



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Sistemas Fotovoltaicos

Relatório de Estágio

CRITICAL KINETICS

Fábio Miguel Brites Moreira

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Controlo e Eletrónica Industrial

Tomar/Novembro/2016



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Fábio Miguel Brites Moreira

Sistema Fotovoltaicos

Relatório de Estágio

CRITICAL KINETICS

Orientado por:

Doutor Raul Monteiro

Relatório apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica

Resumo

Este relatório foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de estágio referente ao Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Controlo e Eletrónica Industrial, durante o ano letivo de 2015/2016.

O estágio teve lugar na empresa CRITICAL KINETICS e teve como objetivo principal o desenvolvimento de competências a nível da orçamentação, dimensionamento, montagem, análise técnica e estudo de viabilidade económica na área das energias renováveis, mais especificamente na da energia fotovoltaica.

No decorrer do presente relatório irão ser descritas algumas das atividades exercidas durante o período de estágio, vai ser dado a conhecer o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos e seus equipamentos, apresentar-se-á também alguns exemplos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Palavras-chave: Módulos Fotovoltaicos, Inversores, Autoconsumo, Bombagem Solar, Monitorização, viabilidade económica, formação.

Abstract

This report had been developed as part of the curricular unit of internship, regarding the master degree in Electrical Engineering – Control and industrial electronics, during the academic year of 2015/2016.

The internship took place in the company CRITICAL KINETICS and had as main purpose to develop competencies such as budgeting, dimension, installation, technical analysis and study of economical viability in the areas of renewable energies, more specifically on the photovoltaic energy.

Throughout the following report some activities made during the period of the internship will be described, the functioning of the photovoltaic systems and its equipment will be explained and finally some examples of dimensions of photovoltaic systems will be presented.

Key words: photovoltaic modules, inverters, self-consumption, solar pumping, monitoring, economic viability and formation

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Doutor Raul Monteiro pelo apoio prestado durante o estágio.

A todos os meus professores que me auxiliaram ao longo do meu percurso académico.

Ao Eng.º Hubo Barbosa, CEO da empresa CRITICAL KINETICS pelo apoio e disponibilidade prestada.

Aos meus amigos que me ajudaram e apoiaram, a todos os colaboradores que passaram pela empresa ao longo do meu estágio, Ana Oliveira, Beatriz Lopes, João Nunes, João Marcelino, Bruno Pereira, Carlos Pereira, Edgar Vieira, Sérgio Godinho, Filipe Braz, Juliana Mendes, Patrícia Oliveira, Paula Marques, Paulo Tristão, Ricardo Silvestre, Rui Santos e Tiago Carvalho.

E principalmente á minha família e namorada Vanessa, pelo apoio que sempre me deram ao longo do estágio e todo o meu percurso académico.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Apresentação da empresa	3
2.1 Smart PV.....	4
2.2 AGROTECNOLÓGICA.....	4
2.3 CK Solar Academy	5
3. Formação.....	7
3.1 Curso Intensivo de Autoconsumo Fotovoltaico.....	7
3.2 Aula Prática.....	9
4. Fotovoltaico.....	12
4.1 Enquadramento Legal em Portugal.....	14
4.1.1 Unidades de Autoconsumo (UPAC)	16
4.1.2 Unidade de Pequena Produção (UPP).....	17
4.2 Funcionamento dos Sistemas Fotovoltaicos	18
4.2.1 Efeito Fotovoltaico	19
4.2.2 Células fotovoltaicas	21
4.2.3 Módulos Fotovoltaicos.....	24
4.2.4 Inversores	29
4.2.4.1 Inversores <i>Grid-Tied</i>	30
4.2.4.2 Microinversores	36
4.2.4.3 Inversores <i>Off-Grid</i>	39
4.2.4.4 Inversores Híbridos	40
4.2.5 Baterias.....	41
4.2.5.1 Principais características das baterias.....	43
4.2.5.2 Baterias de ácido de chumbo	45
4.2.5.3 Baterias de GEL/AGM	46

4.2.5.4 Baterias estacionárias (OPzS e OPzV).....	47
4.2.5.5 Baterias de lítio (Li-íon).....	48
4.2.6 Controladores de Carga.....	50
4.3 Monitorização e Controlo de Sistemas Fotovoltaicos	52
5. Dimensionamento de Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico	59
5.1 Análise de Consumos	60
5.2 Dimensionamento do Sistema	63
5.3 Estudo de Viabilidade Económica.....	69
5.4 Caso Prático.....	73
5.4.1 Análise de Consumos.....	74
5.4.2 Estudo de área disponível	76
5.4.3 Simulação no PVsyst	77
5.4.4 Dimensionamento Cabelagem	79
5.4.5 Dimensionamento das Proteções DC e AC	82
5.4.6 Estudo de viabilidade económica.....	83
6. Dimensionamento de Sistemas Isolados	85
7. Bombagem Solar.....	86
7.1 Bombagem AC	87
7.2 Bombagem DC	88
7.3 Tipos de Bombas	89
7.4 Dimensionamento de Sistema de Bombagem Fotovoltaica	90
8. Conclusão.....	93
9. Referências.....	94
10. Anexos.....	98

Índice de Figuras

Figura 1 - Departamentos da CRITICAL KINETICS	6
Figura 2 - Modelos 3D das 6 soluções apresentadas na aula prática	9
Figura 3 - Bancada 4	10
Figura 4 - Foto obtida durante uma apresentação	11
Figura 5 - Evolução da energia solar instalada até 2015	12
Figura 6 - Irradiação Global Horizontal da Europa	13
Figura 7 - Modelo de funcionamento de uma UPAC	16
Figura 8 - Modelo de funcionamento de uma UPP	17
Figura 9 - Espectro eletromagnético do Sol	18
Figura 10 - Modelo das Bandas de Energia	20
Figura 11 - Aspeto de uma Célula Fotovoltaica	21
Figura 12 – Anatomia de uma célula PV	22
Figura 13 - Comparação entre células (1ª e 2ª geração) e módulos de laboratório	23
Figura 14 - Gráfico comparativo da eficiência entre tecnologias em desenvolvimento	24
Figura 15 - Anatomia do Módulo Fotovoltaico	24
Figura 16 - Módulo Fotovoltaico com e sem moldura	25
Figura 17 - Caixa de junção de um módulo fotovoltaico	25
Figura 18 - Curvas características I-V e P-V das células fotovoltaicas	26
Figura 19 - Efeito causado pela variação de intensidade luminosa	27
Figura 20 - Efeito causado pela temperatura na célula	27
Figura 21 - Ligação em série de módulos fotovoltaicos	28
Figura 22 - Ligação em paralelo de módulos fotovoltaicos	28
Figura 23 - Diagrama de ligação com a rede de um sistema fotovoltaico	29
Figura 24 – Configuração de um sistema Grid-Tie	30
Figura 25 – Inversores do tipo Grid-Tie	31
Figura 26 – Princípio de funcionamento de inversores comutados pela rede	32
Figura 27 – Esquema dos inversores auto-controlados	33
Figura 28 - Princípio de funcionamento dos inversores auto-controlados	33
Figura 29 - Princípio de funcionamento de um microinversor	36
Figura 30 - Esquema de ligações: 1 - Fichas PV (+/- DC) 2 - Entrada AC (pode-se ligar um inversor em serie) 3 - Saída AC	36

Figura 31 - Ligação entre os microinversores com os módulos fotovoltaicos	37
Figura 32 - Instalação utilizando microinversores instalada nas instalações da CRITICAL KINETICS	37
Figura 33 - Configuração de um sistema Off-Grid	39
Figura 34 - Configuração de um sistema híbrido	41
Figura 35 - Funcionamento sistema de autoconsumo com armazenamento	42
Figura 36 - Processo de carga de uma bateria eletroquímica	42
Figura 37 - Processo de descarga de uma bateria eletroquímica	43
Figura 38 - Constituição bateria de chumbo	45
Figura 39 - Bateria OPzV	47
Figura 40 - Funcionamento das reações químicas numa bateria de Lítio	48
Figura 41 - Sistema de Autoconsumo com armazenamento da Fronius	49
Figura 42 - Esquemático simplificado de um tipo de controlador de carga PWM	51
Figura 43 - Esquemático de um controlador de carga MPP	51
Figura 44 - Sistema de Monitorização Solar-Log	53
Figura 45 - Esquema de ligações do Solar-Log num sistema de autoconsumo	54
Figura 46 - Instalação de autoconsumo com sistema de monitorização Solar-Log	55
Figura 47 - Unidade de Pequena Produção de 3,675kWp	55
Figura 48 - Instalação do Solar-Log 300 GPRS	56
Figura 49 - Instalação Fotovoltaica a ser monitorizada	56
Figura 50 - Instalação Solar-Log 2000 com controlo de injeção	58
Figura 51 – Instalação medidor de energia Janitza UMG 104	58
Figura 52 - Exemplo de uma matriz de consumos horária mensal	60
Figura 53 - Introdução dos consumos mensais na folha de desagregação	61
Figura 54 - Exemplo de inserção das curvas dos consumos durante o dia	62
Figura 55 - Exemplo das curvas de carga ao longo do dia	62
Figura 56 - Exemplo de distribuição de painéis numa superfície usando o SketchUp	64
Figura 57 - Menu Principal do PVsyst	65
Figura 58 - Janela de configuração do sistema	66
Figura 59 - Figura explicativa do efeito PID	67
Figura 60 - Introdução das tarifas	70
Figura 61 - Poupanças mensais	70

Figura 62 - Autoconsumo Acumulado Anual	71
Figura 63 - Página resumo da viabilidade económica que é apresentada ao cliente nas propostas comerciais	72
Figura 64 - Reconhecimento do edifício onde seria instalada a UPAC	73
Figura 65 - Plantas da cobertura do edifício	73
Figura 66 - Detalhes da fatura com consumos verificados nos três períodos (Tarifa Tri-horária, ciclo diário)	74
Figura 67 - Introdução da Tarifa	74
Figura 68 - Introdução dos consumos dos vários meses	75
Figura 69 - Definição das curvas de carga do cliente	75
Figura 70 - Modelo 3D do edifício do cliente	76
Figura 71 – Introdução da localização das instalações do cliente	77
Figura 72 – Gráficos de funcionamento do inversor	78
Figura 73 - Exemplo de um sistema de bombagem solar	86
Figura 74 - Rendimento máximo de uma eletrobomba em AC durante um dia	87
Figura 75 - Interior de um motor DC Brushless	89
Figura 76 - Disposição de todos os componentes do sistema	91

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Potência Instalada em Portugal	13
Tabela 2 - Produção de Energia Fotovoltaica em Portugal	13
Tabela 3 - Regime de produção distribuída – Principais características	14
Tabela 4 - Regime de produção distribuída – Principais características	15
Tabela 5 - Principais parâmetros de uma célula solar	27
Tabela 6 – Características dos inversores grid-tie.....	35
Tabela 7 - Exemplo características de um microinversor	38
Tabela 8 - Tabela de correntes admissíveis	80
Tabela 9 - Tabela Resumo	83
Tabela 10 - Poupança Mensal.....	84

Lista de abreviaturas e siglas

CIAF – Curso Intensivo de Autoconsumo Fotovoltaico

UPAC – Unidades de Produção para Autoconsumo

UPP – Unidade de Pequena Produção

PV – *Photovoltaic* (Fotovoltaico)

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

AC – *Alternating Current* (Corrente Alternada)

DC – *Direct Current* (Corrente Contínua)

CdTe – Telureto de Cádmio

GaAs – Arsenieto de Gálio

GW – Gigawatt

MW – Megawatt

kW – Kilowatt

kWp – Kilowatt pico

kWn – Kilowatt nominal

kHz – Kiloherzt

Hz - Hertz

Wp – Watt pico

EVA – Etileno Vinil Acetato

MPP – *Maximum Power Point* (Ponto de Potência Máxima)

MPPT - *Maximum Power Point Tracking* (Rastreador do ponto de máxima potência)

PWM – *Pulse-Width Modulation* (Modulação por Largura de Pulso)

USB – *Universal Serial Bus*

SMS – *Short Message Service* (Serviço de Mensagens Curtas)

GPRS – *General Packet Radio Service* (Serviço de Rádio de Pacote Geral)

Tilt – Inclinação

String – Fileira

PID – *Potential induced degradation* (Degradação induzida do potencial)

TIR – Taxa interna de retorno

ROI – *Return on Investment* (Retorno sobre Investimento)

LCOE – *levelized cost of energy* (Custo da energia produzida)

BTN – Baixa Tensão Normal

BTE – Baixa Tensão Especial

MT – Média Tensão

CSV – *Comma Separated Values* (Valores Separados Por Virgula)

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão

DOD - *Depth of discharge* (Profundidade de Descarga)

1. Introdução

Este relatório faz uma síntese do estágio curricular realizado ao longo de quase 9 meses, entre Agosto de 2015 e Abril de 2016. O estágio foi realizado na empresa CRITICAL KINETICS, que se trata de uma empresa da área das energias renováveis.

