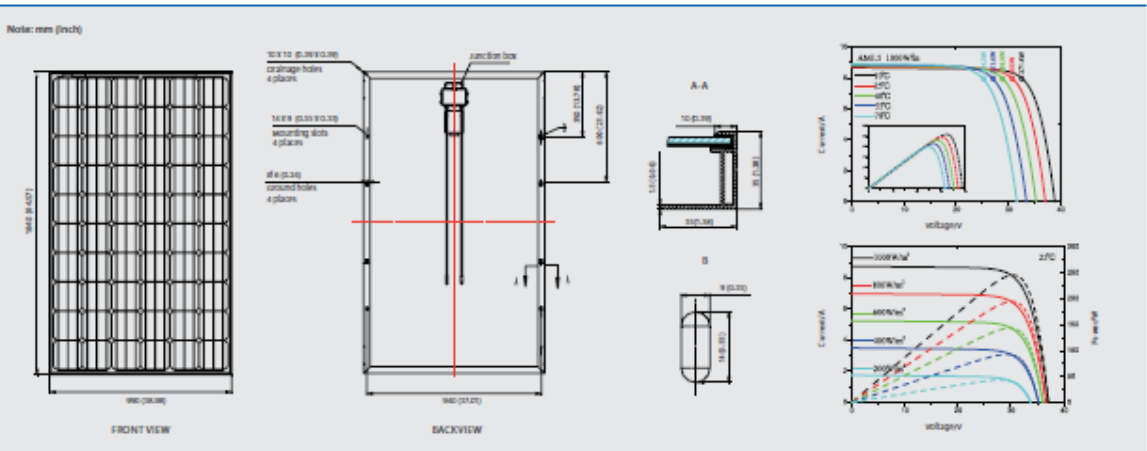


Figura A.1 - Datasheet do módulo CSUN250-60P

		360VAC - MPPT range 565Vdc-820Vdc								
		FRAME 1 - FS			FRAME 2 - FS			FRAME 3 - FS		
NUMBER OF MODULES		2	3	4	5	6	7	8	9	10
FREESUN HE		0280_H	0420_H	0560_H	0701_H	0830_H	0970_H	1110_H	1250_H	1390_H
OUTPUT	Nominal AC Power(kVA) at 50°C ^[1]	280	420	560	700	830	970	1110	1250	1390
	Nominal AC Current (A) at 50°C ^[1]	444	667	889	1111	1333	1555	1778	2000	2222
	Operating Grid Voltage(Vac)	360Vac (± 10%)								
	Operating Range, Grid Frequency	50Hz - 60Hz								
	Voltage Ripple, PV Voltage	< 3%								
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% at nominal power								
	Power Factor (cosine phi)	0.90 leading ... 0.90 lagging adjustable								
INPUT	Number AC connections per pole	4x240mm ² xM12			4x240mm ² xM12			8x240mm ² xM12		
	DC Voltage Range MPPT (Vdc) ^[2]	565V-820V								
	Max. permissible DC voltage (Vdc)	1000V								
	Rated DC current (A)	500A	750A	1000A	1250A	1500A	1750A	2000A	2250A	2500A
	Nº of DC connections (per pole)	8	12	16	20	24	28	32	36	40
EFFICIENCY	Max. cable section (mm ²) ^[3]	240mm ²								
	Max. Efficiency PAC, nom (η)	98.6%			98.6%			98.6%		
	Euroeta (η)	98.2%			98.3%			98.4%		
AUX. SUPPLY	Max. Standby Consumption (Pnight)	< approx. 120W			< approx. 240W			< approx. 400W		
	Control Power Supply	3 x 400V, 50/60Hz, (VRT compatible inverters equipped with internal UPS)								
CABINET	Max. Power Consumption	1400W			2760W			4600W		
	Dimensions [WxHxD] mm	2100x2150x1020			3372 x 2150 x 1020			5260 x 2150 x 1020		
	Weight (kg)	1650			2900			4500		
ENVIRONMENT	Air Flow	Intake through rear lower part blown out through upper side								
	Type of ventilation	Forced								
	Degree of protection	Indoor IP21								
	Permissible Ambient Temperature ^[4]	-20°C ... +50°C								
	Relative Humidity	10% to 95% Non condensing								
CONTROL INTERFACE	Max. Altitude (above sea level) ^[4]	1000m; >1000m power derating 1% 5n (kVA) per 100m								
	Noise level ^[5]	< 79 dBA								
	Communication	RS232 / RS485 / USB / Ethernet, (Modbus RTU Protocol, Modbus TCP/IP) Optional GSM/GPRS								
	Digital Inputs	2 programmable inputs. Galvanically isolated								
PROTECTIONS	Analogue Inputs	2 programmable and differential inputs; (0-20mA or ± 10mV to ± 10V) and PT100								
	String SupervisorCommunication	RS485 /Modbus RTU								
	Digital Outputs	2 electrically-isolated programmable switched relays (250Vac, BA or 30 Vdc, BA)								
	Analogue Outputs	1 Analogue. Output galvanically isolated								
	Ground Fault Monitoring ^[6]	Standard built in								
	Heating Resistors	Optional								
	Emergency Stop	Optional								
General AC on-load switch disconn.	Standard									
AC contactor	Standard in each module									
AC Circuit Breaker	Standard in each module									
DC Motorized Circuit Breaker	MCCB. Motorized built in as standard in each module									
General DC power switch	Optional									
DC General Fuses	Optional									
Oversvoltage Protection	AC, DC Inverter and Auxiliary Supply type 2 - Internal Standard									
Lightning Protections	Optional (Integrated in the inverter)									

NOTES [1] Consult Power Electronics for derating curves.
[2] Values at 1.05-Vac nom and cos φ = 1.
[3] Maximum DC cable section per connection and pole. The installer must also consider for the cable selection the factors such as length of cable for each installation,

environmental conditions, aluminium conductors, installation methods and requirements set out in current regulations applicable in the country of installation.
[4] Other characteristics consult with Power Electronics.
[5] Sound pressure level at a distance of 1m from the

rear part.
[6] In cases where the installation has the positive pole or the negative pole earth connected, this protection will be disconnected.

Figura A.2 - Datasheet inverter central Power Electronics FreeSun FS1250 HE 360V

		330VAC - MPPT range 520Vdc-820Vdc									
		FRAME 1 - FS			FRAME 2 - FS			FRAME 3 - FS			
NUMBER OF MODULES		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FREESUN HE		0250IH	0380IH	0501IH	0630IH	0750IH	0880IH	1001IH	1130IH	1251IH	
OUTPUT	Nominal AC Power(kVA) at 50°C ^[1]	250	380	500	630	750	880	1000	1130	1251	
	Nominal AC Current (A) at 50°C ^[1]	438	657	876	1095	1314	1533	1752	1971	2190	
	Operating Grid Voltage(V _{ac})	330V _{ac} (± 10%)									
	Operating Range, Grid Frequency	50Hz - 60Hz									
	Voltage Ripple, PV Voltage	< 3%									
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% at nominal power									
INPUT	Power Factor (cos phi)/@max. power	0.0 leading...0.0 lagging / 0.90 leading ... 0.90 lagging (adjustable)									
	Number AC connections per pole	4x240mm ² xM12			4x240mm ² xM12			8x240mm ² xM12			
	DC Voltage Range MPPT (V _{dc}) ^[2]	520V-820V									
	Max. permissible DC voltage (V _{dc})	1000V									
	Rated DC current (A)	500A	750A	1000A	1250A	1500A	1750A	2000A	2250A	2500A	
	N° of DC connections (per pole)	8	12	16	20	24	28	32	36	40	
EFFICIENCY	Max. cable section (mm ²) ^[3]	240mm ²									
	Max. Efficiency PAC, nom (η)	98.6%			98.6%			98.6%			
	Euroeta (η)	98.2%			98.3%			98.4%			
AUX. SUPPLY	Max. Standby Consumption (P _{night})	< approx. 120W			< approx. 240W			< approx. 400W			
	Control Power Supply	3 x 400V, 50 / 60Hz, (VRT compatible inverters equipped with internal UPS)									
CABINET	Max. Power Consumption	1400W			2760W			4600W			
	Dimensions [WxHxD] mm	2100x2150x1020			3372 x 2150 x 1020			5260 x 2150 x 1020			
	Weight (kg)	1650			2900			4500			
ENVIRONMENT	Air Flow	Intake through rear lower part blown out through upper side									
	Type of ventilation	Forced									
	Degree of protection	Indoor IP21									
	Permissible Ambient Temperature ^[4]	-20°C ...+50°C									
	Relative Humidity	10% to 95% Non condensing									
CONTROL INTERFACE	Max. Altitude (above sea level) ^[4]	1000m; >1000m power derating 1% S _n (kVA) per 100m									
	Noise level ^[5]	< 79 dBA									
	Communication	RS232 / RS485 / USB / Ethernet, (Modbus RTU Protocol, Modbus TCP/IP) Optional GSM/GPRS									
	Digital Inputs	2 programmable inputs. Galvanically isolated									
PROTECTIONS	Analogue Inputs	2 programmable and differential inputs; (0-20mA or ± 10mV to ± 10V) and PT100									
	String Supervisor/Communication	RS485 /Modbus RTU									
	Digital Outputs	2 electrically-isolated programmable switched relays (250V _{ac} , 8A or 30 V _{ac} , 8A)									
	Analogue Outputs	1 Analogue. Output galvanically isolated									
	Ground Fault Monitoring ^[6]	Standard built in									
	Heating Resistors	Optional									
	Emergency Stop	Optional									
	General AC on-load switch disconn.	Standard									
	AC contactor	Standard in each module									
	AC Circuit Breaker	Standard in each module									
DC Motorized Circuit Breaker	MCCB. Motorized built in as standard in each module										
General DC power switch	Optional										
DC General Fuses	Optional										
Overvoltage Protection	AC, DC Inverter and Auxiliary Supply type 2 - Internal Standard										
Lightning Protections	Optional (Integrated in the inverter)										

NOTES [1] Consult Power Electronics for derating curves. [2] Values at 1.05 V_{ac} nom and cos φ = 1. [3] Maximum DC cable section per connection and pole. The installer must also consider for the cable selection the factors such as length of cable for each installation, environmental conditions, aluminium conductors, installation methods and requirements set out in current regulations applicable in the country of installation. [4] Other characteristics consult with Power Electronics. [5] Sound pressure level at a distance of 1m from the rear part. [6] In cases where the installation has the positive pole or the negative pole earth connected, this protection will be disconnected.