Neste documento vai ser dado a conhecer a empresa, os vários serviços prestados, bem como explicar os métodos de trabalho e explicar o funcionamento dos vários constituintes deste tipo de sistemas, neste caso sistemas baseados na energia fotovoltaica.

Este documento visa apresentar o estágio curricular realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e tem como objetivo dar a conhecer o tipo de trabalho desenvolvido ao longo dos quase 9 meses de estágio. Durante o estágio tive como funções a realização de projetos e orçamentação de sistemas fotovoltaicos. Fui também responsável pelo apoio técnico e instalação de sistema de monitorização e pela manutenção e criação de conteúdos dos *sites* da empresa. Durante o estágio tive oportunidade de estar envolvido na organização do Congresso Nacional de Autoconsumo Fotovoltaico e de ser um dos formadores num dos cursos lecionados pelo departamento de formação.

Este relatório tem a seguinte constituição:

O atual capítulo dá a conhecer o objetivo deste relatório, as motivações que me levaram a escolher fazer um estágio numa empresa de energias renováveis e para finalizar dar a conhecer a organização do relatório, descrevendo o que se vai falar em cada capítulo.

No capítulo 2 é feita uma apresentação da empresa onde foi realizado o estágio, onde é possível ficar a conhecer a sua visão e objetivos, os vários departamentos que a constituem, bem como a área de negócio que cada um abrange.

No capítulo 3 falar-se-á do departamento de formação da empresa, onde descreve o curso que é lecionado pela empresa, curso que tive oportunidade de frequentar, e fazer parte do grupo de formadores durante uma das aulas.

No capítulo 4 é feita uma apresentação à energia fotovoltaica, onde se irá enquadrar a nível legal este tipo de sistemas, explicar o seu funcionamento bem como de todos os

equipamentos associados. Neste capítulo será descrito vários trabalhos em que estive envolvido, incluindo sistemas de autoconsumo fotovoltaico, assim como sistemas de monitorização para este tipo de sistema.

Para o capítulo **5** ir-se-á se explicar outro dos trabalhos que estava encarregue de fazer, que foi realizar o dimensionamento de um sistema de autoconsumo fotovoltaico, onde se explicará todos explicar os passos do dimensionamento e estudo de viabilidade económica.

No capítulo **6** é explicado como dimensionar um sistema isolado, algo que também me foi pedido durante o estágio.

De seguida, no capítulo **7** será apresentada a bombagem solar, durante o estágio também tive como funções o dimensionamento deste tipo de sistemas. Ir-se-á falar dos dois tipos de bombagem, em AC e em DC, e será feito um dimensionamento de um sistema de bombagem solar.

2. Apresentação da empresa

A CRITICAL KINETICS – Energy Consultants é uma empresa na área das energias renováveis, sendo o seu foco atualmente no autoconsumo fotovoltaico. Trata-se de uma empresa que trabalha diariamente com o objetivo principal de contribuir para a mudança do atual paradigma energético. Foi criada em Maio de 2011 pelo Engenheiro Eletrotécnico Hugo Barbosa, que detém de 100% do capital da empresa, e opera totalmente no mercado das energias renováveis.

A CRITICAL KINETICS, procurou logo no começo procurar a melhor maneira de se diferenciar dos seus rivais no mercado português. Como resultado, a empresa implementou-se no mercado fotovoltaico sendo reconhecida como sendo uma entidade séria e profissional. De momento a empresa tem escritórios em Lisboa, Montemor-o-Velho, Matosinhos, S. Brás de Alportel e Torres Novas, sendo este o principal e onde decorrem a maioria dos trabalhos.

A visão da empresa consiste na conquista da confiança de todos os seus clientes, sendo eles individuais, empresas ou instituições, e estabelecer-se como uma entidade reconhecida nos mais variados campos do mercado da Energia. Tem como um dos seus objetivos trabalhar todos os dias para construir uma estrutura sólida que assegure condições decentes a todos os colaboradores para que estes se sintam realizados não só profissionalmente como também como seres humanos. A empresa quer ser reconhecida não só pela vontade de fazer o bem, mas também pela vontade de partilha de oportunidades com outras entidades que estão já fixas no mercado, crescendo com elas. A missão da empresa passa por trabalhar diariamente de forma a promover o uso mais racional possível dos recursos energéticos, quer eles sejam finitos ou renováveis.

A empresa foi criada com o objetivo de ser a primeira organização em Portugal a juntar o saber fazer ao saber ensinar, numa área tão específica como a Energia. Em Portugal, existem vários centros de ensino que oferecem cursos de especialização profissional e cursos avançados, mas que não possuem o verdadeiro conhecimento prático uma vez que não estão verdadeiramente presentes no mercado. Assim, a CRITICAL KINETICS nasceu com a missão de juntar estes dois campos que até agora nunca se tinham cruzado.

A empresa tem bastante orgulho nos valores que defende. Mais especificamente na dedicação ao cliente, uma vez que é graças a ele que a empresa existe, e na inovação, uma

vez que todas as soluções apresentadas pela empresa aos clientes devem de superar sempre as expectativas do mercado. A seriedade e o profissionalismo fazem também parte dos valores da empresa uma vez que esta só oferece o que pode dar, assume as consequências das suas ações e nunca cria metas que não possa alcançar. São também valores da empresa a confiança, o respeito, a ambição e a transparência. A empresa opera em Portugal e tem várias áreas de negócios, sendo as mais conhecidas: a Smart PV – soluções para autoconsumo; a AGROTECNOLÓGICA – soluções tecnológicas para a agroindústria; e a CK Solar Academy – academia de formação [1], que se descrevem em seguida.

2.1 Smart PV

A Smart PV é o departamento da CRITICAL KINETICS que oferece soluções com a mais recente gama de produtos e serviços tecnológicos na área dos sistemas fotovoltaicos. O departamento Smart PV oferece serviços personalizado que associa as soluções de energia solar fotovoltaica aos mais avançados equipamentos de controlo e monitorização. Fornece soluções inteligentes, perfeitamente adequadas às necessidades de cada cliente, sejam eles individuais ou empresas, que sem exceção conduzem a grandes reduções nos custos com eletricidade.

2.2 AGROTECNOLÓGICA

Este departamento anteriormente designado por “AGRO CK”, foi criado com o intuito de dar apoio e oferecer soluções para todos os projetos de energias renováveis dos setores da Agricultura e Pecuária. Estes são setores de atividade económica que podem vir a ter grande proveito da utilização de energias renováveis, isto porque a utilização deste tipo de energia permitirá uma redução dos custos operacionais, tornando assim os negócios mais competitivos.

2.3 CK Solar Academy

A CK Solar Academy tem como objetivo oferecer formação na área das energias renováveis, pois considera que a oferta de mercado atualmente existente é escassa ou de qualidade insuficiente. Existem varias dezenas de centros de formação que oferecem cursos de especialização profissional ou de formação técnica avançada, contudo não possuem um conhecimento efetivo dos temas que ministram. É este conhecimento que trás uma diferença significativa aos cursos lecionados pela CK Solar Academy.

A CK Solar Academy tem uma oferta formativa bastante completa no sentido de satisfazer as necessidades atuais do mercado das energias renováveis e formar profissionais competentes e direcionados para a realidade profissional. Este departamento também é responsável pela realização de seminários anuais na área do fotovoltaico. Durante o estágio tive oportunidade de fazer parte da organização do Congresso Nacional sobre o Autoconsumo Fotovoltaico na Associação Empresarial da Região de Santarém (NERSANT) em Torres Novas.

Ao nível dos cursos disponíveis destaca-se o Curso Intensivo de Autoconsumo Fotovoltaico (CIAF), que é um curso que incide no projeto e dimensionamento de sistemas de autoconsumo fotovoltaico, sendo o curso mais ministrados pela CK Solar Academy, tendo já acontecido varias edições. Outro curso que também se destaca é a Pós-Graduação em Energia Solar onde é dada formação para dimensionamento de sistemas solares térmicos e sistemas fotovoltaicos de produção elétrica.

Além dos departamentos acima descritos, a CRITICAL KINETICS conta ainda com os departamentos Led21, especializado em iluminação, CKEfficiency que oferece soluções de Eficiência Energética e a Mobilidade21 que apresenta pequenos veículos elétricos como *scooters* ou bicicletas.

Na figura seguinte mostram-se os vários Departamentos que constituem a empresa.

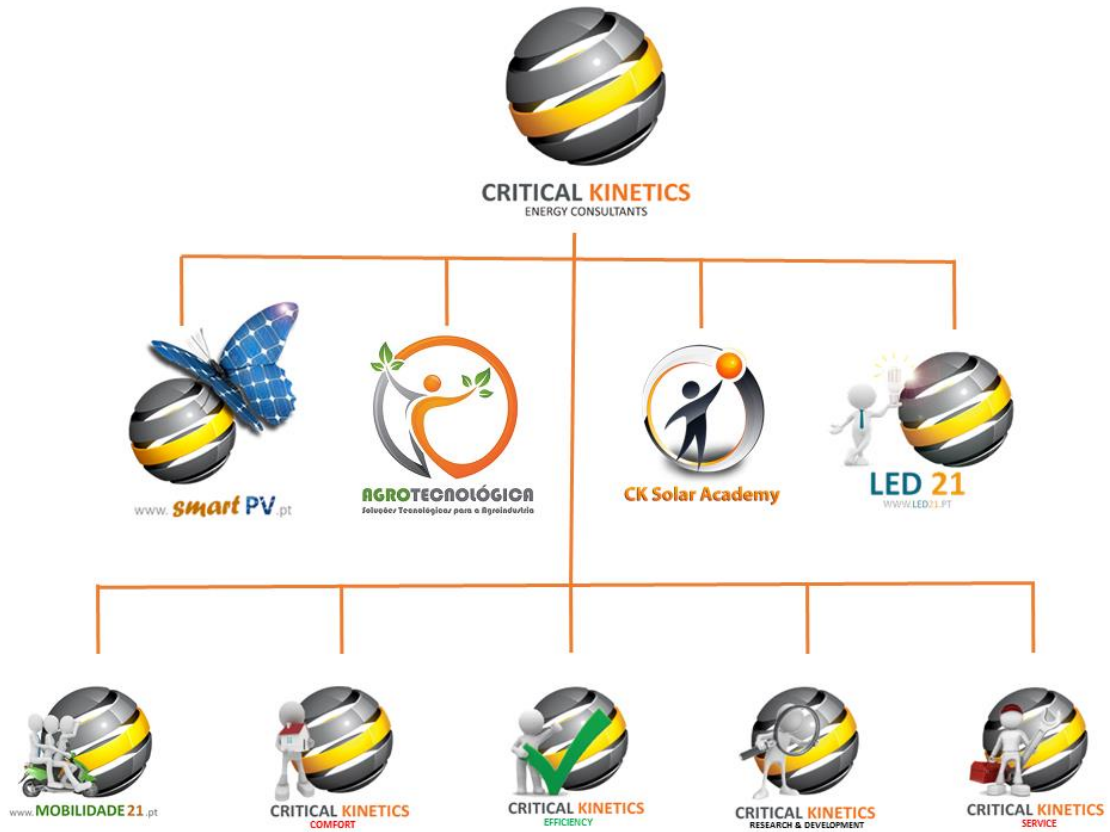


Figura 1 - Departamentos da CRITICAL KINETICS [1]

3. Formação

Tal como foi referido anteriormente na apresentação da CRITICAL KINETICS, esta empresa tem um departamento dedicado à formação, onde são ministrados curso na área das energias renováveis. Estes cursos visam satisfazer as necessidades atuais do mercado das energias renováveis e formar profissionais competentes e direcionados para a realidade profissional. A CRITICAL KINETICS é uma empresa que atua no setor das energias renováveis, fazendo projeto e instalação de sistemas solares, à parte de outras áreas de negócio. Alia a formação ao *know-how* de quem contata diariamente com a realidade laboral. Desta forma, caracteriza-se por ser uma Academia que conjuga a formação com a experiência de projeto/instalação.

Durante o estágio tive oportunidade de frequentar e participar ativamente como formador num destes cursos, mais concretamente no CIAF (Curso Intensivo de Autoconsumo Fotovoltaico). Nos pontos seguintes vai ser dado a conhecer a constituição do curso e os seus conteúdos [1] [2].

3.1 Curso Intensivo de Autoconsumo Fotovoltaico

O CIAF trata-se do curso mais procurado da CK Solar Academy, tendo já várias edições realizadas desde que foi criado. O curso realiza-se ao longo de 5 dias, tendo depois mais tarde lugar para uma aula mais prática. Este é um curso que está direcionado para o projeto e dimensionamento de sistemas de autoconsumo fotovoltaico, tendo como principais objetivos os seguintes pontos:

- Capacidade para desenvolver de forma autónoma, projeto avançado recorrendo a *software* apropriados;
- Demonstrar conhecimento abrangente da tecnologia atual e desenvolvimentos expectáveis de materiais e soluções;
- Aptidão para calcular a rentabilidade de projetos, e desenvolver análises de risco;
- Ser capaz de consultar e pesquisar a legislação atual e tendências do mercado;
- Conhecer técnicas de conversão, transporte, distribuição, armazenamento e gestão de energia;
- Saber gerir equipamentos e instalações, numa ótica de rentabilização de ativos;
- Integrar com sucesso grupos de trabalho que atuem nestes domínios.

Este curso trata-se de um curso bastante completo; durante os 5 dias de aulas são leccionados os seguintes capitulos:

1. Heliotecnia, movimento aparente do sol e sombreamentos
2. Modelação 3D com SketchUp®
3. Fundamentos de Eletrotecnia
4. Análise do estado da arte. Filosofia de projeto e perspectivas para o setor
5. Quadro legal e incentivos a fundo perdido UE para autoconsumo
6. Tecnologia de Módulos Fotovoltaicos
7. Tecnologia de Inversores e microInversores
8. Seguidores solares, estruturas fixas e BIPV
9. Tecnologia de Baterias e Controladores de Carga
10. Cablagem, equipamentos de controlo e proteção
11. Sistemas ligados à RESP
12. Sistemas Isolados Estudos de Viabilidade Económica (VAL, TIR, PRIA e ROI) em função dos perfis de produção e consumo.
13. *Net Metering* e Autoconsumo com e sem acumulação.
14. Sistemas de Monitorização de consumo, de produção e PLC
15. Planeamento geral de obra e execução.
16. Comissionamento de sistemas, teste, diagnóstico e reparação de avarias
17. Operação, Manutenção e Auditorias.
18. Projeto avançado PVsyst® de sistemas fotovoltaicos em regime de *Net Metering* e Autoconsumo com e sem injeção à rede.
19. Instrução de processos de Autoconsumo junto de Direção Regional de Economia e DGEG.
20. Considerações sobre o novo Diploma do Autoconsumo e novas oportunidades de negócio.
21. Instrução de candidaturas ao PRODOR para projetos de Autoconsumo [2].

3.2 Aula Prática

Após os 5 dias de aulas onde se pode aprofundar os conhecimentos na área da energia fotovoltaica e se aprendeu a dimensionar e projetar um sistema de autoconsumo fotovoltaico, todos os alunos têm direito a uma aula de laboratório prática. Esta aula dá a possibilidade aos participantes de poderem ter contato direto com as diversas soluções técnicas que representam o atual estado da arte e todo o equipamento a estes associados.

Como se pode ver na figura seguinte, esta aula conta com 6 bancadas, onde se pode ver as diversas soluções atualmente existentes no mercado, e que foram dadas a conhecer e explicadas aos alunos que participaram nesta aula.

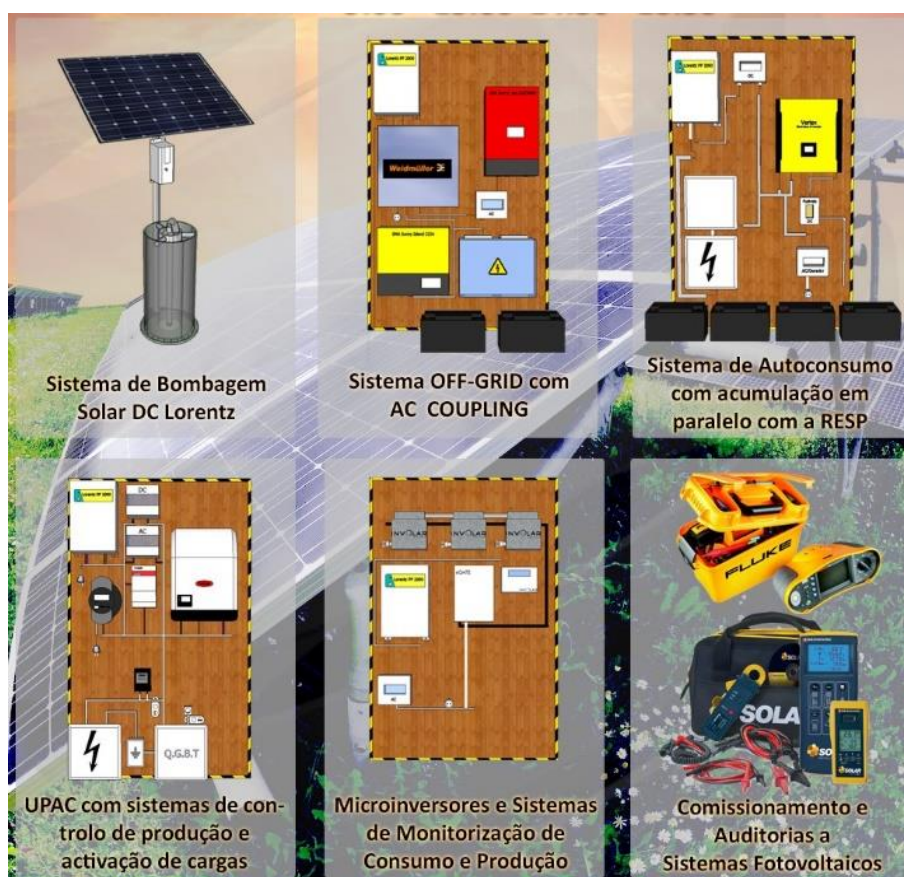


Figura 2 - Modelos 3D das 6 soluções apresentadas na aula prática [2]

Nesta aula prática fiquei responsável, a par de outro colega estagiário, de dar a explicação da solução 4 (UPAC com sistema de controlo de produção e ativação de cargas) e demonstrar o seu funcionamento e configuração. Na Figura 3 é possível ver a bancada onde fiquei responsável por fazer a explicação do funcionamento dos equipamentos e do sistema.



Figura 3 - Bancada 4

Esta bancada consistia num modelo tipo de uma unidade de produção para autoconsumo. Esta tinha como principais componentes:

- Inversor Fronius Galvo 1.5-1 de 1,5kW;
- Powerpack PP2000 da Lorentz (simula os módulos fotovoltaicos);
- Sistema de monitorização e controlo Solar-Log 1200 Meter;
- Quadro DC;
- Quadro AC;
- Contador de Produção;
- Contador da rede;
- Quadro Geral de Baixa Tensão;
- Caixa de Terras;
- Portinhola;
- Carga não controladas;
- Cargas controladas.

Nesta bancada, o objetivo era mostrar uma instalação tipo de uma UPAC, assim como explicar o seu modo de funcionamento, tendo também inserido um equipamento de monitorização e controlo do sistema fotovoltaico, que permite controlar a potência do gerador fotovoltaicos (para por exemplo não injetar energia na rede) e ativação de cargas. Será possível ficar a conhecer melhor o funcionamento deste tipo de sistema nos capítulos seguintes, e o modo como deve ser dimensionado e projetado. Na imagem seguinte mostra-se uma foto obtida durante uma das explicações do sistema.



Figura 4 - Foto obtida durante uma apresentação

4. Fotovoltaico

Todos os dias, muita energia solar chega ao nosso planeta de forma limpa e gratuita. Os raios solares, além de trazerem a luz e o calor, que são essenciais para a vida na Terra, podem ser aproveitados para a produção de energia, tanto na forma de calor quanto na de eletricidade.

A redução da dependência de fontes de energia não renováveis e de emissões de CO₂ são hoje em dia um dos “slogans” mais recorrentes a nível mundial. Esse tema tem vindo a ser defendido e trabalhado, desde há vários anos, um pouco por todo o mundo.

A energia solar contou até 2014 com mais de 178GW instalados a nível global, demonstrando assim o grande potencial que esta energia tem. Na figura seguinte pode-se ver a evolução da capacidade fotovoltaica instalada no período entre o ano 2000 e 2014 [3].

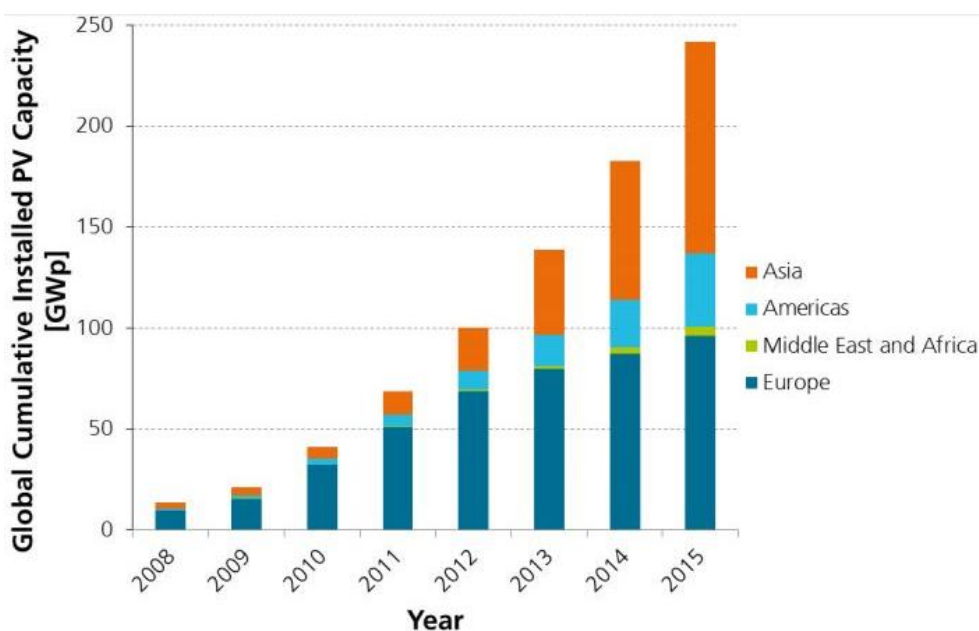


Figura 5 - Evolução da energia solar instalada até 2015 [4]

Já em Portugal, contou-se com um total de 496 MW de capacidade instalada até Abril de 2016. Portugal é um país com enorme potencial para este tipo de sistema, é um dos países europeus que apresenta condições mais favoráveis, como a elevada exposição solar, onde o período médio anual varia entre as 2200 e as 3000 horas (média dos países da Europa central não passa das 1200 a 1700 horas) [5] [6].

Nas tabelas seguintes pode-se ver alguns dados relativos à energia solar em Portugal.