Figura A.3 - Datasheet inversor central Power Electronics FreeSun FS1001 HE 330V

PARAMETER	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Input Side		
Absolute Maximum DC Input Voltage ($V_{max,dc}$)	1000 V	
Start-up DC Input Voltage (V_{start})	360 V (adj. 250...500 V)	
Operating DC Input Voltage Range ($V_{dmin}...V_{dmax}$)	0.7 x $V_{start}...950$ V	
Rated DC Input Power (P_{dc})	20750 W	28600 W
Number of Independent MPPT	2	
Maximum DC Input Power for each MPPT ($P_{MPPTmax}$)	12000 W	16000 W
DC Input Voltage Range with Parallel Configuration of MPPT at P_{dc}	440...800 V	500...800 V
DC Power Limitation with Parallel Configuration of MPPT	Linear Derating From MAX to Null [$800V \leq V_{MPPT} \leq 950V$]	
DC Power Limitation for each MPPT with Independent Configuration of MPPT at P_{dc} , max unbalance example	12000 W [$480V \leq V_{MPPT} \leq 800V$] the other channel: $P_{dc} = 12000W$ [$350V \leq V_{MPPT} \leq 800V$] 50.0 A / 25.0 A	16000 W [$500V \leq V_{MPPT} \leq 800V$] the other channel: $P_{dc} = 16000W$ [$400V \leq V_{MPPT} \leq 800V$] 64.0 A / 32.0 A
Maximum DC Input Current ($I_{dc,max}$) / for each MPPT ($I_{MPPT,max}$)	30.0 A	40.0 A
Maximum Input Short Circuit Current for each MPPT	30.0 A	40.0 A
Number of DC Inputs Pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X and -S2F Versions)	1 (5 in -S2X and -S2F Versions)
DC Connection Type	Tool Free PV Connector WM / MC4 (Screw Terminal Block on Standard and -S2 versions)	
Input Protection		
Reverse Polarity protection	Inverter protection only, from limited current source, for standard and -S2 versions, and for fused versions when max 2 strings are connected	
Input Over Voltage Protection for each MPPT - Varistor	2	
Input Over Voltage Protection for each MPPT - Plug In Modular Surge Arrester (-S2X Version)	3 (Class II)	
Photovoltaic Array Isolation Control	According to local standard	
DC Switch Rating for each MPPT (Version with DC Switch)	40 A / 1000 V	
Fuse Rating (Versions with fuses)	15 A / 1000 V ⁽¹⁾	
Output Side		
AC Grid Connection Type	Three phase 3W or 4W+PE	
Rated AC Power (P_{ac} @ $\cos\phi=1$)	20000 W	27600 W
Maximum AC Output Power ($P_{ac,max}$ @ $\cos\phi=1$)	22000 W ⁽²⁾	30000 W ⁽³⁾
Maximum Apparent Power (S_{max})	22200 VA	30000 VA
Rated AC Grid Voltage ($V_{ac,r}$)	400 V	
AC Voltage Range	320...480 V ⁽³⁾	
Maximum AC Output Current ($I_{ac,max}$)	33.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	46.0 A
Rated Output Frequency (f _o)	50 Hz / 60 Hz	
Output Frequency Range (f _{min}...f_{max}})}	47...53 Hz / 57...63 Hz ⁽⁴⁾	
Nominal Power Factor and adjustable range	> 0.995, adj. \pm 0.9 with $P_{ac}=20.0$ kW, \pm 0.8 with max 22.2 kVA	> 0.995, adj. \pm 0.9 with $P_{ac}=27.6$ kW, \pm 0.8 with max 30 kVA
Total Current Harmonic Distortion	< 3%	
AC Connection Type	Screw terminal block	
Output Protection		
Anti-Islanding Protection	According to local standard	
Maximum AC Overcurrent Protection	34.0 A	46.0 A
Output Overvoltage Protection - Varistor	4	
Output Over Voltage Protection - Plug In Modular Surge Arrester (-S2X Version)	4 (Class II)	
Operating Performance		
Maximum Efficiency (η_{max})	98.2%	
Weighted Efficiency (EURO/CEC)	98.0% / 98.0%	
Feed In Power Threshold	40 W	
Stand-by Consumption	< 8W	
Communication		
Wired Local Monitoring	PVI-USB-RS232_485 (opt.), PVI-DESKTOP (opt.)	
Remote Monitoring	PVI-AEC-EVO (opt.), AURORA LOGGER (opt.)	
Wireless Local Monitoring	PVI-DESKTOP (opt.) with PVI-RADIOMODULE (opt.)	
User Interface	Graphic display	
Environmental		
Ambient Temperature Range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 45°C/113°F	
Relative Humidity	0...100% condensing	
Noise Emission	< 50 dB(A) @ 1 m	
Maximum Operating Altitude without Derating	2000 m / 6560 ft	
Physical		
Environmental Protection Rating	IP 65	
Cooling	Natural	
Dimension (H x W x D)	1061 mm x 702 mm x 292 mm / 41.7" x 27.6" x 11.5"	
Weight	< 70.0 kg / 154.3 lb (Standard version)	< 75.0 kg / 165.4 lb (Standard version)
Mounting System	Wall bracket	
Safety		
Isolation Level	Transformerless	
Marking	CE	
Safety and EMC Standard	EN 50178, EN62109-1, EN62109-2, AS/NZS3100, AS/NZS 60950, EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-11, EN61000-3-12	
Grid Standard	CEI 0-21, CEI 0-16, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G59/2, C10/11, EN 50438 (not for all national appendices), RD1699, RD 1565, AS 4777, BDEW, ABNT NBR 16149, NRS-097-2-1	
Available Products Variants		
Standard	TRIO-20.0-TL-OUTD-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-400
With DC+AC Switch	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2-400
With DC+AC Switch and Fuse	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2F-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2F-400
With DC+AC Switch, Fuse and Surge Arrester	TRIO-20.0-TL-OUTD-S2X-400	TRIO-27.6-TL-OUTD-S2X-400

1. The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard
2. The Frequency range may vary depending on specific country grid standard
3. Limited to 20000 W for Germany
4. Limited to 27500 W for Germany
5. Since April 2013

Remark: Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

Figura A.4 - Datasheet inverter string Power One TRIO 27.6 TL-OUTD

Anexo B

Análise Económica Caso de estudo particular (Capítulo 4)

Módulo 2x Portrait	
PAÍS	PORTUGAL
CIDADE	SEIXAL
TILT (°)	25
LAT (°)	38,6
SUN'S HEIGHT (°)	27,9
PITCH (m)	6,0
Ppico (W)	9000000

7.5 MW

Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	1731,93	66.815,55 €
Valas MV	656,28	39.376,80 €
Caminhos	677,89	94.068,54 €
Estrutura fixa		1.500.000,00 €

Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	7.726.282,67 €
Inversores Centrais	6	1.358.656,00 €
Caixas de Junção 18in	2	4.933,33 €
Caixas de Junção 16in	100	199.333,33 €
Caixas de Visita LV	137	33.211,54 €
Caixas de Visita MV	28	16.968,97 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		
		Venda
String to JB	2	1.354,91 €
18in	2	1.354,91 €
16in	100	66.217,46 €
JB to TC	1	23.369,59 €
TC to DS	1	24.250,23 €
Custo Cablagem		115.192,20 €
Sistema de Monitorização		200.541,67 €

O&M	
O&M	152.320,00 €

Total	10.141.033,93 €
Custo €/Wp	1,127 €

Parte Elétrica	Total	9.788.453,04 €
	Custo €/Wp	1,09 €
Parte Civil	Total	200.260,89 €
	Custo €/Wp	0,02 €
O&M	Total	152.320,00 €
	Custo €/Wp	0,02 €

Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	3078,54	118.765,97 €
Valas MV	718,02	43.081,20 €
Caminhos	677,89	94.068,54 €
Estrutura fixa		1.500.000,00 €

Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	7.726.282,67 €
Inversores String	272	1.153.606,40 €
Caixa de Junção	91	111.626,67 €
Caixas de Visita LV	323	78.301,66 €
Caixas de Visita MV	27	16.362,94 €
Transformer Center	6	1.416.000,00 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		
		Venda
String to String Inverter	272	27.988,72 €
String Inverter to SB	1	1.543,26 €
SB to TC	1	18.042,04 €
TC to DS	1	5.947,12 €
Custo Cablagem		53.521,13 €
Sistema de Monitorização		236.879,17 €

O&M	
O&M	149.920,00 €

Total	11.331.749,66 €
Custo €/Wp	1,26 €

Parte Elétrica	Total	10.925.913,96 €
	Custo €/Wp	1,21 €
Parte Civil	Total	255.915,70 €
	Custo €/Wp	0,03 €
O&M	Total	149.920,00 €
	Custo €/Wp	0,02 €

Figura B.1 - Análise económica caso de estudo particular

Anexo C

Análise económica de outras geografias (Capítulo 5)

Chile		
1MW		
		Ppico(W) 1200000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	246,89	9.524,69 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		200.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	786.703,87 €
Inversores Centrais	1	203.933,33 €
Caixas de Junção 16in	11	21.926,67 €
Caixas de Junção 14in	3	5.520,00 €
Caixas de Visita LV	18	4.363,56 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Delivery Station	1	93.333,33 €
Cablagem		Venda
String to JB		
JB 16in	11	6.817,03 €
JB 14in	3	1.553,06 €
JB to TC		
1		2.325,10 €
TC to DS		
1		1.941,42 €
Custo Cablagem		12.636,61 €
Sistema de Monitorização		102.541,67 €
O&M		
O&M		51.626,67 €
Total		1.504.945,18 €
Custo €/W		1,254 €
Parte Elétrica	Total	1.233.383,18 €
	Custo €/Wp	1,03 €
Parte Civil	Total	219.935,33 €
	Custo €/Wp	0,18 €
O&M	Total	51.626,67 €
	Custo €/Wp	0,04 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	447,17	17.251,22 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		200.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	786.703,87 €
Inversores String	37	156.924,40 €
Caixa de Junção	12	14.720,00 €
Caixas de Visita LV	41	9.939,22 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Transformer Center	1	66.666,67 €
Deliver Station	1	93.333,33 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
37		4.936,23 €
String Inverter to SB		
1		559,10 €
SB to TC		
1		6.642,70 €
TC to DS		
1		1.941,42 €
Custo Cablagem		14.079,45 €
Sistema de Monitorização		107.429,17 €
O&M		
O&M		51.306,67 €
Total		1.531.188,77 €
Custo €/W		1,276 €
Parte Elétrica	Total	1.252.220,24 €
	Custo €/Wp	1,04 €
Parte Civil	Total	227.661,87 €
	Custo €/Wp	0,19 €
O&M	Total	51.306,67 €
	Custo €/Wp	0,04 €

Figura C.1 - Análise económica Chile 1MW

7.5MW		
	Ppico(W)	9000000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	2005,43	77.366,82 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.500.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	5.903.887,73 €
Inversores Centrais	6	1.358.656,00 €
Caixas de Junção 16in	92	183.386,67 €
Caixas de Junção 14in	12	22.080,00 €
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €
Caixas de Visita LV	123	29.817,66 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
	Cablagem	Venda
String to JB		
16in	92	57.084,39 €
14in	12	6.220,52 €
12in	1	478,52 €
JB to TC		
1		48.355,95 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		
		123.619,64 €
Sistema de Monitorização		201.179,17 €
O&M		
O&M		194.320,00 €
Total		9.789.926,54 €
Custo €/W		1,088 €
Parte Elétrica	Total	7.832.138,65 €
	Custo €/Wp	0,87 €
Parte Civil	Total	1.630.134,56 €
	Custo €/Wp	0,18 €
O&M	Total	194.320,00 €
	Custo €/Wp	0,02 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	1871,43	72.197,27 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.500.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	5.903.887,73 €
Inversores String	273	1.157.847,60 €
Caixa de Junção	91	111.626,67 €
Caixas de Visita LV	198	47.999,16 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Transformer Center	6	1.416.000,00 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
	Cablagem	Venda
String to String Inverter		
273		80.823,87 €
String Inverter to SB		
1		2.896,48 €
SB to TC		
1		126.425,04 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		
		221.625,65 €
Sistema de Monitorização		236.879,17 €
O&M		
O&M		191.920,00 €
Total		11.053.962,78 €
Custo €/W		1,228 €
Parte Elétrica	Total	9.237.077,77 €
	Custo €/Wp	1,03 €
Parte Civil	Total	1.624.965,02 €
	Custo €/Wp	0,18 €
O&M	Total	191.920,00 €
	Custo €/Wp	0,02 €

Figura C.2 - Análise económica Chile 7.5MW

15MW		
	Ppico(W)	18000000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	4034,76	155.655,66 €
Valas MV	624,92	37.495,20 €
Caminhos	565,91	78.529,44 €
Estrutura fixa		3.000.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	72028	11.615.715,47 €
Inversores Centrais	12	2.717.312,00 €
Caixas de Junção 16in	182	362.786,67 €
Caixas de Junção 14in	25	46.000,00 €
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €
Caixas de Visita LV	245	59.392,90 €
Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €
Delivery Station	1	200.000,00 €
Cablagem		
String to JB		
JB 16in	182	112.930,33 €
JB 14in	25	12.959,41 €
JB 12in	1	478,52 €
JB to TC		
1		96.597,49 €
TC to DS		
1		29.974,12 €
Custo Cablagem		252.939,87 €
Sistema de Monitorização		292.893,33 €
O&M		
O&M		326.400,00 €
Total		19.161.298,71 €
Custo €/W		1,065 €
Parte Elétrica	Total	15.363.218,40 €
	Custo €/Wp	0,85 €
Parte Civil	Total	3.271.680,31 €
	Custo €/Wp	0,18 €
O&M	Total	326.400,00 €
	Custo €/Wp	0,02 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	3763,44	145.188,50 €
Valas MV	579,87	34.792,20 €
Caminhos	565,91	78.529,44 €
Estrutura fixa		3.000.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	72028	11.615.715,47 €
Inversores String	546	2.315.695,20 €
Caixa de Junção	182	223.253,33 €
Caixas de Visita LV	391	94.786,22 €
Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €
Transformer Center	12	5.680.000,00 €
Delivery Station	1	200.000,00 €
Cablagem		
String to String Inverter		
546		162.321,69 €
String Inverter to SB		
1		5.674,63 €
SB to TC		
1		254.551,26 €
TC to DS		
1		29.974,12 €
Custo Cablagem		452.521,70 €
Sistema de Monitorização		364.718,33 €
O&M		
O&M		321.600,00 €
Total		24.541.345,23 €
Custo €/W		1,36 €
Parte Elétrica	Total	20.961.235,09 €
	Custo €/Wp	1,16 €
Parte Civil	Total	3.258.510,14 €
	Custo €/Wp	0,18 €
O&M	Total	321.600,00 €
	Custo €/Wp	0,02 €

Figura C.3 - Análise económica Chile 15MW

Índia		
1MW		
	Ppico(W)	1200000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	246,89	9.524,69 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		160.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	786.703,87 €
Inversores Centrais	1	203.933,33 €
Caixas de Junção 16in	11	21.926,67 €
Caixas de Junção 14in	3	5.520,00 €
Caixas de Visita LV	18	4.363,56 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Delivery Station	1	93.333,33 €
Cablagem		Venda
String to JB		
JB 16in	11	6.817,03 €
JB 14in	3	1.553,06 €
JB to TC		
1		2.325,10 €
TC to DS		
1		1.941,42 €
Custo Cablagem		12.636,61 €
Sistema de Monitorização		34.826,67 €
O&M		
O&M	34.826,67 €	
Total	1.380.430,18 €	
Custo €/W	1,150 €	
Parte Elétrica	Total	1.165.668,18 €
	Custo €/Wp	0,97 €
Parte Civil	Total	179.935,33 €
	Custo €/Wp	0,15 €
O&M	Total	34.826,67 €
	Custo €/Wp	0,03 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	447,17	17.251,22 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		160.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	786.703,87 €
Inversores String	37	156.924,40 €
Caixa de Junção	12	14.720,00 €
Caixas de Visita LV	41	9.939,22 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Transformer Center	1	66.666,67 €
Deliver Station	1	93.333,33 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
37		4.936,23 €
String Inverter to SB		
1		559,10 €
SB to TC		
1		6.642,70 €
TC to DS		
1		1.941,42 €
Custo Cablagem		14.079,45 €
Sistema de Monitorização		107.429,17 €
O&M		
O&M	34.506,67 €	
Total	1.474.388,77 €	
Custo €/W	1,23 €	
Parte Elétrica	Total	1.240.082,21 €
	Custo €/Wp	1,03 €
Parte Civil	Total	187.661,87 €
	Custo €/Wp	0,16 €
O&M	Total	34.506,67 €
	Custo €/Wp	0,03 €

Figura C.4 - Análise económica Índia 1MW

7.5MW		
	Ppico(W)	9000000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	2005,43	77.366,82 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.200.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	5.903.887,73 €
Inversores Centrais	6	1.358.656,00 €
Caixas de Junção 16in	92	183.386,67 €
Caixas de Junção 14in	12	22.080,00 €
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €
Caixas de Visita LV	123	29.817,66 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		Venda
String to JB		
16in	92	57.084,39 €
14in	12	6.220,52 €
12in	1	478,52 €
JB to TC		
1		48.355,95 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		123.619,64 €
Sistema de Monitorização		201.179,17 €
O&M		
O&M		110.320,00 €
Total		9.405.926,54 €
Custo €/W		1,05 €
Parte Elétrica		
Total	7.719.999,27 €	
Custo €/Wp	0,86 €	
Parte Civil		
Total	1.330.134,56 €	
Custo €/Wp	0,15 €	
O&M		
Total	110.320,00 €	
Custo €/Wp	0,01 €	
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	1871,43	72.197,27 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.200.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	5.903.887,73 €
Inversores String	273	1.157.847,60 €
Caixa de Junção	91	111.626,67 €
Caixas de Visita LV	198	47.999,16 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Transformer Center	6	1.416.000,00 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
273		80.823,87 €
String Inverter to SB		
1		2.896,48 €
SB to TC		
1		126.425,04 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		221.625,65 €
Sistema de Monitorização		236.879,17 €
O&M		
O&M		107.920,00 €
Total		10.669.962,78 €
Custo €/W		1,19 €
Parte Elétrica		
Total	9.026.932,37 €	
Custo €/Wp	1,00 €	
Parte Civil		
Total	1.324.965,02 €	
Custo €/Wp	0,15 €	
O&M		
Total	107.920,00 €	
Custo €/Wp	0,01 €	

Figura C.5 - Análise económica Índia 7.5MW

15MW																																																																																																																							
	Ppico(W)	18000000																																																																																																																					
Inversor Central		String Inverter																																																																																																																					
Parte Civil		Parte Civil																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">L (m)</th> <th style="text-align: center;">Venda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valas LV</td> <td style="text-align: center;">4034,76</td> <td style="text-align: right;">155.655,66 €</td> </tr> <tr> <td>Valas MV</td> <td style="text-align: center;">624,92</td> <td style="text-align: right;">37.495,20 €</td> </tr> <tr> <td>Caminhos</td> <td style="text-align: center;">565,91</td> <td style="text-align: right;">78.529,44 €</td> </tr> <tr> <td>Estrutura fixa</td> <td></td> <td style="text-align: right;">2.400.000,00 €</td> </tr> </tbody> </table>		L (m)	Venda	Valas LV	4034,76	155.655,66 €	Valas MV	624,92	37.495,20 €	Caminhos	565,91	78.529,44 €	Estrutura fixa		2.400.000,00 €		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">L (m)</th> <th style="text-align: center;">Venda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valas LV</td> <td style="text-align: center;">3763,44</td> <td style="text-align: right;">145.188,50 €</td> </tr> <tr> <td>Valas MV</td> <td style="text-align: center;">579,87</td> <td style="text-align: right;">34.792,20 €</td> </tr> <tr> <td>Caminhos</td> <td style="text-align: center;">565,91</td> <td style="text-align: right;">78.529,44 €</td> </tr> <tr> <td>Estrutura fixa</td> <td></td> <td style="text-align: right;">2.400.000,00 €</td> </tr> </tbody> </table>		L (m)	Venda	Valas LV	3763,44	145.188,50 €	Valas MV	579,87	34.792,20 €	Caminhos	565,91	78.529,44 €	Estrutura fixa		2.400.000,00 €																																																																																							
	L (m)	Venda																																																																																																																					
Valas LV	4034,76	155.655,66 €																																																																																																																					
Valas MV	624,92	37.495,20 €																																																																																																																					
Caminhos	565,91	78.529,44 €																																																																																																																					
Estrutura fixa		2.400.000,00 €																																																																																																																					
	L (m)	Venda																																																																																																																					
Valas LV	3763,44	145.188,50 €																																																																																																																					
Valas MV	579,87	34.792,20 €																																																																																																																					
Caminhos	565,91	78.529,44 €																																																																																																																					
Estrutura fixa		2.400.000,00 €																																																																																																																					
Parte Elétrica		Parte Elétrica																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Quantidade</th> <th style="text-align: center;">Venda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Módulos</td> <td style="text-align: center;">72028</td> <td style="text-align: right;">11.615.715,47 €</td> </tr> <tr> <td>Inversores Centrais</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: right;">2.717.312,00 €</td> </tr> <tr> <td>Caixas de Junção 16in</td> <td style="text-align: center;">182</td> <td style="text-align: right;">362.786,67 €</td> </tr> <tr> <td>Caixas de Junção 14in</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: right;">46.000,00 €</td> </tr> <tr> <td>Caixas de Junção 12in</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">1.633,33 €</td> </tr> <tr> <td>Caixas de Visita LV</td> <td style="text-align: center;">245</td> <td style="text-align: right;">59.392,90 €</td> </tr> <tr> <td>Caixas de Visita MV</td> <td style="text-align: center;">24</td> <td style="text-align: right;">14.544,83 €</td> </tr> <tr> <td>Delivery Station</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">200.000,00 €</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Cablagem</th> <th style="text-align: center;">Venda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">String to JB</td> </tr> <tr> <td>JB 16in</td> <td style="text-align: center;">182</td> <td style="text-align: right;">112.930,33 €</td> </tr> <tr> <td>JB 14in</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: right;">12.959,41 €</td> </tr> <tr> <td>JB 12in</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">478,52 €</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">JB to TC</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td style="text-align: right;">96.597,49 €</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">TC to DS</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td style="text-align: right;">29.974,12 €</td> </tr> <tr> <td>Custo Cablagem</td> <td></td> <td style="text-align: right;">252.939,87 €</td> </tr> <tr> <td>Sistema de Monitorização</td> <td></td> <td style="text-align: right;">292.893,33 €</td> </tr> </tbody> </table>		Quantidade	Venda	Módulos	72028	11.615.715,47 €	Inversores Centrais	12	2.717.312,00 €	Caixas de Junção 16in	182	362.786,67 €	Caixas de Junção 14in	25	46.000,00 €	Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €	Caixas de Visita LV	245	59.392,90 €	Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €	Delivery Station	1	200.000,00 €	Cablagem		Venda	String to JB			JB 16in	182	112.930,33 €	JB 14in	25	12.959,41 €	JB 12in	1	478,52 €	JB to TC			1		96.597,49 €	TC to DS			1		29.974,12 €	Custo Cablagem		252.939,87 €	Sistema de Monitorização		292.893,33 €		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Quantidade</th> <th style="text-align: center;">Venda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Módulos</td> <td style="text-align: center;">72028</td> <td style="text-align: right;">11.615.715,47 €</td> </tr> <tr> <td>Inversores String</td> <td style="text-align: center;">546</td> <td style="text-align: right;">2.315.695,20 €</td> </tr> <tr> <td>Caixa de Junção</td> <td style="text-align: center;">182</td> <td style="text-align: right;">223.253,33 €</td> </tr> <tr> <td>Caixas de Visita LV</td> <td style="text-align: center;">391</td> <td style="text-align: right;">94.786,22 €</td> </tr> <tr> <td>Caixas de Visita MV</td> <td style="text-align: center;">24</td> <td style="text-align: right;">14.544,83 €</td> </tr> <tr> <td>Transformer Center</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: right;">5.680.000,00 €</td> </tr> <tr> <td>Delivery Station</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: right;">200.000,00 €</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Cablagem</th> <th style="text-align: center;">Venda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">String to String Inverter</td> </tr> <tr> <td>546</td> <td></td> <td style="text-align: right;">162.321,69 €</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">String Inverter to SB</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td style="text-align: right;">5.674,63 €</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">SB to TC</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td style="text-align: right;">254.551,26 €</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">TC to DS</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td style="text-align: right;">29.974,12 €</td> </tr> <tr> <td>Custo Cablagem</td> <td></td> <td style="text-align: right;">452.521,70 €</td> </tr> <tr> <td>Sistema de Monitorização</td> <td></td> <td style="text-align: right;">364.718,33 €</td> </tr> </tbody> </table>		Quantidade	Venda	Módulos	72028	11.615.715,47 €	Inversores String	546	2.315.695,20 €	Caixa de Junção	182	223.253,33 €	Caixas de Visita LV	391	94.786,22 €	Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €	Transformer Center	12	5.680.000,00 €	Delivery Station	1	200.000,00 €	Cablagem		Venda	String to String Inverter			546		162.321,69 €	String Inverter to SB			1		5.674,63 €	SB to TC			1		254.551,26 €	TC to DS			1		29.974,12 €	Custo Cablagem		452.521,70 €	Sistema de Monitorização		364.718,33 €
	Quantidade	Venda																																																																																																																					
Módulos	72028	11.615.715,47 €																																																																																																																					
Inversores Centrais	12	2.717.312,00 €																																																																																																																					
Caixas de Junção 16in	182	362.786,67 €																																																																																																																					
Caixas de Junção 14in	25	46.000,00 €																																																																																																																					
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €																																																																																																																					
Caixas de Visita LV	245	59.392,90 €																																																																																																																					
Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €																																																																																																																					
Delivery Station	1	200.000,00 €																																																																																																																					
Cablagem		Venda																																																																																																																					
String to JB																																																																																																																							
JB 16in	182	112.930,33 €																																																																																																																					
JB 14in	25	12.959,41 €																																																																																																																					
JB 12in	1	478,52 €																																																																																																																					
JB to TC																																																																																																																							
1		96.597,49 €																																																																																																																					
TC to DS																																																																																																																							
1		29.974,12 €																																																																																																																					
Custo Cablagem		252.939,87 €																																																																																																																					
Sistema de Monitorização		292.893,33 €																																																																																																																					
	Quantidade	Venda																																																																																																																					
Módulos	72028	11.615.715,47 €																																																																																																																					
Inversores String	546	2.315.695,20 €																																																																																																																					
Caixa de Junção	182	223.253,33 €																																																																																																																					
Caixas de Visita LV	391	94.786,22 €																																																																																																																					
Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €																																																																																																																					
Transformer Center	12	5.680.000,00 €																																																																																																																					
Delivery Station	1	200.000,00 €																																																																																																																					
Cablagem		Venda																																																																																																																					
String to String Inverter																																																																																																																							
546		162.321,69 €																																																																																																																					
String Inverter to SB																																																																																																																							
1		5.674,63 €																																																																																																																					
SB to TC																																																																																																																							
1		254.551,26 €																																																																																																																					
TC to DS																																																																																																																							
1		29.974,12 €																																																																																																																					
Custo Cablagem		452.521,70 €																																																																																																																					
Sistema de Monitorização		364.718,33 €																																																																																																																					
O&M		O&M																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">O&M</td> <td style="text-align: right;">208.800,00 €</td> </tr> </table>	O&M	208.800,00 €		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">O&M</td> <td style="text-align: right;">204.000,00 €</td> </tr> </table>	O&M	204.000,00 €																																																																																																																	
O&M	208.800,00 €																																																																																																																						
O&M	204.000,00 €																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Total</td> <td style="text-align: right;">18.443.698,71 €</td> </tr> <tr> <td>Custo €/W</td> <td style="text-align: right;">1,02 €</td> </tr> </table>	Total	18.443.698,71 €	Custo €/W	1,02 €		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Total</td> <td style="text-align: right;">23.823.745,23 €</td> </tr> <tr> <td>Custo €/W</td> <td style="text-align: right;">1,32 €</td> </tr> </table>	Total	23.823.745,23 €	Custo €/W	1,32 €																																																																																																													
Total	18.443.698,71 €																																																																																																																						
Custo €/W	1,02 €																																																																																																																						
Total	23.823.745,23 €																																																																																																																						
Custo €/W	1,32 €																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Parte Elétrica</td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">15.140.252,65 €</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Custo €/Wp</td> <td style="text-align: right;">0,84 €</td> </tr> </table>	Parte Elétrica	Total	15.140.252,65 €		Custo €/Wp	0,84 €		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Parte Elétrica</td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">20.538.687,50 €</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Custo €/Wp</td> <td style="text-align: right;">1,14 €</td> </tr> </table>	Parte Elétrica	Total	20.538.687,50 €		Custo €/Wp	1,14 €																																																																																																									
Parte Elétrica	Total	15.140.252,65 €																																																																																																																					
	Custo €/Wp	0,84 €																																																																																																																					
Parte Elétrica	Total	20.538.687,50 €																																																																																																																					
	Custo €/Wp	1,14 €																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Parte Civil</td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">2.671.680,31 €</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Custo €/Wp</td> <td style="text-align: right;">0,15 €</td> </tr> </table>	Parte Civil	Total	2.671.680,31 €		Custo €/Wp	0,15 €		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Parte Civil</td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">2.658.510,14 €</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Custo €/Wp</td> <td style="text-align: right;">0,15 €</td> </tr> </table>	Parte Civil	Total	2.658.510,14 €		Custo €/Wp	0,15 €																																																																																																									
Parte Civil	Total	2.671.680,31 €																																																																																																																					
	Custo €/Wp	0,15 €																																																																																																																					
Parte Civil	Total	2.658.510,14 €																																																																																																																					
	Custo €/Wp	0,15 €																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">O&M</td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">208.800,00 €</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Custo €/Wp</td> <td style="text-align: right;">0,01 €</td> </tr> </table>	O&M	Total	208.800,00 €		Custo €/Wp	0,01 €		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">O&M</td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">204.000,00 €</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Custo €/Wp</td> <td style="text-align: right;">0,01 €</td> </tr> </table>	O&M	Total	204.000,00 €		Custo €/Wp	0,01 €																																																																																																									
O&M	Total	208.800,00 €																																																																																																																					
	Custo €/Wp	0,01 €																																																																																																																					
O&M	Total	204.000,00 €																																																																																																																					
	Custo €/Wp	0,01 €																																																																																																																					