Tabela 1 - Potência Instalada em Portugal [5]

	Potência Instalada por Região (MW)									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 abr
Portugal	15	62	110	134	175	244	299	419	451	496
Continente	11	59	107	121	151	218	273	385	409	452
Norte	0	1	4	9	19	30	42	47	48	87
Centro	0	1	5	12	23	36	49	65	65	66
Lisboa	0	0	8	11	16	22	44	88	90	91
Alentejo	11	57	88	86	87	103	109	140	157	156
Algarve	0	0	2	3	5	27	29	45	49	52
R.A. Açores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
R.A. Madeira	0	0	1	10	21	23	24	24	24	24
Não especificado	3	3	2	3	3	3	1	9	17	20

Tabela 2 - Produção de Energia Fotovoltaica em Portugal [5]

	Produção por Região (GWh)									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 abr ¹
Portugal	24	41	160	215	282	393	479	627	797	782
Continente	20	36	156	207	262	355	439	591	753	740
Norte	0	0	6	11	21	40	55	67	82	80
Centro	0	0	9	16	30	51	68	97	120	116
Lisboa	0	0	5	14	19	29	43	106	160	156
Alentejo	20	36	133	162	185	206	219	247	302	300
Algarve	0	0	2	4	7	29	53	73	90	89
R.A. Açores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R.A. Madeira	0	0	0	4	19	34	37	37	43	41
Não especificado	4	4	4	4	1	3	3	0	0	1

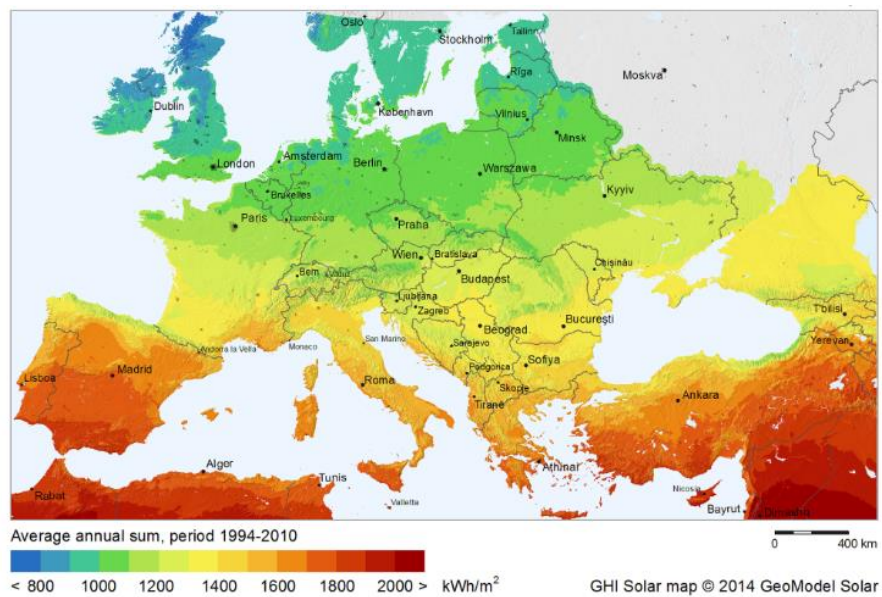


Figura 6 - Irradiação Global Horizontal da Europa [7]

4.1 Enquadramento Legal em Portugal

A energia fotovoltaica em Portugal é regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 153/2014, pelas Portarias n.º 60-E/2015 e n.º 15/2015. Este decreto veio legislar o novo regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao consumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à RESP (Rede Elétrica de Serviço Público), baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis. Nas tabelas seguintes dá-se a conhecer as principais características deste novo regime.

Tabela 3 - Regime de produção distribuída – Principais características [8]

Autoconsumo (UPAC)	Pequena Produção UPP
<ul style="list-style-type: none"> • Energia produzida é injetada preferencialmente na instalação de consumo • Eventuais excedentes de produção instantânea, podem ser injetados na RESP • O modelo proposto pressupõe a adequação da capacidade de produção ao regime de consumo existente no local, minimizando a injeção de energia na RESP 	<ul style="list-style-type: none"> • Energia produzida é totalmente injetada na RESP • Mantem o modelo de atribuição de tarifa via leilão, simplificando e agregando o atual regime da Micro e Miniprodução • Mantem requisitos de produção indexados ao consumo de eletricidade existente, na instalação de consumo associada

Tabela 4 - Regime de produção distribuída – Principais características [8]

	Autoconsumo	Pequena Produção
Fonte	<ul style="list-style-type: none"> Renovável e Não Renovável 	<ul style="list-style-type: none"> Renovável
Limite Potência	<ul style="list-style-type: none"> Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo 	<ul style="list-style-type: none"> Potência de ligação < 100% da potência contratada na instalação de consumo Potência de ligação até 250 KW
Requisitos Produção	<ul style="list-style-type: none"> Produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo Venda do excedente instantâneo ao CUR 	<ul style="list-style-type: none"> Produção anual < 2x consumo da instalação Venda da totalidade da energia ao CUR
Remuneração	<ul style="list-style-type: none"> Valor da mercado para excedente instantâneo de produção, deduzido de custos Numa base anual, o excedente produzido face às necessidades de consumo não é remunerado 	<ul style="list-style-type: none"> Tarifa obtida em leilão para totalidade da produção Numa base anual, o excedente produzido face ao requisito de 2x consumo da instalação não é remunerado
Compensação	<ul style="list-style-type: none"> 0%, 30% ou 50% do respectivo valor dos CIEG quando a potência acumulada de unidades de autoconsumo contida nos intervalos [0;1%], [1%;3%], [3%;...]da potência instalada no SEN 	<ul style="list-style-type: none"> n.a.
Contagem	<ul style="list-style-type: none"> Contagem obrigatória para potências ligadas à RESP superiores a 1,5 kW 	<ul style="list-style-type: none"> Obrigatória para todas as potências, como elemento chave na faturação
Processo Licenciamento	<ul style="list-style-type: none"> Processo gerido via plataforma electrónica Mera comunicação prévia: Entre 200W – 1,5 kW Registo+certificado de exploração: Entre 1,5 kW e 1MW Licença de produção + exploração: >1MW 	<ul style="list-style-type: none"> Processo gerido via plataforma electrónica Registo + certificado de exploração Inspeções obrigatórias
Outros aspectos	<ul style="list-style-type: none"> Não existe quota de atribuição 	<ul style="list-style-type: none"> Quota máxima anual de potência atribuída (p.e. 20 MW atribuídos por ano)

Com este novo regime, veio a possibilidades de qualquer pessoa ou empresa produzir a sua própria energia através de um sistema de autoconsumo fotovoltaico. Trata-se de um tipo de sistema que pode ser bastante vantajoso, principalmente para as empresas, pois estas poderão produzir parte das suas necessidades energéticas, reduzindo a sua fatura elétrica, levando à redução dos custos operacionais da empresa e assim num aumento da sua competitividade.

Os projetos fotovoltaicos passam a ser avaliados como medida de eficiência energética, do ponto de vista do custo evitado. O dimensionamento das unidades é baseado no perfil do ponto de consumo.

4.1.1 Unidades de Autoconsumo (UPAC)

Tal como já foi falado anteriormente, uma UPAC trata-se de uma unidade de produção, que produz preferencialmente para satisfazer necessidades de consumo. Permite no entanto injetar na RESP o excedente de produção. Esta injeção na rede é coincidente com os períodos em que a produção é superior aos consumos. No entanto, esta injeção na rede é bastante negativa para a viabilidade económica dos projetos de autoconsumo fotovoltaico, porque o valor que é pago por esta energia é bastante baixo, comparando com o valor evitado pela energia produzida. Qualquer subdimensionamento ou sobredimensionamento pode levar a uma quebra na rentabilidade dos sistemas, logo é importante realizar um estudo do perfil de consumos da instalação de modo a realizar um correto dimensionamento do gerador fotovoltaico. Na figura seguinte mostra-se o modelo de funcionamento de uma UPAC.

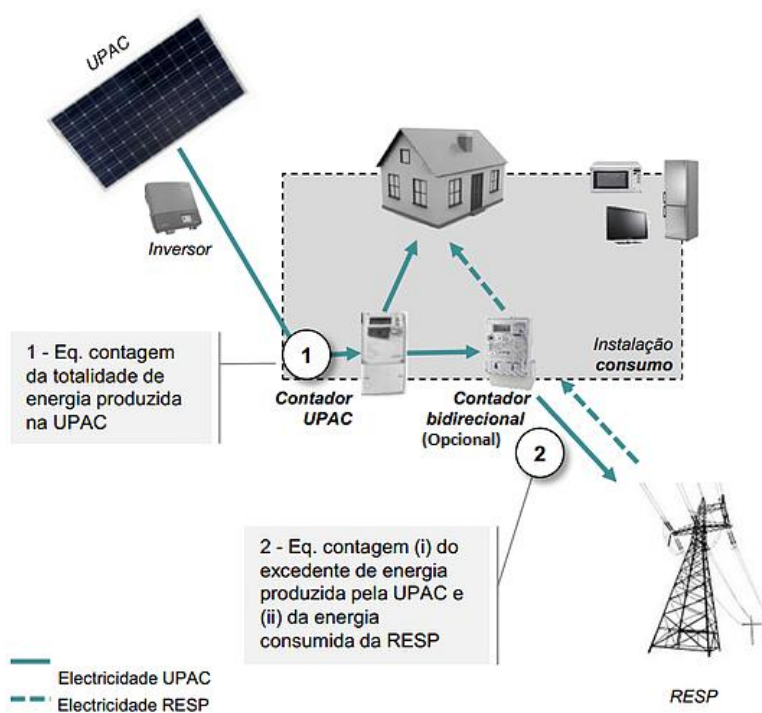


Figura 7 - Modelo de funcionamento de uma UPAC [9]

4.1.2 Unidade de Pequena Produção (UPP)

O novo Decreto-Lei vem substituir os anteriores Decreto-Lei 363/2007 (Microprodução, potências até 11,04kW) e o Decreto-Lei 34/2011 (Miniprodução, potências até 250kW). De modo a substituir as Micro e miniprodução, este novo Decreto-Lei prevê as UPP (Unidade de Pequena Produção). As UPP injetam a totalidade da energia produzida na RESP, em que a tarifa paga estipulada revista anualmente (0,095€/kWh em 2016). Os consumos da instalação associada serão na totalidade provenientes do respetivo comercializador de energia. Trata-se de um modelo que após a publicação do Decreto-Lei 363/2007, veio a perder algum interesse visto que as tarifas pagas pela energia produzida têm vindo a descer anualmente. Na figura seguinte mostra-se o modelo de funcionamento de uma UPP.

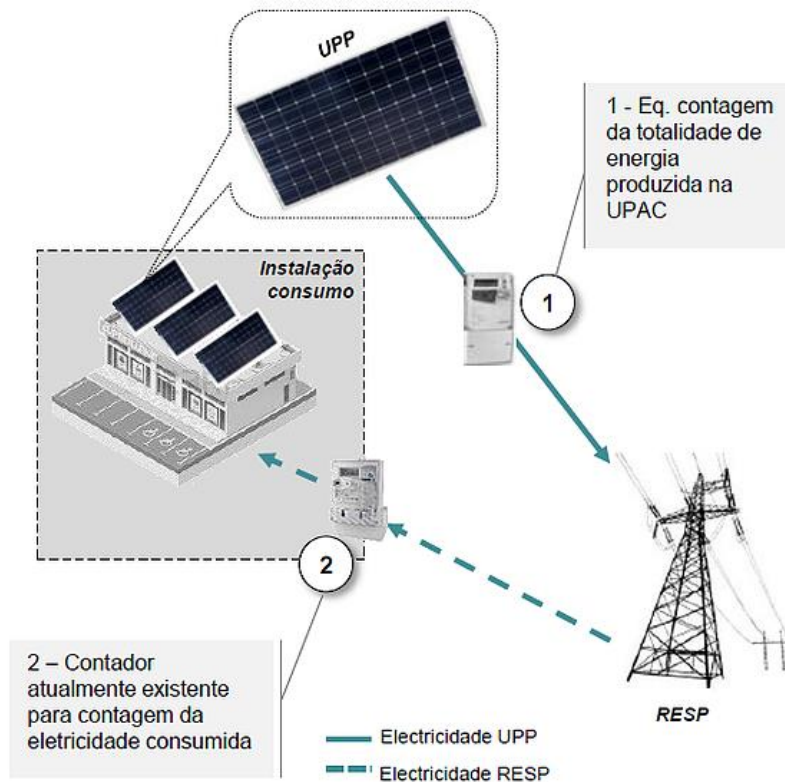


Figura 8 - Modelo de funcionamento de uma UPP [9]

4.2 Funcionamento dos Sistemas Fotovoltaicos

A energia fotovoltaica é a designação dada a qualquer tipo de captação de energia luminosa proveniente do sol, e consequente transformação dessa energia em energia útil para utilização no nosso dia-a-dia.

Esta energia é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade através do chamado “Efeito Fotovoltaico”. Este efeito foi descoberto em 1839 por Edmund Becquerel, que descobriu o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de um eletrólito, produzida pela absorção da luz. Ao longo dos anos vierem a ser feitas muitas descobertas nesta área levando a grandes desenvolvimentos deste tipo de tecnologia, as tecnologias atualmente utilizadas foram descobertas por volta dos anos 50 nos Laboratórios BELL e RCA [10] [11].

De modo a perceber-se ao certo do funcionamento deste efeito fotovoltaico tem que se ter também uma noção de como e de que forma esta energia solar chega até nós.

Todos os dias a Terra recebe energia solar vinda do nosso Sol por forma da de radiação eletromagnética, energia formada através da fusão nuclear que nele ocorre. A energia é transmitida por radiação sob forma de ondas eletromagnéticas, como se pode ver na figura seguinte, cerca de metade desta energia é emitida como luz visível na parte de frequência mais alta do espectro eletromagnético e o restante na do infravermelho próximo e como radiação ultravioleta [12] [11].

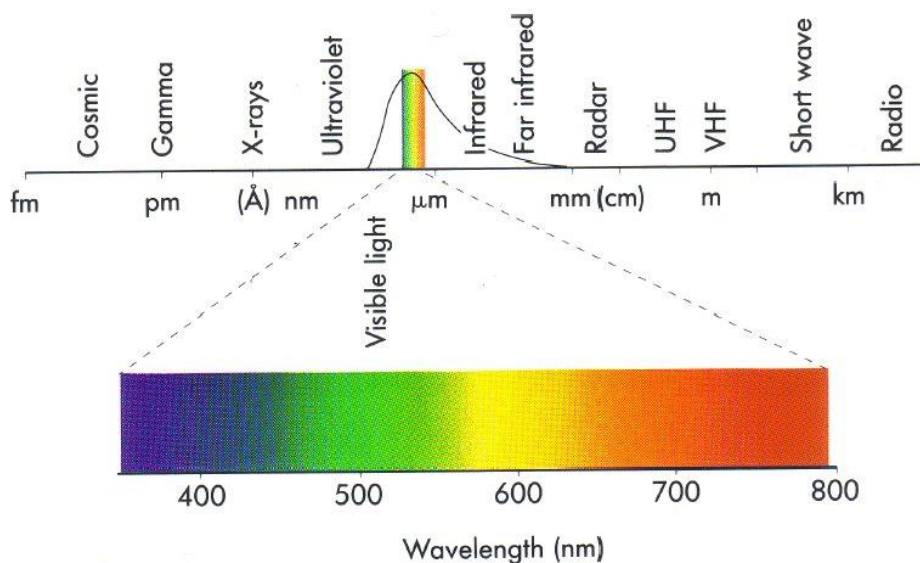


Figura 9 - Espectro eletromagnético do Sol [13]

Existe vários tipos de radiação solar:

- Direta – é a radiação que atinge diretamente a superfície terrestre;
- Difusa – é a componente da radiação que é desviada em diferentes direções pelos constituintes da atmosfera;
- Refletida – esta componente da radiação é refletida pela superfície terrestre (albedo), e pelos objetos que a circundam [14].

Existe também vários aspectos principais que influenciam esta interação que a luz tem com a superfície da terra:

- Efeitos na atmosfera de absorção e reflexão;
- Variação da humidade, nuvens, poluição, etc.;
- Latitude do local [12].

4.2.1 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é o processo de conversão de energia solar em energia elétrica. Este efeito ocorre quando um fóton de energia adequada (1,1 eV para o Si) incide na região de uma célula, fazendo o elétron ser transferido da camada de valência para a camada de condução, deixando uma lacuna na camada de valência. O elétron é atraído para o lado negativo (região N), gerando assim uma diferença de potencial entre as regiões n e p de aproximadamente 0,6 Volts para Si. Baseado no princípio do efeito fotoelétrico explicado por Albert Einstein em 1921, que se enuncia em seguida:

“Consiste na emissão de elétrons (abandono da órbita em torno do núcleo) por um material, geralmente metálico, quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz) de frequência suficientemente alta, que depende do material.” [11].

Na figura seguinte é possível ver o modelo das bandas de energia.

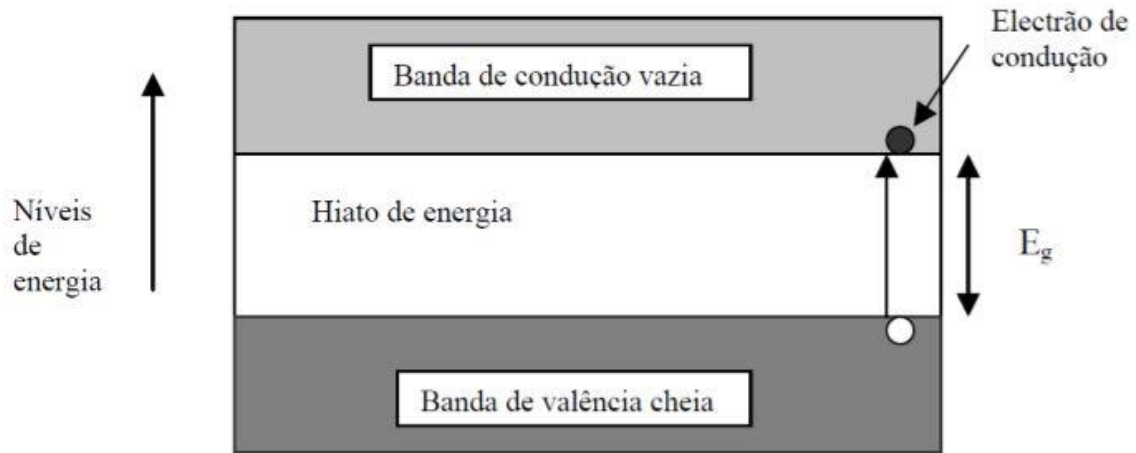


Figura 10 - Modelo das Bandas de Energia [11]

Este resultado pode ser compreendido se se considerar que a radiação eletromagnética é um feixe de partículas, os fótons, cada um com uma energia igual a $h\nu$ [11].

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

$$c = \lambda\nu \quad (2)$$

Em que:

E → Energia do fóton

c → Velocidade da luz = 3×10^8 m/s

h → Constante de Planck = $6,62 \times 10^{-34}$ J.s

λ → Comprimento de onda

ν → Frequência da radiação "ni"

4.2.2 Células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas permitem a conversão direta de energia luminosa proveniente do sol em energia elétrica. Estas células geralmente são compostas por duas camadas de silício altamente purificado. Numa camada contém uma mistura de cristais de Si dopados com Boro e outra de Si dopados com Fósforo, obtendo assim uma junção p-n que permite “extrair” eletrões.



Figura 11 - Aspeto de uma Célula Fotovoltaica [15]

Os eletrões em excesso no silício tipo N migram para o silício tipo P (ficando esta camada com uma carga negativa) deixando atrás lacunas na camada n (ficando esta camada com uma carga positiva). Isto leva a que na prática é criado um campo elétrico inverso na região da junção p-n, negativo sobre uma camada do silício tipo P e positivo sobre uma camada do silício tipo N.

Um fóton com energia adequada penetra a célula na região da junção e forma-se um par (eletrão/lacuna). Este eletrão promovido tende a migrar para a camada de silício tipo N e a lacuna tende a migrar para a camada de silício tipo P, o eletrão viaja para o contacto frontal da célula, gera uma corrente elétrica no circuito externo e “reaparece” na camada de silício tipo P, onde se pode recombinar com uma das lacunas (que migraram para a camada tipo N viajando para o contacto traseiro da célula). Um fóton com uma quantidade de energia menor à necessária passa através da célula de modo e não fornece energia ao sistema durante o seu percurso. A anatomia de uma célula fotovoltaica é explicada na figura seguinte.

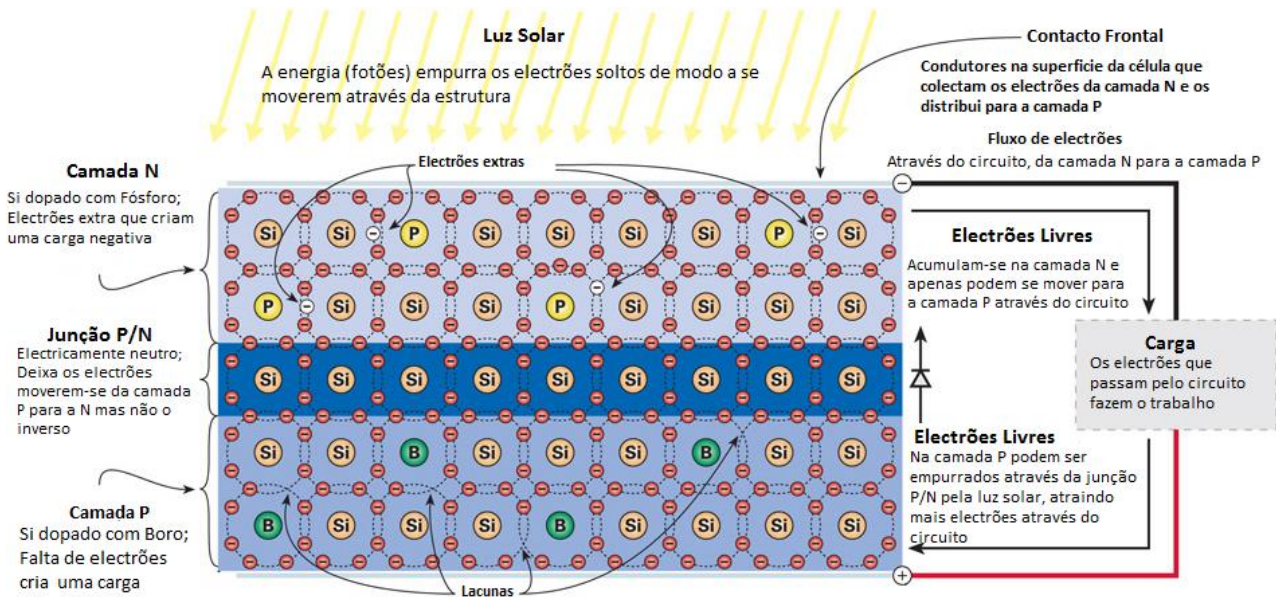


Figura 12 – Anatomia de uma célula PV [16]

E qual será o comprimento de onda máximo que um fotão pode ter para dar origem a um par elétron-lacuna no silício?

Para que os elétrons se desloquem terão de adquirir energia suficiente para passarem da banda de valência para a banda de condução; a esta energia chamamos hiato (*Band Gap*), sendo que para o Silício é de 1,12 eV ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$)

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$c = \lambda\nu$$

$$\lambda \leq \frac{hc}{E} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}}{1,12 \text{ eV} \cdot 1,6 \times \frac{10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}}} = 1,11 \times 10^{-6} \text{ m} = 1110 \text{ nm} \quad (3)$$

A frequência mínima é dado por:

$$\nu \geq \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}}}{1,11 \times 10^{-6} \text{ m}} = 2,7 \times 10^{14} \text{ Hz} \quad (4)$$

O desenvolvimento das células fotovoltaicas tem vindo a basear-se na sua maioria nas células de silício, contudo, existe outros tipos de células fotovoltaicas [11]:

- Células de 1^a geração:
 - 80% a 90% do mercado
 - Células convencionais de Si monocristalino (60% do mercado), Si multicristalino (40% do mercado)
- Células de 2^a geração:
 - 10% a 20% do mercado
 - Filmes finos de Si amorfo, de compostos policristalinos CuInSe₂, CdTe e de GaAs.

Na figura seguinte mostra-se uma comparação feita em laboratório entre as melhores células atuais de 1^a e 2^a geração, assim como os módulos usando essa tecnologia.

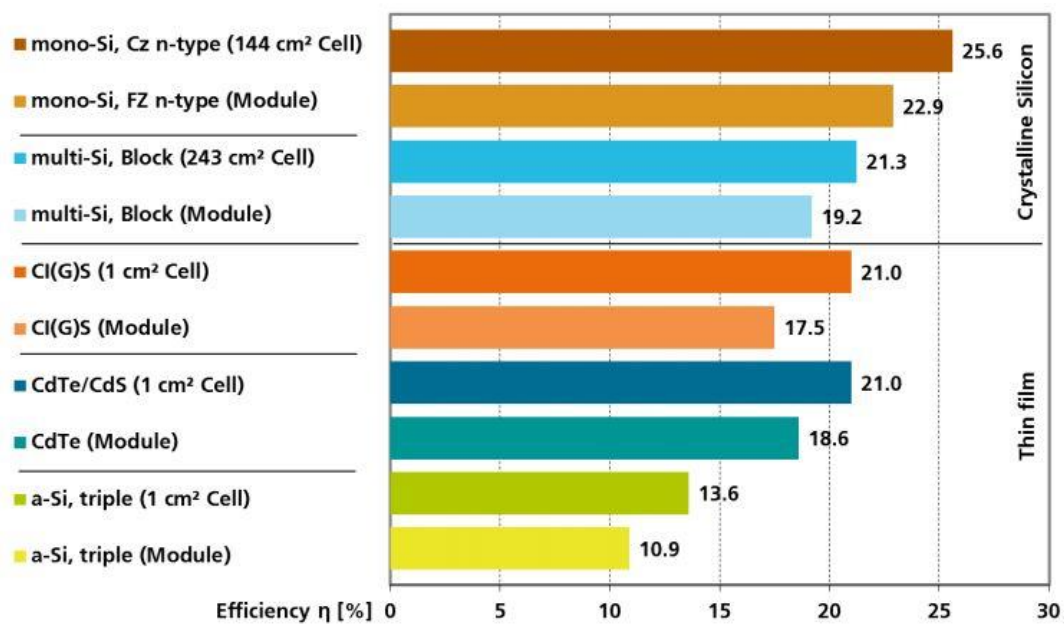


Figura 13 - Comparação entre células (1^a e 2^a geração) e módulos de laboratório [4]

- Células de 3^a geração:
 - Células fotoelectroquímicas;
 - Células orgânicas e plásticas;

Na figura seguinte mostra-se uma comparação temporal da eficiência entre as várias tecnologias em desenvolvimento.