Figura C.6 - Análise económica Índia 15MW

Módulo 2x Portrait	
PAÍS	PORTUGAL
CIDADE	SEIXAL
TILT (°)	25
LAT (°)	38,6
SUN'S HEIGHT (°)	27,9
PITCH (m)	6,0

1 MW		
		Ppico(W) 1200000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	246,89	9.524,69 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		200.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	1.047.926,00 €
Inversores Centrais	1	203.933,33 €
Caixas de Junção 16in	11	21.926,67 €
Caixas de Junção 14in	3	5.520,00 €
Caixas de Visita LV	18	4.363,56 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Delivery Station	1	93.333,33 €
Cablagem		Venda
String to JB		
JB 16in	11	6.817,03 €
JB 14in	3	1.553,06 €
JB to TC		
1		2.325,10 €
TC to DS		
1		5.824,26 €
Custo Cablagem		16.519,45 €
Sistema de Monitorização		102.541,67 €
O&M		
O&M		43.226,67 €
Total		1.761.650,15 €
Custo €/W		1,47 €
Parte Elétrica		
Total		1.498.488,15 €
Custo €/Wp		1,25 €
Parte Civil		
Total		219.935,33 €
Custo €/Wp		0,18 €
O&M		
Total		43.226,67 €
Custo €/Wp		0,04 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	447,17	17.251,22 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		200.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	1.047.926,00 €
Inversores String	37	156.924,40 €
Caixa de Junção	12	14.720,00 €
Caixas de Visita LV	41	9.939,22 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Transformer Center	1	66.666,67 €
Deliver Station	1	93.333,33 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
37		4.936,23 €
String Inverter to SB		
1		559,10 €
SB to TC		
1		6.642,70 €
TC to DS		
1		1.941,42 €
Custo Cablagem		14.079,45 €
Sistema de Monitorização		107.429,17 €
O&M		
O&M		42.906,67 €
Total		1.784.010,91 €
Custo €/W		1,49 €
Parte Elétrica		
Total		1.513.442,37 €
Custo €/Wp		1,26 €
Parte Civil		
Total		227.661,87 €
Custo €/Wp		0,19 €
O&M		
Total		42.906,67 €
Custo €/Wp		0,04 €

Figura C.7 - Análise económica Portugal 1MW

7.5 MW		
	Ppico(W)	9000000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	2005,43	77.366,82 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.500.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	7.726.282,67 €
Inversores Centrais	6	1.358.656,00 €
Caixas de Junção 16in	92	183.386,67 €
Caixas de Junção 14in	12	22.080,00 €
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €
Caixas de Visita LV	123	29.817,66 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		Venda
String to JB		
16in	92	57.084,39 €
14in	12	6.220,52 €
12in	1	478,52 €
JB to TC		
1		48.355,95 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		123.619,64 €
Sistema de Monitorização		201.179,17 €
O&M		
O&M		152.320,00 €
Total		11.570.321,48 €
Custo €/W		1,286 €
Parte Elétrica		
Total		9.654.533,58 €
Custo €/Wp		1,07 €
Parte Civil		
Total		1.630.134,56 €
Custo €/Wp		0,18 €
O&M		
Total		152.320,00 €
Custo €/Wp		0,02 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	1871,43	72.197,27 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.500.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	7.726.282,67 €
Inversores String	273	1.157.847,60 €
Caixa de Junção	91	111.626,67 €
Caixas de Visita LV	198	47.999,16 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Transformer Center	6	1.416.000,00 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
273		80.823,87 €
String Inverter to SB		
1		2.896,48 €
SB to TC		
1		126.425,04 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		221.625,65 €
Sistema de Monitorização		236.879,17 €
O&M		
O&M		149.920,00 €
Total		12.834.357,72 €
Custo €/W		1,426 €
Parte Elétrica		
Total		11.059.472,70 €
Custo €/Wp		1,23 €
Parte Civil		
Total		1.624.965,02 €
Custo €/Wp		0,18 €
O&M		
Total		149.920,00 €
Custo €/Wp		0,02 €

Figura C.8 - Análise económica Portugal 7.5MW

15 MW		
	Ppico(W)	18000000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	4034,76	155.655,66 €
Valas MV	579,87	34.792,20 €
Caminhos	565,91	78.529,44 €
Estrutura fixa		3.000.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	72028	15.462.010,67 €
Inversores Centrais	12	2.717.312,00 €
Caixas de Junção 16in	182	362.786,67 €
Caixas de Junção 14in	25	46.000,00 €
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €
Caixas de Visita LV	244	59.150,48 €
Caixas de Visita MV	25	15.150,87 €
Delivery Station	1	200.000,00 €
Cablagem		Venda
String to JB		
JB 16in	182,00 €	112.930,33 €
JB 14in	25,00 €	12.959,41 €
JB 12in	1,00 €	478,52 €
JB to TC		
1		96.597,49 €
TC to DS		
1		29.974,12 €
Custo Cablagem		252.939,87 €
Sistema de Monitorização		292.893,33 €
O&M		
O&M		267.600,00 €
Total		22.946.454,52 €
Custo €/W		1,275 €
Parte Elétrica	Total	19.209.877,22 €
	Custo €/Wp	1,07 €
Parte Civil	Total	3.268.977,31 €
	Custo €/Wp	0,18 €
O&M	Total	267.600,00 €
	Custo €/Wp	0,01 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	3763,44	145.188,50 €
Valas MV	579,87	34.792,20 €
Caminhos	565,91	78.529,44 €
Estrutura fixa		3.360.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	72028	15.462.010,67 €
Inversores String	546	2.315.695,20 €
Caixa de Junção	182	223.253,33 €
Caixas de Visita LV	395	95.755,90 €
Caixas de Visita MV	25	15.150,87 €
Transformer Center	12	5.680.000,00 €
Delivery Station	1	200.000,00 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
546		162.321,69 €
String Inverter to SB		
1		5.674,63 €
SB to TC		
1		254.551,26 €
TC to DS		
1		29.974,12 €
Custo Cablagem		452.521,70 €
Sistema de Monitorização		364.718,33 €
O&M		
O&M		262.800,00 €
Total		28.690.416,14 €
Custo €/W		1,59 €
Parte Elétrica	Total	24.809.106,00 €
	Custo €/Wp	1,38 €
Parte Civil	Total	3.618.510,14 €
	Custo €/Wp	0,20 €
O&M	Total	262.800,00 €
	Custo €/Wp	0,01 €

Figura C.9 - Análise económica Portugal 15MW

Roménia		
1MW		
	Ppico(W)	1200000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	246,89	9.524,69 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		224.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	1.047.926,00 €
Inversores Centrais	1	203.933,33 €
Caixas de Junção 16in	11	21.926,67 €
Caixas de Junção 14in	3	5.520,00 €
Caixas de Visita LV	18	4.363,56 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Delivery Station	1	93.333,33 €
Cablagem		
String to JB		Venda
JB 16in	11	6.817,03 €
JB 14in	3	1.553,06 €
JB to TC		
1		2.325,10 €
TC to DS		
1		1.941,42 €
Custo Cablagem		12.636,61 €
Sistema de Monitorização		102.541,67 €
O&M		
O&M		40.426,67 €
Total		1.778.967,31 €
Custo €/W		1,482 €
Parte Elétrica	Total	1.494.605,31 €
	Custo €/Wp	1,25 €
Parte Civil	Total	243.935,33 €
	Custo €/Wp	0,20 €
O&M	Total	40.426,67 €
	Custo €/Wp	0,03 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	447,17	17.251,22 €
Valas MV	58,08	3.484,80 €
Caminhos	49,91	6.925,84 €
Estrutura fixa		224.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	4796	1.047.926,00 €
Inversores String	37	156.924,40 €
Caixa de Junção	12	14.720,00 €
Caixas de Visita LV	41	9.939,22 €
Caixas de Visita MV	4	2.424,14 €
Post Transformer	1	66.666,67 €
Deliver Station	1	93.333,33 €
Cablagem		
String to String Inverter		Venda
37		4.936,23 €
String Inverter to SB		
1		559,10 €
SB to TC		
1		6.642,70 €
TC to DS		
1		1.941,42 €
Custo Cablagem		14.079,45 €
Sistema de Monitorização		107.429,17 €
O&M		
O&M		40.106,67 €
Total		1.805.210,91 €
Custo €/W		1,504 €
Parte Elétrica	Total	1.513.442,37 €
	Custo €/Wp	1,26 €
Parte Civil	Total	251.661,87 €
	Custo €/Wp	0,21 €
O&M	Total	40.106,67 €
	Custo €/Wp	0,03 €

Figura C.10 - Análise económica Roménia 1MW

7.5MW		
	Ppico(W)	9000000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	2005,43	77.366,82 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.680.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	7.726.282,67 €
Inversores Centrais	6	1.358.656,00 €
Caixas de Junção 16in	92	183.386,67 €
Caixas de Junção 14in	12	22.080,00 €
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €
Caixas de Visita LV	123	29.817,66 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		Venda
String to JB		
16in	92	57.084,39 €
14in	12	6.220,52 €
12in	1	478,52 €
JB to TC		
1		48.355,95 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		123.619,64 €
Sistema de Monitorização		201.179,17 €
O&M		
O&M		138.320,00 €
Total		11.736.321,48 €
Custo €/W		1,304 €
Parte Elétrica		
Total	9.654.533,58 €	
Custo €/Wp	1,07 €	
Parte Civil		
Total	1.810.134,56 €	
Custo €/Wp	0,20 €	
O&M		
Total	138.320,00 €	
Custo €/Wp	0,02 €	
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	1871,43	72.197,27 €
Valas MV	292,41	17.544,60 €
Caminhos	253,83	35.223,14 €
Estrutura fixa		1.680.000,00 €
Parte Elétrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	35992	7.726.282,67 €
Inversores String	273	1.157.847,60 €
Caixa de Junção	91	111.626,67 €
Caixas de Visita LV	198	47.999,16 €
Caixas de Visita MV	13	7.878,45 €
Post Transformer	6	1.416.000,00 €
Delivery Station	1	133.333,33 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
273		80.823,87 €
String Inverter to SB		
1		2.896,48 €
SB to TC		
1		126.425,04 €
TC to DS		
1		11.480,26 €
Custo Cablagem		221.625,65 €
Sistema de Monitorização		236.879,17 €
O&M		
O&M		135.920,00 €
Total		13.000.357,72 €
Custo €/W		1,444 €
Parte Elétrica		
Total	11.059.472,70 €	
Custo €/Wp	1,23 €	
Parte Civil		
Total	1.804.965,02 €	
Custo €/Wp	0,20 €	
O&M		
Total	135.920,00 €	
Custo €/Wp	0,02 €	

Figura C.11 - Análise económica Roménia 7.5MW

15MW		
	Ppico(W)	18000000
Inversor Central		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	4034,76	155.655,66 €
Valas MV	579,87	34.792,20 €
Caminhos	565,91	78.529,44 €
Estrutura fixa		3.360.000,00 €
Parte Eléctrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	72028	15.462.010,67 €
Inversores Centrais	12	2.717.312,00 €
Caixas de Junção 16in	182	362.786,67 €
Caixas de Junção 14in	25	46.000,00 €
Caixas de Junção 12in	1	1.633,33 €
Caixas de Visita LV	245	59.392,90 €
Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €
Delivery Station	1	200.000,00 €
Cablagem		Venda
String to JB		
JB 16in	182	112.930,33 €
JB 14in	25	12.959,41 €
JB 12in	1	478,52 €
JB to TC		
1		96.597,49 €
TC to DS		
1		29.974,12 €
Custo Cablagem		252.939,87 €
Sistema de Monitorização		292.893,33 €
O&M		
O&M		248.000,00 €
Total		23.286.490,91 €
Custo €/W		1,294 €
Parte Eléctrica		Total 19.209.513,60 €
Custo €/Wp		1,07 €
Parte Civil		Total 3.628.977,31 €
Custo €/Wp		0,20 €
O&M		Total 248.000,00 €
Custo €/Wp		0,01 €
Inversor String		
Parte Civil		
	L (m)	Venda
Valas LV	3763,44	145.188,50 €
Valas MV	579,87	34.792,20 €
Caminhos	565,91	78.529,44 €
Estrutura fixa		3.360.000,00 €
Parte Eléctrica		
	Quantidade	Venda
Módulos	72028	15.462.010,67 €
Inversores String	546	2.315.695,20 €
Caixa de Junção	182	223.253,33 €
Caixas de Visita LV	391	94.786,22 €
Caixas de Visita MV	24	14.544,83 €
Post Transformer	12	5.680.000,00 €
Delivery Station	1	200.000,00 €
Cablagem		Venda
String to String Inverter		
546		162.321,69 €
String Inverter to SB		
1		5.674,63 €
SB to TC		
1		254.551,26 €
TC to DS		
1		29.974,12 €
Custo Cablagem		452.521,70 €
Sistema de Monitorização		364.718,33 €
O&M		
O&M		243.200,00 €
Total		28.669.240,43 €
Custo €/W		1,593 €
Parte Eléctrica		Total 24.807.530,29 €
Custo €/Wp		1,38 €
Parte Civil		Total 3.618.510,14 €
Custo €/Wp		0,20 €
O&M		Total 243.200,00 €
Custo €/Wp		0,01 €

Figura C.12 - Análise económica Roménia 15MW

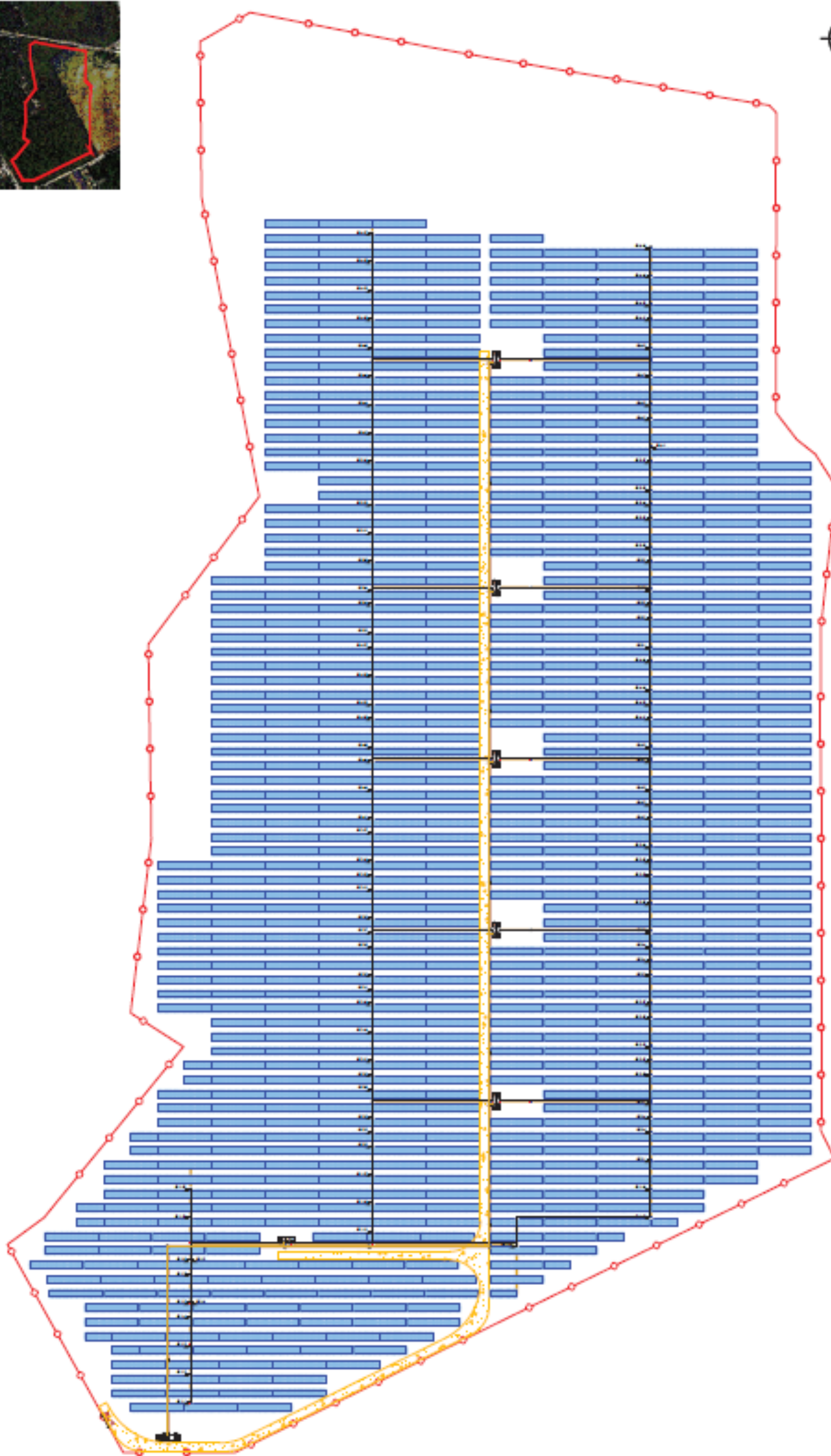
Anexo D

Layouts

Planta PV (Vista Aérea)
Escala: S/E



Implantação PV Geral
Escala: 1/1800



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS					
MÓDULOS PV	TIPO	NOTÉCIA		QUANTO	
	TIPO	TIPO	TIPO	TIPO	TIPO
STRINGS	MÓDULOS PV POR STRING		QUANTO		
	TIPO	NOTÉCIA		QUANTO	
INVERSORES	TIPO	NOTÉCIA		QUANTO	
	TIPO	NOTÉCIA		QUANTO	
PUNTO DE TRANSFORMAÇÃO	TIPO	NOTÉCIA		QUANTO	
	TIPO	NOTÉCIA		QUANTO	
DADOS GEOMÉTRICOS	TILT	ADMITTE	PIVOT	ÁREA PV PLANTA	POTÉNCIA PV PLANTA
	30°	0°	4m		
POTÊNCIA PICO TOTAL INSTALADA:		898	kw		
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		700	kw		

- Legenda:
- Módulo PV
 - Hava 202
 - Hava 2011
 - Vedação
 - Entrada da Planta IV
 - Caminho (3m)
 - Ponto de Transformação
 - Ponto de Seccionamento
 - Caixa de Junção
 - Caixa de Volta BT
 - Caixa de Volta MT
 - Cabo AC
 - Cabo DC