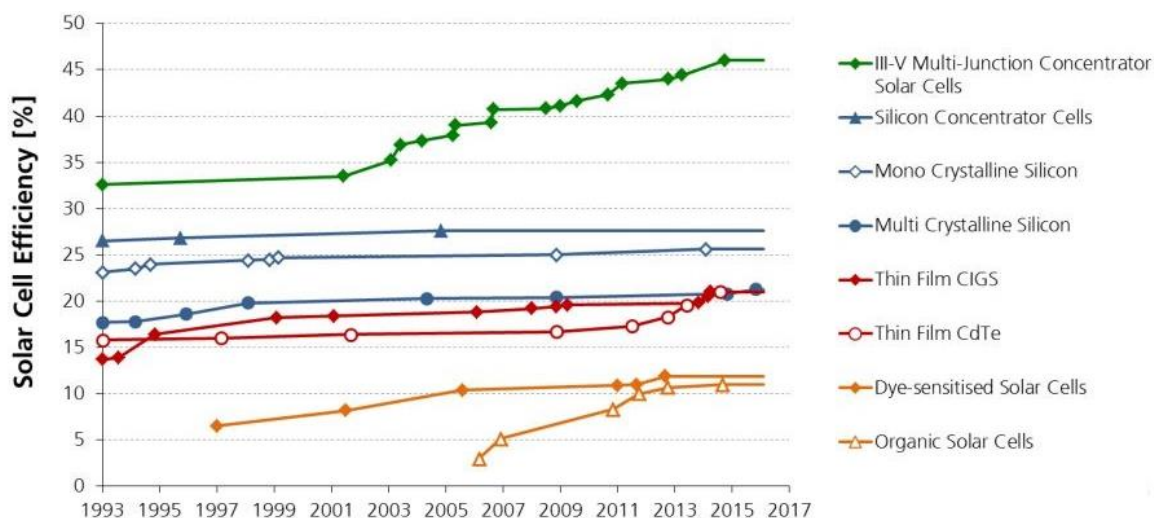


Figura 14 - Gráfico comparativo da eficiência entre tecnologias em desenvolvimento [4]

4.2.3 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico ou painel fotovoltaico trata-se essencialmente de uma matriz de células fotovoltaicas, ligadas entre si para que se obtenham os valores elétricos que se pretende. Os restantes componentes serviram para dar a proteção mecânica e elétrica, rigidez dielétrica e transporte da energia do interior do módulo para o seu exterior. Na figura seguinte mostra-se a anatomia de um módulo fotovoltaico.

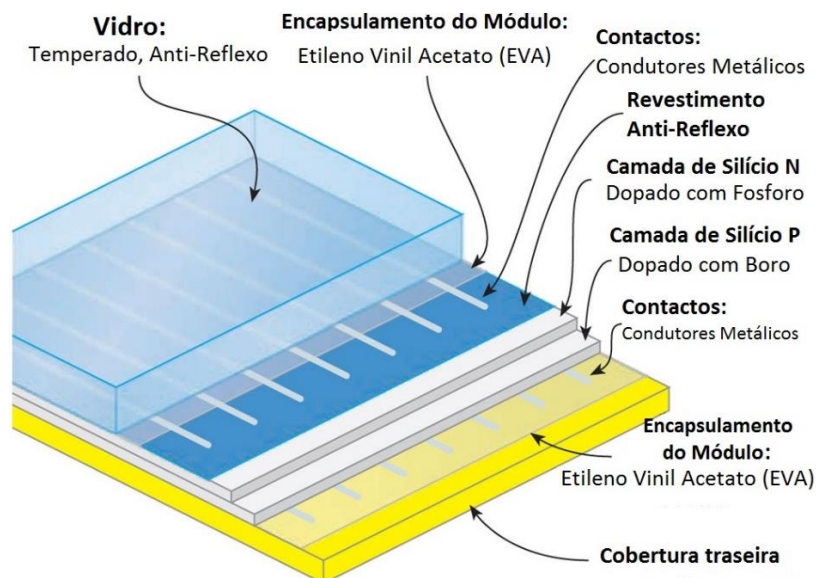


Figura 15 - Anatomia do Módulo Fotovoltaico [16]

Geralmente os módulos têm uma moldura geralmente feita em alumínio, que serve assim como suporte mecânico, sendo aqui onde os módulos terão as fixações. Esta moldura é visível na figura seguinte.



Figura 16 - Módulo Fotovoltaico com e sem moldura [17]

De modo a encaminhar todos os condutores que provêm das células fotovoltaicas, é necessário furar a parte traseira do módulo, sendo fixada uma caixa de junção, junto dos pontos de entrada dos cabos. Nestas caixas de junção, normalmente contêm díodos de *by-pass* ligados em anti-paralelo com uma série de células. Estes são usados para evitar a criação de pontos quentes causados por correntes inversas entre séries de células. Caso aconteça alguma avaria ou sombreamento em alguma das células, esta série ou séries são anuladas. Na figura seguinte mostra-se uma destas caixas de junção.



Figura 17 - Caixa de junção de um módulo fotovoltaico [11]

Em relação ao seu comportamento elétrico, os módulos como já foi dito, tratam-se simplesmente de uma matriz de células, que são dispostas e ligadas entre si de modo a gerarem os valores elétricos que se pretende. Deste modo, as características das células e o seu comportamento irão se refletir nas características elétricas do módulo, como por exemplo na sua eficiência, durabilidade, etc.. Os módulos têm como principais características o seguinte:

- Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})
- Corrente de Curto-Circuito (I_{sc})
- Potência Máxima (P_m)
- Tensão de Potência Máxima (V_{mp})
- Corrente de Potência Máxima (I_{mp})

As condições de referência (CTS) para se obter as curvas características dos módulos são definidas para radiação de $1000\text{W}/\text{m}^2$ (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de 25°C na célula [11].

Na imagem seguinte pode-se ver as curvas características de uma célula fotovoltaica.

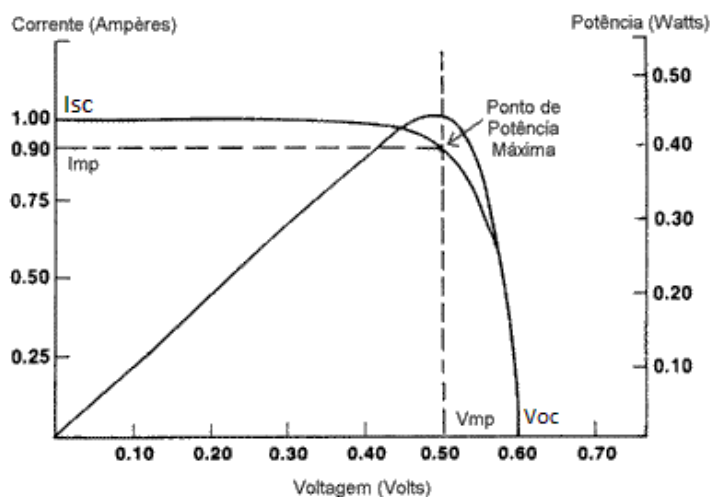


Figura 18 - Curvas características I-V e P-V das células fotovoltaicas [18]

O Ponto de Potência Máxima (MPP), trata-se do ponto da curva característica onde a célula solar funciona à máxima potência. Sendo que para este ponto estão potência P_{MPP} , a corrente I_{MPP} e a tensão V_{MPP} . O valor da potência MPP é fornecido em W_p .

Os principais fatores que influenciam as características elétricas de um painel são a intensidade luminosa e a temperatura das células. Quanto à intensidade luminosa, a corrente gerada pelos módulos aumenta de forma linear com o aumento da intensidade luminosa. Mas por outro lado, o aumento da temperatura das células faz com que a eficiência do módulo desça [11]. Nas figuras seguintes é possível ver o efeito que a luminosidade e a temperatura tem nas curvas de funcionamento das células.

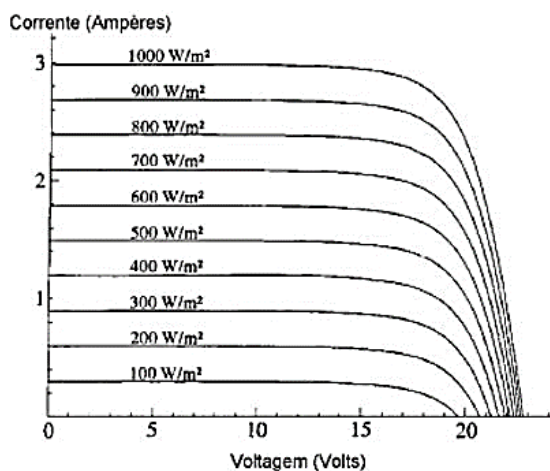


Figura 19 - Efeito causado pela variação de intensidade luminosa [18]

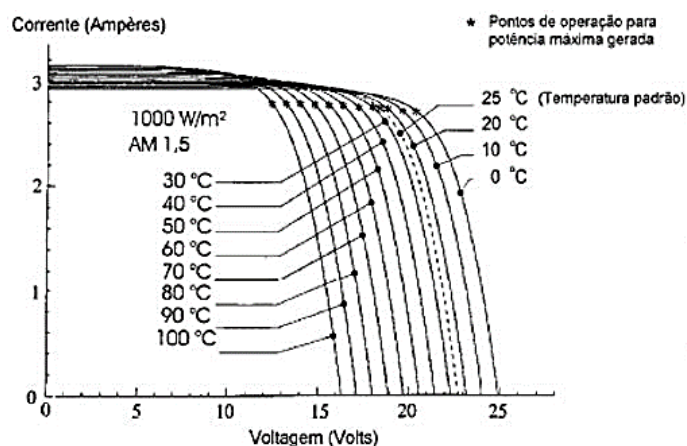


Figura 20 - Efeito causado pela temperatura na célula [18]

Os parâmetros mais importantes das células solares são os seguintes:

Tabela 5 - Principais parâmetros de uma célula solar

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Descrição
Potência:	P		
MPP (Ponto de máxima Potência)	P_{MPP}	W_p	Potência máxima sob as condições de referência CTS (Potência Nominal).
Eficiência	H	%	Rácio entre a energia fornecida pela célula e a irradiância solar.
Fator de Forma	FF		O Fator de Forma compara a qualidade das células solares, compreendido geralmente entre 0.5 e 0.85.
Tensão:	U_L		
Tensão MPP	V_{MPP}	V	Tensão no ponto MPP (Tensão Nominal).
Tensão de circuito aberto	V_{OC}	V	Tensão de circuito aberto, geralmente especificada para as condições de referência CTS: tensão que a célula fornece quando ambos os terminais não estão ligados a uma carga.
Corrente:	I_k		
Corrente MPP	I_{MPP}	A	Corrente no ponto MPP (Corrente Nominal).
Corrente de curto-circuito	I_{SC}	A	Corrente de circuito aberto, geralmente especificada para as condições de referência CTS: tensão que a célula fornece quando ambos os terminais não estão ligados a uma carga.

Por forma a criar uma maior unidade do ponto de vista elétrico e mecânico, os módulos fotovoltaicos são combinados entre si através de ligações em série e em paralelo. Os módulos ligados em série constituem as *Strings*.

Numa *string*, as tensões dos módulos soma-se e a corrente é limitada pela célula mais fraca ao nível da produção elétrica. Esta limitação deve-se à não existência de dois módulos iguais, mesmo sendo da mesma marca. Quando existem diferenças elétricas entre módulos (que podem ser causadas por células defeituosas ou sombreamentos) vai haver uma perda de potência. Na figura seguinte é possível ver o efeito da ligação em série dos módulos.