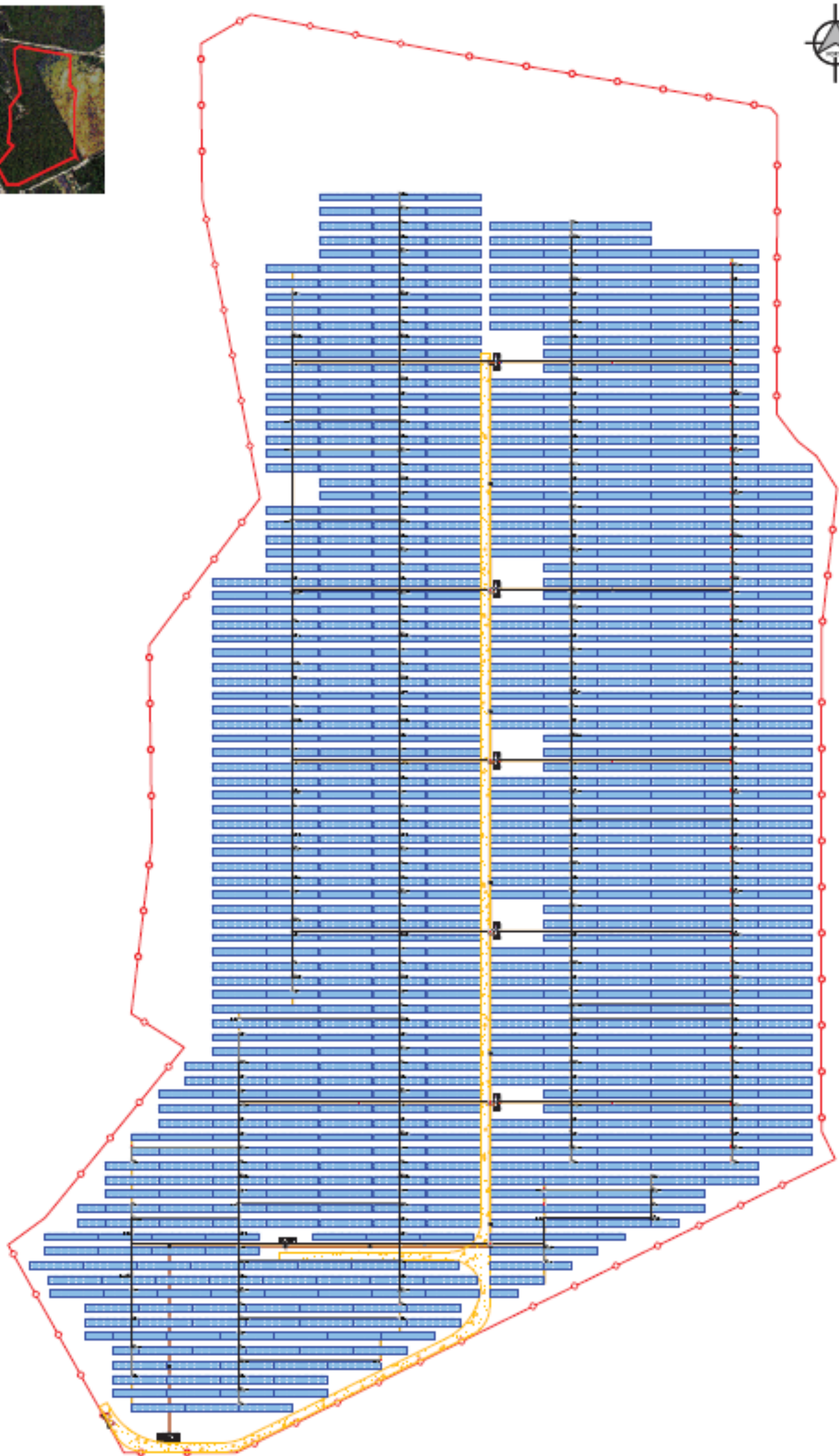
Projecto:	Case de Escola
Local:	Sabugal, Portugal
Designação do Desenho:	Implantação Interior Central
DESENHADOR:	Sarmal Teloja
DATA:	27.06.2014
ESCALA:	1:1800
FORMATO:	A1
Revisão:	01



Planta PV (Vista Aérea)
Escala: S/E



Implantação PV Geral
Escala: 1/1800



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

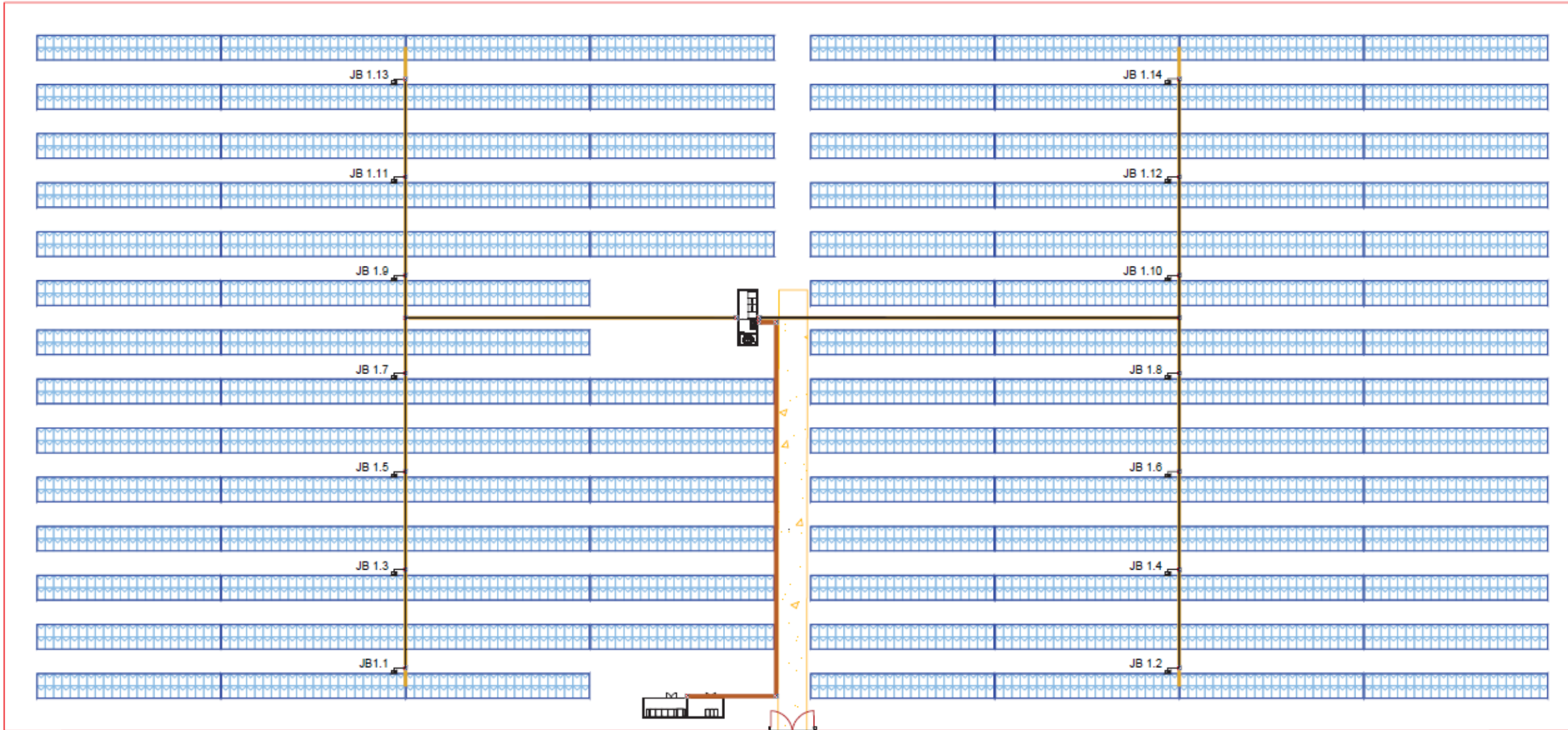
MÓDULOS PV	TIPO	POTÊNCIA	QUANTO
	CSU100-HP	250 W	39912
STRINGS	MÓDULOS PV POR STRING	QUANTO	
	20	5004	
	TIPO	POTÊNCIA	QUANTO
INVERSORES	POWER ONT TIG 27.6 TL DCT 4K	10 kVA	27
POSTO DE TRANSFORMAÇÃO	TIPO	POTÊNCIA	QUANTO
	-	-	-
DADOS GEOMÉTRICOS	TILT	ADAPTE	PTOK
	20°	2°	4m
			ÁREA PV PLANTAS
			RESULTADO PV PLANTAS
POTÊNCIA PICO TOTAL INSTALADA:		898	1MW
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		750	1VA

- Legenda:**
- Módulo PV
 - Mesa 2x22
 - Mesa 2x11
 - Viduação
 - Entrada da Planta PV
 - Caminho (3m)
 - Posto de Transformação
 - Posto de Seccionamento
 - Inversor
 - Caixa de Junção
 - Caixa de Volta BT
 - Caixa de Volta MT
 - Vão BT
 - Vão MT
 - Cabo DC
 - Cabo AC

Projeto:	Casa de Saúde
Local:	Sévil, Portugal
Designação do Desenho:	Implantação Inversor String
DESENHADOR:	Tamara Teixeira
DATA:	27.06.2014
ESCALA:	1:1800
FORMATO:	A3
Revisão:	01



Implantação PV Geral
Escala: 1/500



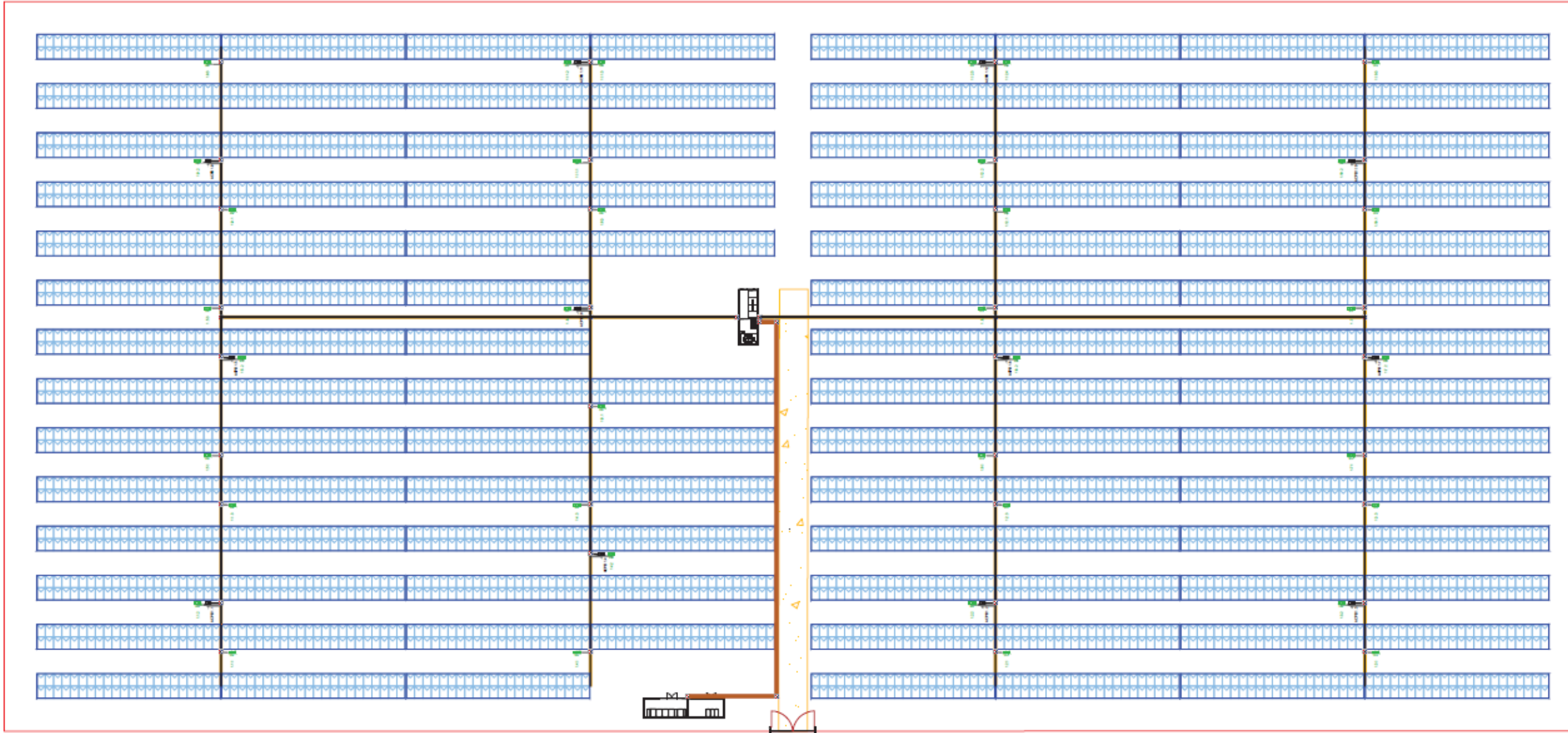
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	MÓDULOS PV			
	TIPO	POTÊNCIA NÚMERO		
	CGUN250-60P	250 W 4796		
	MÓDULOS PV POR STRING			
	NÚMERO			
	22	210		
	INVERSORES			
	TIPO	POTÊNCIA NÚMERO		
	POWER ELECTRONICS FREESUN FS1000 HES 330V	1000 kVA 1		
	POSTO DE TRANSFORMAÇÃO			
TIPO	POTÊNCIA NÚMERO			
DADOS GEOMÉTRICOS				
TILT	AZIMUTE	PITCH	ÁREA PV PLANTA	PERÍMETRO PV PLANTA
-	0°	-	-	-
POTÊNCIA PICO TOTAL INSTALADA:		1190	kWp	
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		1000	kVA	

- Legenda:
- Módulo PV
 - Mesa 2x22
 - Vedação
 - Caminho (3m)
 - Posto de Transformação
 - Posto de Seccionamento
 - Caixa de Junção
 - Caixa de Visita BT
 - Vale BT
 - Caixa de Visita MT
 - Vale MT
 - Cabo DC
 - Cabo AC

Projecto:	Caso de Estudo
Descrição:	1 MW
Designação do Desenho:	Implantação Inversor Central
DESENHADOR:	Samuel Rabeça
DATA:	27.06.2014
ESCALA:	1:500
FORMATO:	A3
Revisão:	01



Implantação PV Geral
Escala: 1/500



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

MÓDULOS PV	TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO		
	CSUN250-60P	250 W	4796		
STRINGS	MÓDULOS PV POR STRING	NÚMERO			
	22	218			
INVERSORES	TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO		
	POWER-ONE 7800 37.6 TL OUTD 400	30 kVA	37		
POSTO DE TRANSFORMAÇÃO	TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO		
	-	-	-		
DADOS GEOMÉTRICOS	TILT	AZIMUTE	PITCH	ÁREA PV PLANTA	PERÍMETRO PV PLANTA
	-	0°	-	-	-
POTÊNCIA PICO TOTAL INSTALADA:		1190	kWp		
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		1000	kVA		

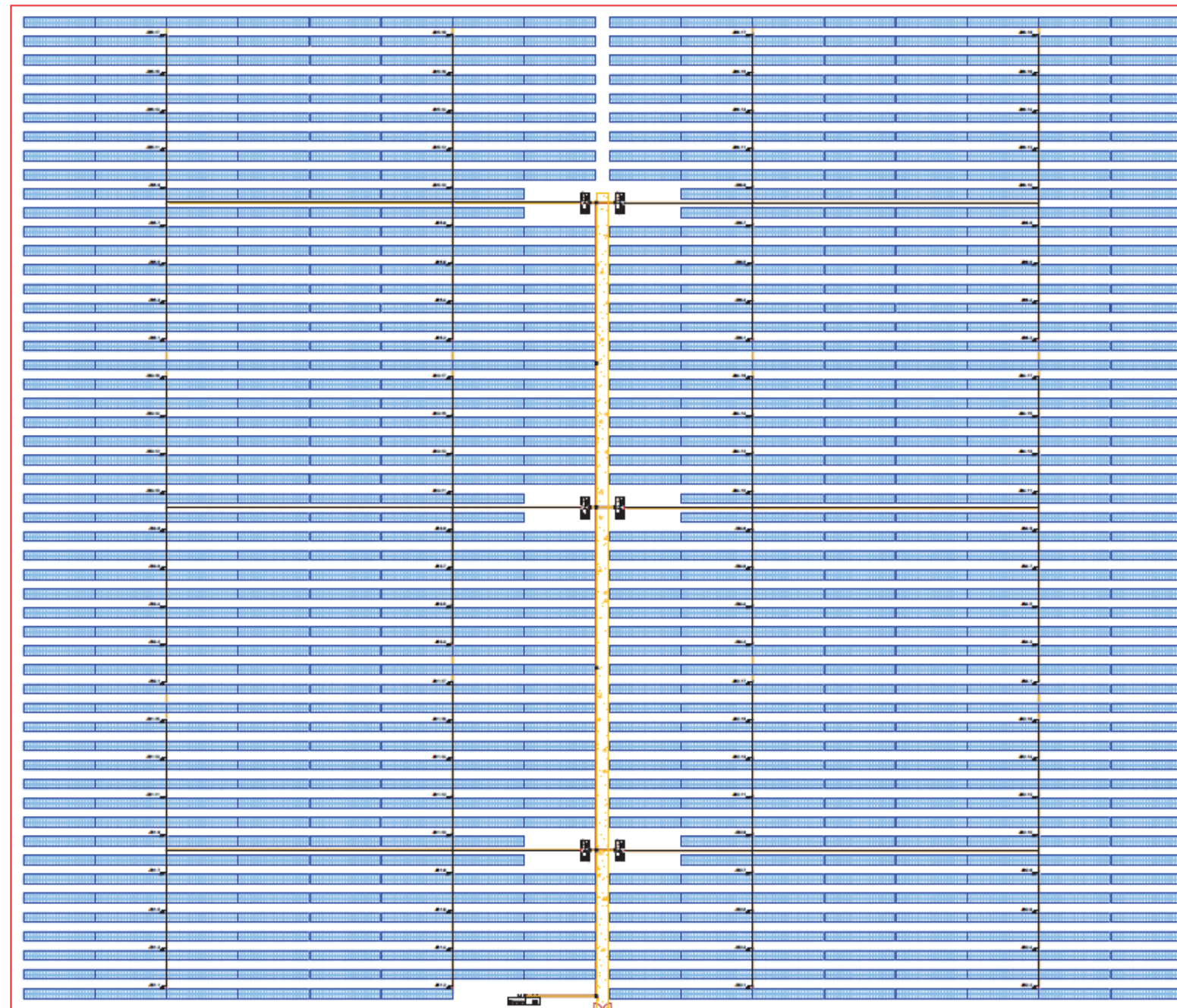
Legenda:

Módulo PV	Inversor	Posto de Seccionamento	Cabo DC
Mesa 2x22	Caixa de Junção	Cabo AC	
Mesa 2x11	Caixa de Visita BT		
Vedação	Vale BT		
Entrada da Planta PV	Caixa de Visita MT		
Caminho (3m)	Vale MT		
Posto de Transformação			

Projecto:	Caso de Estudo
Descrição:	1 MW
Designação do Desenho:	Implantação Inversor String
DESENHADOR:	Samuel Rabega
DATA:	27.06.2014
ESCALA:	1:500
FORMATO:	A3
Revisão:	01



Implantação PV Geral
Escala: 1/1800



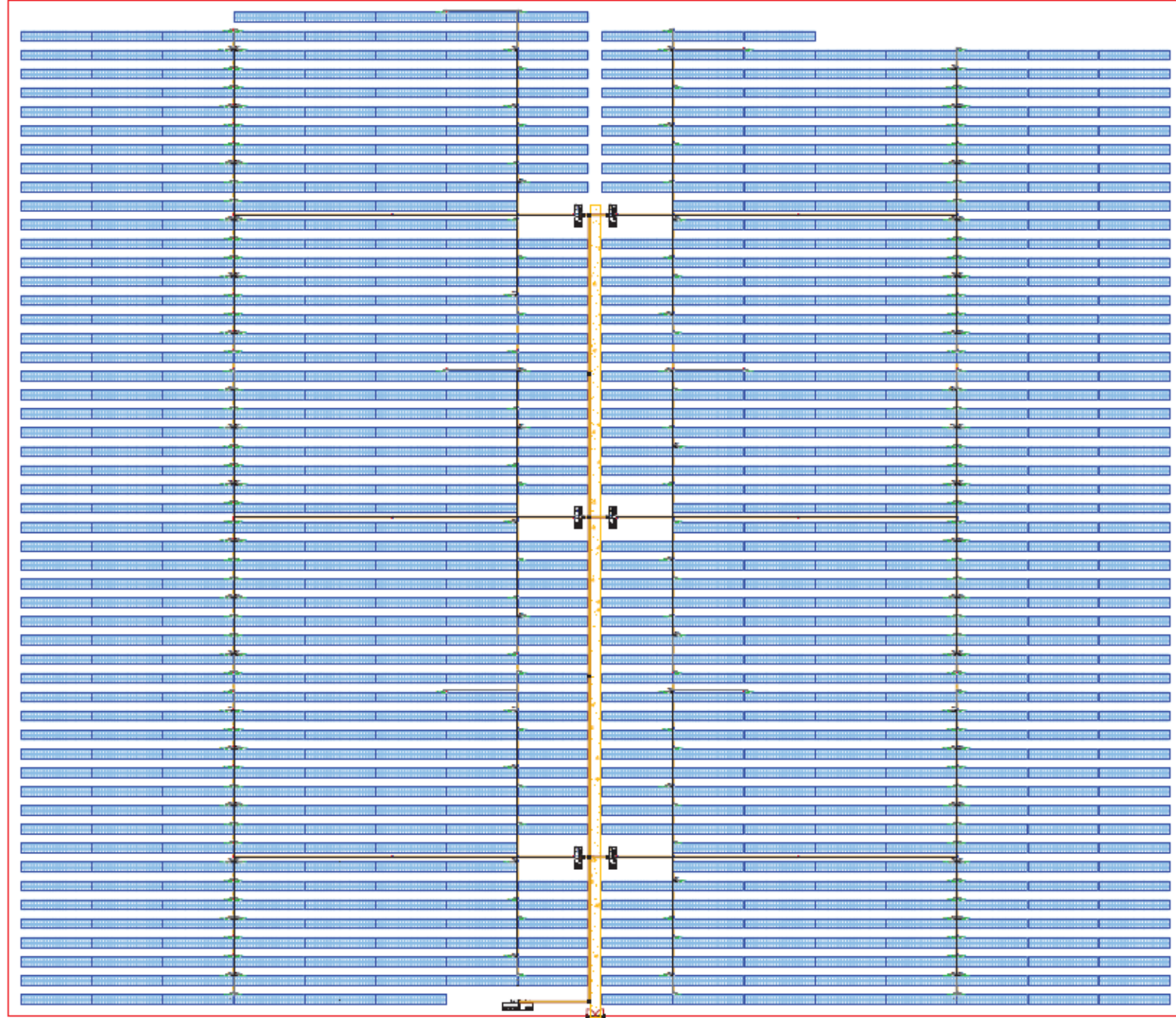
MÓDULOS PV		TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO		
		CSUN20-60P	250 W	35962		
STRINGS		MÓDULOS PV POR STRING	NÚMERO			
		22	1636			
INVERSORES		TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO		
		POWER ELECTRONICS FREESUN FS1250 H4/NEC 380V	1250 KVA	6		
POSTO DE TRANSFORMAÇÃO		TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO		
DADOS GEOMÉTRICOS		TILT	AZIMUTE	PITCH	ÁREA PV PLANTA	PERÍMETRO PV PLANTA
		-	0°	-	-	-
POTÊNCIA PICO TOTAL INSTALADA:		6966	KWp			
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		7500	KVA			

- Legenda:
- Módulo PV
 - Mesa 2x22
 - Vedação
 - Entrada da Planta PV
 - Caminho (3m)
 - Posto de Transformação
 - Posto de Seccionamento
 - Caixa de Junção
 - Caixa de Visita BT
 - Vaia BT
 - Caixa de Visita MT
 - Vaia MT
 - Cabo DC
 - Cabo AC

Projecto:	Caso de Estudo
Descrição:	7.5 MW
Designação do Desenho:	Implantação Inversor Central
DESENHADOR:	Samuel Rabega
DATA:	27.06.2014
ESCALA:	1:1800
FORMATO:	A3
Revisão:	01