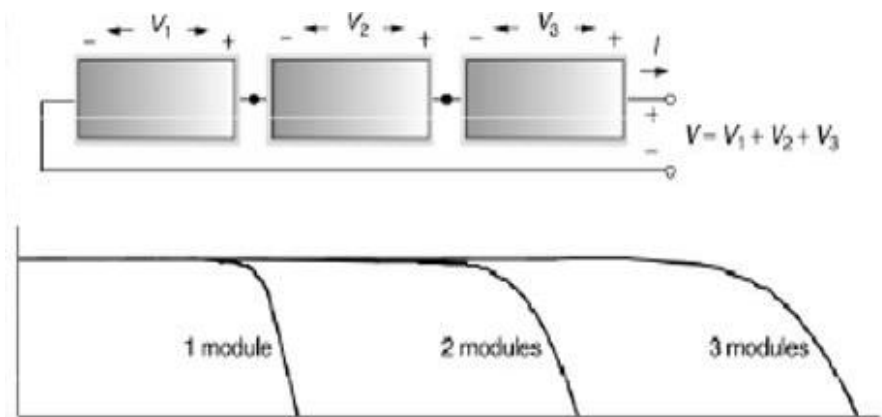


Figura 21 - Ligação em série de módulos fotovoltaicos [11]

Em paralelo somam-se as correntes e mantém-se a tensão aos terminais do conjunto, como se pode ver na figura seguinte.

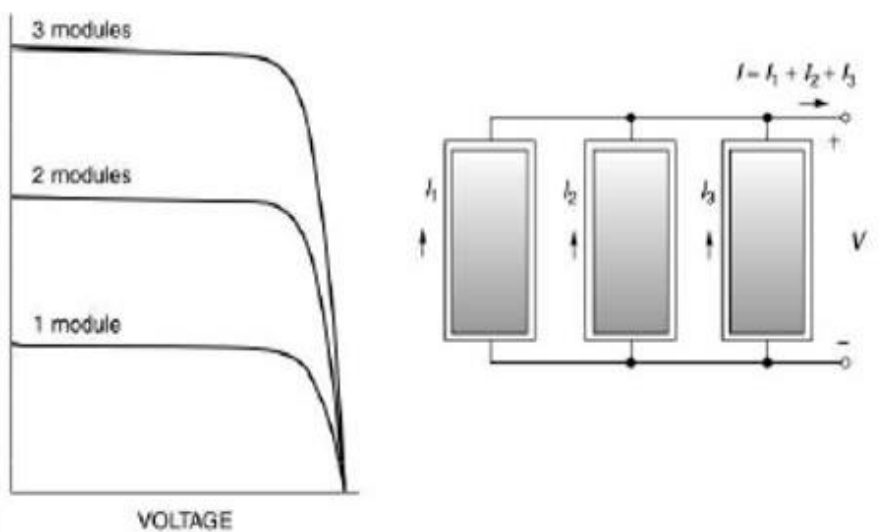


Figura 22 - Ligação em paralelo de módulos fotovoltaicos [11]

4.2.4 Inversores

Os inversores são, a par com os módulos fotovoltaicos, os principais componentes de uma instalação fotovoltaica. Como se pode ver na figura seguinte, estes estabelecem a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede AC ou carga AC. A sua tarefa passa principalmente por converter o sinal elétrico em DC do gerador fotovoltaico em sinal elétrico em AC, ajustando esse sinal para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado.

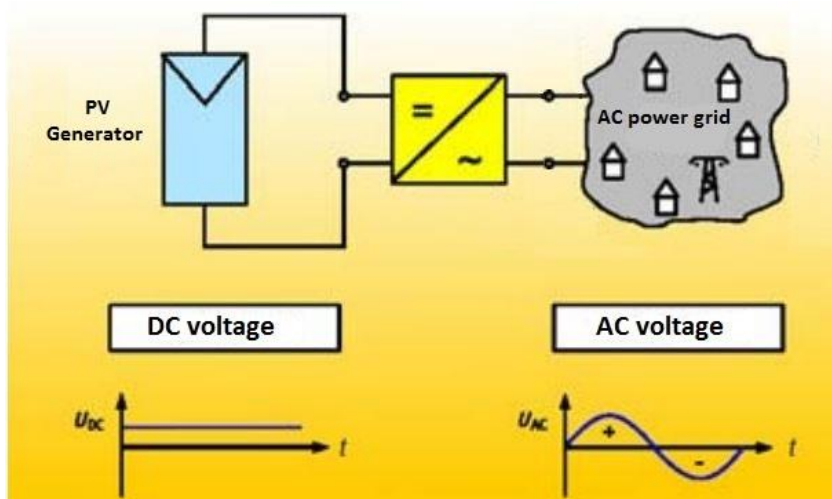


Figura 23 - Diagrama de ligação com a rede de um sistema fotovoltaico [19]

Estes equipamentos são também conhecidos por conversores DC/AC. Estes equipamentos utilizando os mais modernos dispositivos eletrónicos, permitem a conversão para corrente alternada com perdas bastante reduzidas.

Podemos dividir os inversores em dois grupos, dependendo da aplicação que estes sistemas terão, havendo então uma distinção entre os inversores para sistemas ligados à rede (*Grid-Tie*) e os inversores para sistemas isolados da rede (*Off-Grid*). Mais recentemente começou a surgir uma nova família no mercado, os chamados inversores híbridos. Estes inversores combinam as vantagens de sistemas *Grid-Tie* e *Off-Grid*, fazendo uma gestão inteligente de toda a energia. Durante o estágio tive oportunidade de poder explorar e realizar testes com os vários tipos de inversores.

4.2.4.1 Inversores *Grid-Tied*

No caso dos inversores *Grid-Tied*, a sua principal tarefa consiste em fazer a conversão do sinal elétrico DC do gerador fotovoltaico num sinal elétrico AC, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado. Nos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede, o inversor é ligado à rede elétrica principal de forma direta ou através da instalação do serviço elétrico do prédio.

Com uma ligação direta, a eletricidade produzida é injetada diretamente na RESP. Com a ligação à instalação do prédio, a energia que será gerada é em primeiro lugar consumida no prédio, e excedente injetado na rede. Este tipo de configuração é a configuração utilizada no modelo de autoconsumo, onde os sistemas são dimensionados de modo a que se injete o mínimo possível na rede. Na figura seguinte representa-se a configuração de um sistema ligado à rede.



Figura 24 – Configuração de um sistema *Grid-Tie* [20]

Nos sistemas fotovoltaicos com potências até cerca de 5 kWp, são construídos de forma geral como sistema monofásico. Para sistemas de maior potência, a alimentação será trifásica, e ligada ao sistema de alimentação trifásico. Nestes casos os inversores vêm geralmente equipados com tirístores. Pode-se ver na figura seguinte, dois inversores para sistemas ligados à rede elétrica.



Figura 25 – Inversores do tipo Grid-Tie [20] [21]

De modo a produzir a maior potência possível, o inversor deve funcionar no ponto MPP do gerador fotovoltaico. O ponto MPP do gerador fotovoltaico muda de acordo com as condições meteorológicas. Para isto, a maioria dos inversores utiliza um sistema de rastreamento MPP que garante que o inversor é constantemente ajustado ao ponto MPP. Este sistema de rastreamento MPP consiste, basicamente num conversor DC/DC ligado em série com o inversor, que ajusta a tensão de entrada do inversor em função do nível de tensão MPP.

O ponto MPP, tal como já foi falado anteriormente, trata-se do ponto da curva característica da célula onde esta funciona à sua máxima potência.

Os inversores solares mais modernos são capazes de realizar as seguintes funções:

1. A conversão da corrente DC gerada pelo gerador fotovoltaico em corrente AC, de acordo com os requisitos técnicos e de segurança que estão estipulados para a ligação á rede;
2. Ajuste do ponto operacional do inversor ao MPP do gerador fotovoltaico (rastreamento do ponto MPP);
3. Registo de dados operacionais e sinalização (ex.: visualizadores, armazenamento de dados, transferência de dados);
4. Dispositivos de proteção AC e DC (ex: proteção de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobretensões e proteção da interligação com a rede recetora);
5. Limitação de potência.

Dentro dos inversores *Grid-Tied* ainda os podemos dividir em dois grupos. Os inversores comutados pela rede e os inversores auto-controlados.

No caso dos inversores comutados pela rede, estes são constituídos basicamente por uma ponte comutada de tirístores. Cada par de tirístores da ponte recebe de forma alternada um impulso, sincronizado com a frequência da rede elétrica. Uma vez que os tirístores apenas podem comutar para o estado de condução, mas não conseguem por si só passar ao estado de bloqueio, é necessário a intervenção da tensão da rede para forçar os tirístores a passar ao estado de bloqueio. É possível visualizar na figura seguinte o esquema do princípio de funcionamento deste tipo de inversor.

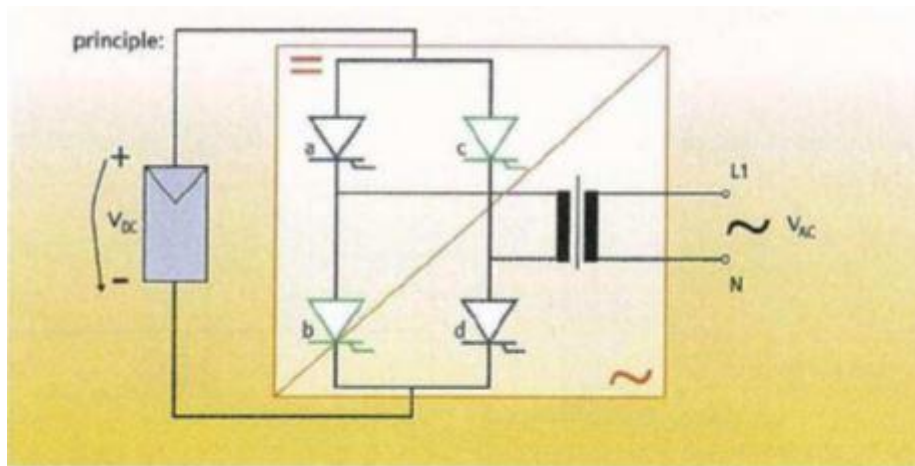


Figura 26 – Princípio de funcionamento de inversores comutados pela rede [19]

Os inversores auto-controlados utilizam modulação por largura de pulso (PWM) para gerar uma onda sinusoidal AC com a amplitude e frequência que podem ser controladas. Dependendo do nível de tensão e desempenho do sistema podem ser usados MOSFET, Transístores de Junção Bipolar, GTO e IGBT. Como se pode ver na Figura 28, a modulação por largura de pulso é gerada através da comparação de uma onda triangular V_{tri} (de frequência constante, e que estabelece a frequência de comutação do inversor) com um sinal de controlo $V_{controlo}$. O sinal de controlo é uma onda sinusoidal, é utilizado para modular o *duty cycle* e tem uma frequência f_1 que é a frequência desejada à saída do inversor [22]. Comparando estas duas ondas, como se pode ver na Figura 28, os transístores $TA+$ e $TA-$ irão mudar de estado de forma a criar o sinal PWM.

É possível visualizar nas figuras seguintes o esquema e o princípio de funcionamento deste tipo de inversor. Na Figura 27 representa-se o esquema dos inversores auto-controlados.