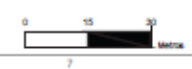
Implantação PV Geral
Escala: 1/1500



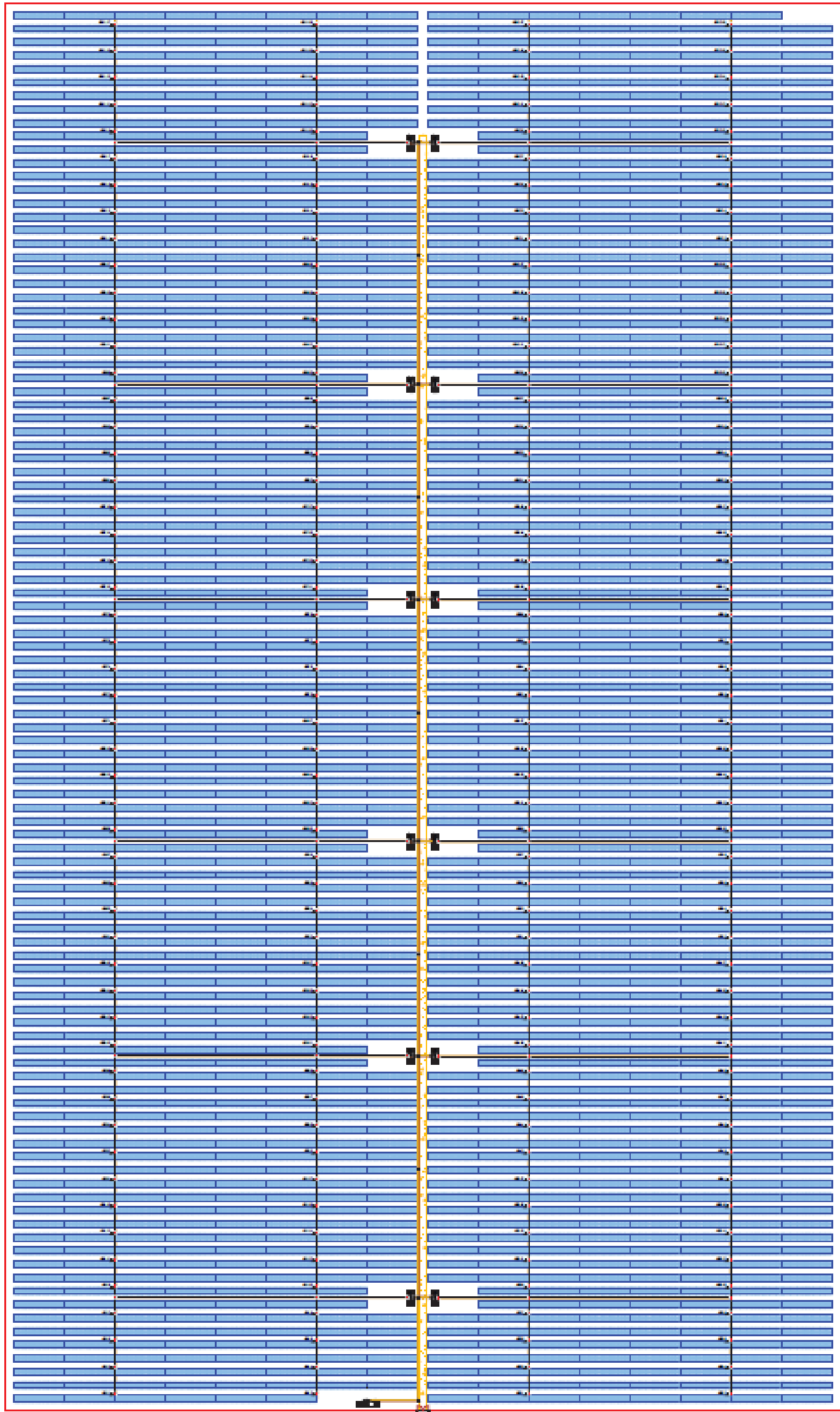
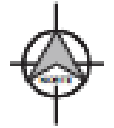
MÓDULOS PV		TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO
		CSJUN250-60P	250 W	35962
STRINGS		MÓDULOS PV POR STRING	NÚMERO	
		22	1636	
INVERSORES		TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO
		POWER-ONE TRIO 27.6 TL OUTD 430	30 kVA	272
POSTO DE TRANSFORMAÇÃO		TIPO	POTÊNCIA	NÚMERO
		-	-	-
DADOS GEOMÉTRICOS		TIPO	ÁREA PV PLANTA	PERÍMETRO PV PLANTA
TILT	AZIMUTE	PITCH	-	-
-	0°	-	-	-
POTÊNCIA PICO TOTAL INSTALADA:		6990	kWp	
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		7500	kVA	

Legenda:	
	Módulo FV
	Mesa 2x22
	Mesa 2x11
	Vedação
	Entrada da Planta FV
	Caminho (3m)
	Posto de Transformação
	Posto de Seccionamento
	Inversor
	Caixa de Junção
	Caixa de Visita BT
	Caixa de Visita MT
	Vale BT
	Vale MT
	Cabo DC
	Cabo AC

Projecto:	Caso de Estudo
Descrição:	7.5 MW
Designação do Desenho:	Implantação Inversor String
DESENHADOR:	Samuel Rabaja
DATA:	27.06.2014
ESCALA:	1:1500
FORMATO:	A3
Revisão:	01



Implantação PV Geral
Escala: 1/1800



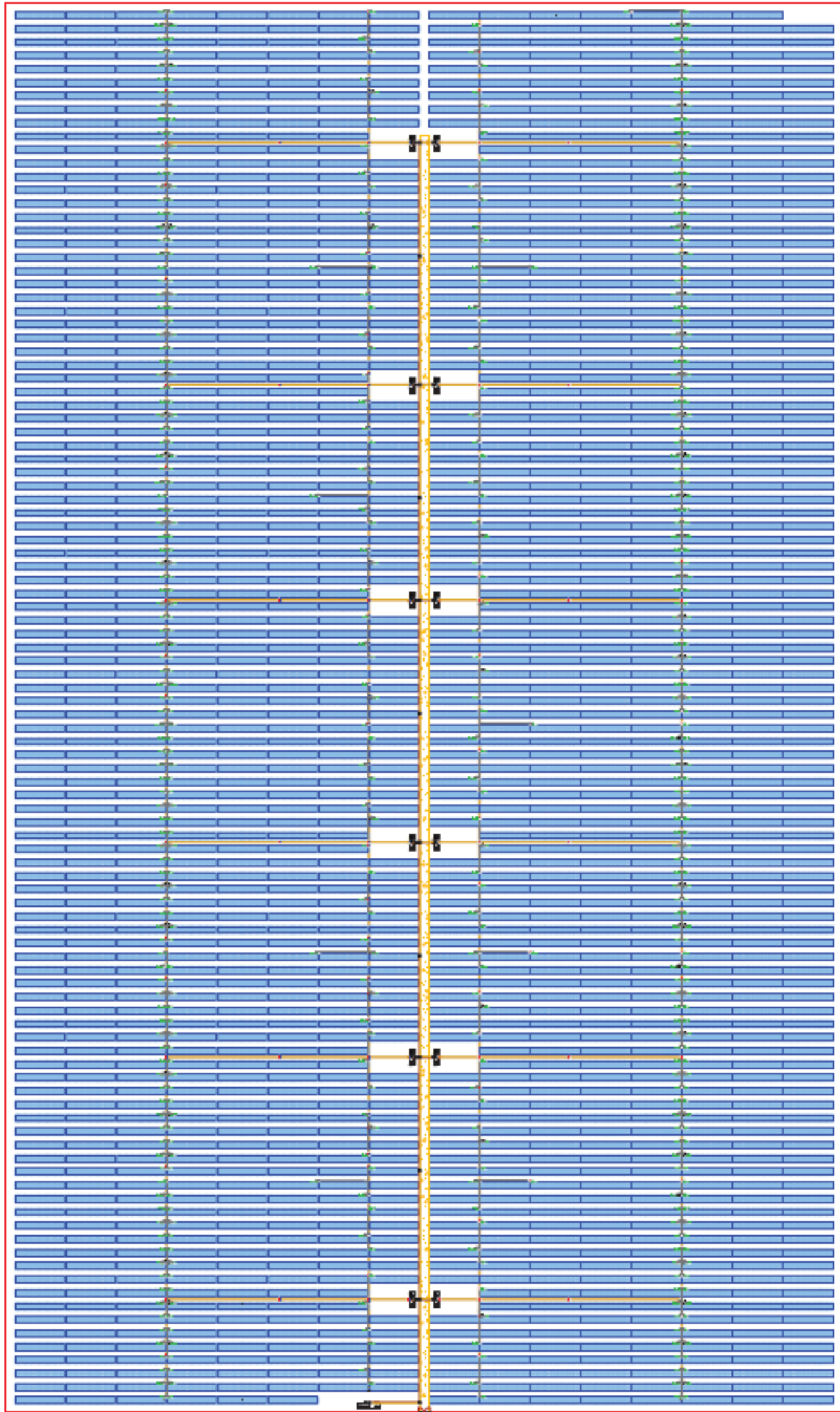
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS					
MÓDULO PV	TU90	POTÊNCIA	440Wp		
	CILINDRO-EP	282 Wp	7020A		
STRINGS	MÓDULO PV POR STRING	440Wp			
	22	227A			
INVERSORES	TU90	POTÊNCIA	440Wp		
	POWER ELECTRONICS PERFORMANCE H-REC 50V	2800VA	12		
PONTO DE TRANSFORMAÇÃO	TU90	POTÊNCIA	440Wp		
DADOS GEOMÉTRICOS	TILT	ADJUSTE	PITCH	ÁNGULO DE PLANTA	ORIENTAÇÃO DE PLANTA
		0°			
POTÊNCIA PICO TOTAL INSTALADA:		10007	100%		
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		10000	100%		

- Legenda:
- Módulo PV
 - Mesa 3x22
 - Mesa 3x11
 - Vedação
 - Entrada de Planta PV
 - Caminho (3m)
 - Posto de Transformação
 - Posto de Desconexamento
 - Caixa de Junção
 - Caixa de Volta BT
 - Caixa de Volta MT
 - Cabo DC
 - Cabo AC
 - Vale BT
 - Vale MT

Projeto:	Case de Estudo
Local:	15 MW
Designação do Documento:	Implantação Geral
DESENHADOR:	Renato Ribeiro
Data:	27.06.2014
ESCALA:	1:1800
FORMATO:	A2
Revisão:	01



Implantação PV Geral
Escala: 1/1800



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS					
MÓDULOS PV	TIPO	NOTÍCIA		QUANTO	
	QUANTO MP	250 W	T024		
STRINGS	MÓDULOS PV POR STRING	NÚMERO			
		22	3274		
INVERSORES	TIPO	NOTÍCIA		QUANTO	
	POWER ONE TNO 27A TL OUT-40	30 kVA	56		
POSTO DE TRANSFORMAÇÃO	TIPO	NOTÍCIA		QUANTO	
DADOS GEOMÉTRICOS	TILT	ADHOTE	PITCH	ÁREA PV PLANTA	QUANTO PV PLANTA
		27			
POTÊNCIA PEO TOTAL INSTALADA:		1607	Wp		
POTÊNCIA NOMINAL TOTAL INSTALADA:		1600	Wp		

- Legenda:
- Módulo PV
 - Mesa 2x22
 - Mesa 2x11
 - Vedação
 - Entrada da Planta PV
 - Ganho (3m)
 - Posto de Transformação
 - Posto de Seccionamento
 - Inversor
 - Caixa de Junção
 - Caixa de Ylota BT
 - Caixa de Ylota MT
 - Vão BT
 - Vão MT
 - Cabo DC
 - Cabo AC

Projeto:	Casa de Saúde
Descrição:	15.000
Designação do Desenho:	Implantação Inversor String
DESENHADOR:	Sauzet/Talaja
DATA:	27.06.2019
ESCALA:	1:1800
FORMATO:	A2
Revisão:	01