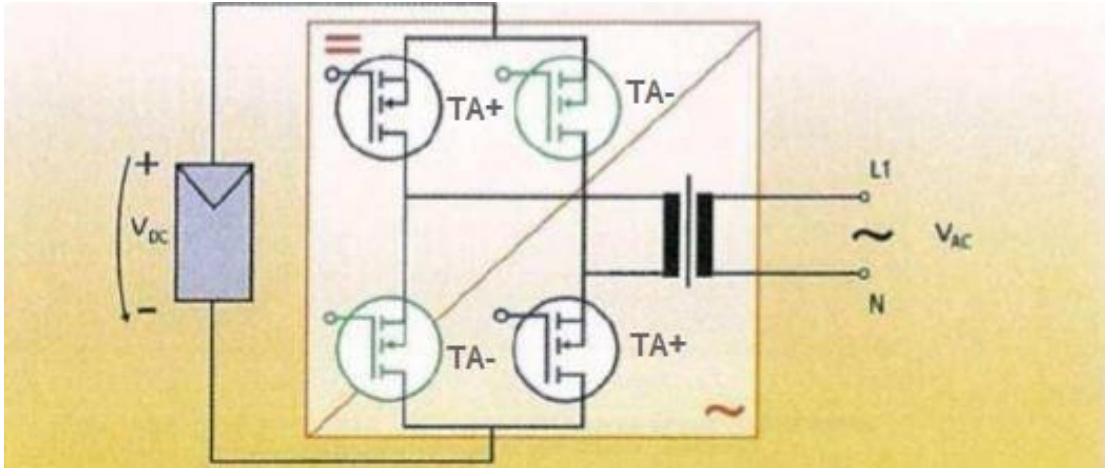


Figura 27 – Esquema dos inversores auto-controlados [19]

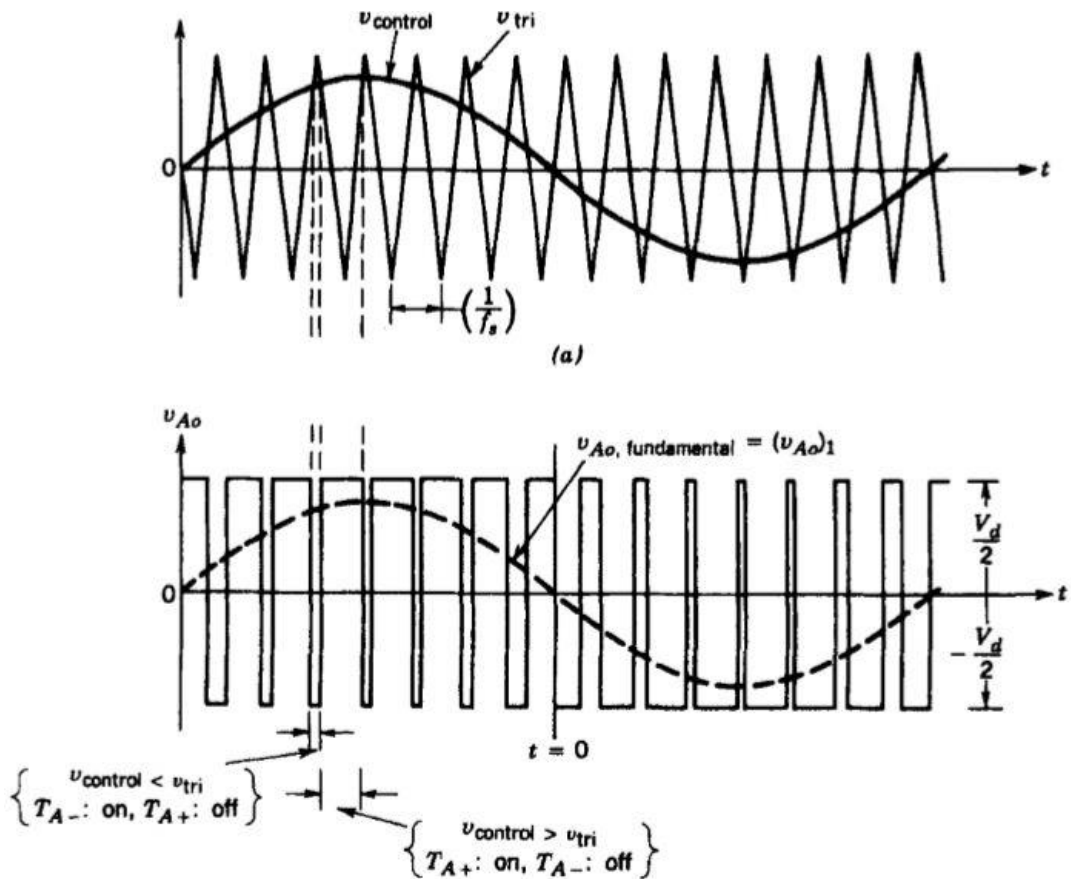


Figura 28 - Princípio de funcionamento dos inversores auto-controlados [22]

Principais características e propriedades dos inversores.

Uma das características dos inversores é a Eficiência de Conversão (η_{Con}). Este valor representa as perdas na conversão da corrente contínua (DC) em corrente alternada (AC). Inclui as perdas devido ao transformador (nos que possuem transformador), pelos comutadores eletrônicos e pelo controlador, pelos dispositivos de registo de dados operacionais, etc..

$$\eta_{Con} = \frac{\text{Potência de saída efetiva}}{\text{Potência de entrada efetiva}} = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \quad (5)$$

Outra característica é a eficiência de rastreamento η_{TR} . Os primeiros inversores possuíam um método de controlo de ponto fixo, o que levava a uma quebra da eficiência deste sempre que ocorria qualquer variação das condições meteorológicas. O ajuste deste ponto em função das condições meteorológicas era feito numa faixa de valores bastante apertada.

Nos atuais inversores ligados à rede, estes devem garantir a perfeita adaptação às curvas características (curvas I-V), mesmo com as variações meteorológicas que mudaram o ponto MPP. A capacidade que o inversor tem de ajustar o seu ponto de trabalho ideal é chamado de eficiência de rastreamento.

$$\eta_{TR} = \frac{\text{Potência de entrada efetiva instantânea}}{\text{Potência máxima instantânea do gerador PV}} = \frac{P_{dc}}{P_{pv}} \quad (6)$$

Neste caso, a flutuação do ponto operacional causado pelo acoplamento indesejado da frequência da tensão de rede no lado DC, deve ser tão pequena quanto possível. Estes efeitos manifestam-se com maior relevo nos inversores sem transformador.

Outra característica é a eficiência estática, esta eficiência é obtida pelo produto entre as eficiências de conversão e a de rastreamento.

$$\eta_{inv} = \eta_{Con} \times \eta_{TR} \quad (7)$$

Além das características acima mencionadas, a tabela seguinte mostra as características e propriedades que geralmente aparecem nos *datasheet* dos inversores *grid-tie* [23] [24].

Tabela 6 – Características dos inversores grid-tie [24]

Parâmetro	Símbolo	Un	Descrição
Potência Nominal DC	$P_{n DC}$	W	Potência PV para a qual o inversor foi dimensionado
Potência Máxima PV	$P_{DC max}$	W	Máxima potência PV que o inversor aceita
Potência Nominal AC	$P_{n AC}$	W	Potência AC que o inversor pode fornecer em modo contínuo
Máxima Potência AC	$P_{AC max}$	W	Máxima potência em AC que o inversor pode fornecer por tempo limitado
Potência Parcial	$\eta_{10\%}$	%	Eficiência parcial com 10% da potência DC nominal
	$\eta_{30\%}$	%	Eficiência parcial com 30% da potência DC nominal
	$\eta_{50\%}$	%	Eficiência parcial com 50% da potência DC nominal
	$\eta_{100\%}$	%	Eficiência parcial com 100% da potência DC nominal
Fator de Potência	$\cos \varphi$		Fator de controlo da potência reativa, que deverá ser superior a 0,9.
Potência de ativação	P_{on}	W	Potência PV para ligar o inversor
Potência de desativação	P_{off}	W	Nível de potência PV a partir da qual o inversor é automaticamente desligado
Potência em Stand-By	$P_{stand-by}$	W	Energia da rede consumida em modo de espera, antes de entrar no modo noturno
Potência noturna	P_{night}	W	Energia da rede consumida pelo inversor durante a noite
Tensão DC Nominal	$V_{n DC}$	V	Tensão PV para a qual o inversor foi dimensionado
Faixa de Tensões MPP	V_{MPP}	V	Intervalo de tensões de entrada onde o inversor ainda opera
Tensão DC Máxima	$V_{DC max}$	V	Tensão PV máxima que o inversor suporta
Tensão de Desativação	$V_{DC off}$	V	Mínima tensão PV para a qual o inversor ainda opera
Faixa de Tensão AC	V_{AC}	V	Faixa de tensão de rede em que o inversor opera em ajuste automático
Tensão AC Nominal	$V_{n AC}$	V	Tensão nominal do inversor, que para os padrões europeus é 230V
Corrente DC Nominal	$I_{n DC}$	A	Corrente PV para a qual o inversor é dimensionado
Corrente DC Máxima	$I_{DC max}$	A	Máxima corrente PV que o inversor suporta na entrada
Corrente AC Máxima	$I_{AC max}$	A	Injetada na rede num curto período
Corrente AC Nominal	$I_{n AC}$	A	Máxima corrente que o inversor injeta na RESP em modo contínuo
Taxa de distorção harmónica	k	%	Fator de qualidade da corrente ou da tensão fornecida (calculasse a partir do rácio entre o valor RMS das componentes harmónicas e a fundamental), deve ser inferior a 5 %
Nível de ruído		dB (A)	Dependendo do tipo e da classe de desempenho, o ruído em operação pode atingir diversos níveis – isto deve ser tomado em conta ao escolher a localização do inversor
Propriedades			
Categoria de proteção IP			Na altura de escolher a localização do inversor deve-se ter em conta: Categoria: IP5_ proteção contra o depósito de poeiras IP6_ proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos e poeiras IP_1 proteção contra a queda vertical de gotas de água IP_3 Proteção contra a queda de água de gotas de água até 60° da vertical IP_4 Proteção contra projeções de água IP_5 Proteção contra jatos de água de baixa pressão IP_7 Proteção contra imersão em água. Um inversor situado exterior deve ter, pelo menos, IP54
Controlo do isolamento			O inversor monitoriza a resistência de isolamento do sistema fotovoltaico
Estabilidade em curto-circuito e em circuito aberto			Diz respeito ao comportamento do inversor no caso de acontecer uma falha
Proteção de polaridade			O inversor deve estar protegido contra a eventualidade de uma ligação incorreta dos seus polos (por exemplo, durante a instalação)
Serviço, garantia			Serviço, garantia
Aquisição/armazenamento de dados			Registo de dados operacionais relevantes, deteção e sinalização de avarias, e armazenamento de dados
Interface com o PC, software, ou modem ligado à rede elétrica			Interface RS-232 ou RS-485 PC, software de análise, modem que pode transmitir sinais de dados através da linha de potência
Indicador visual, documentação			Ampla oferta de equipamento auxiliar, facilidade de uso, documentação para o cliente e para o responsável técnico pela instalação

4.2.4.2 Microinversores

Os microinversores são inversores projetados para funcionarem com um ou dois painéis solares, fazendo-os funcionar de forma independente. Tratam-se de inversores de baixas potências (potências até 500W), que são colocados e ligados diretamente na parte traseira de cada módulo fotovoltaico. Convertem de forma individual a corrente contínua produzida pelo painel, em corrente alternada. Na figura seguinte representa-se o princípio de funcionamento de um microinversor.

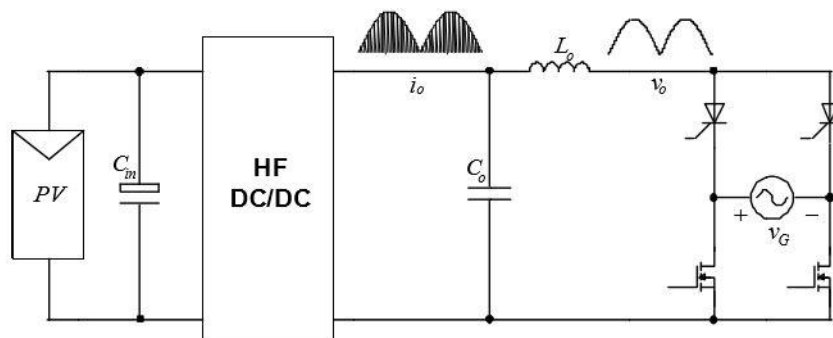


Figura 29 - Princípio de funcionamento de um microinversor [25]

Atualmente este é o tipo de inversor utilizado para sistemas de baixa potência. Até 1500W são vendidos *kits* com estes inversores devido à sua facilidade de instalação e preços mais reduzidos, comparando com outro tipo de inversores. Na Figura 30 temos um microinversor e o respetivo esquema de ligações.



Figura 30 - Esquema de ligações: 1 - Fichas PV (+/- DC) 2 - Entrada AC (pode-se ligar um inversor em serie) 3 - Saída AC [25]

Estes inversores tem as seguintes principais vantagens:

- Fácil instalação;
- Sem configuração de parâmetros;
- Grande fiabilidade do sistema;

- Pouco ruído gerado pelo sistema PV;
- Monitorização e análise remota *online*;
- Maximização da produção do sistema.

As principais desvantagens são:

- Maior custo comparado com outros inversores (a partir dos 1,5kW);
- Mais baixa eficiência comparado com outros inversores de *string*.

Na figura seguinte é possível ver o esquema de interligação entre os microinversores e os módulos fotovoltaicos.

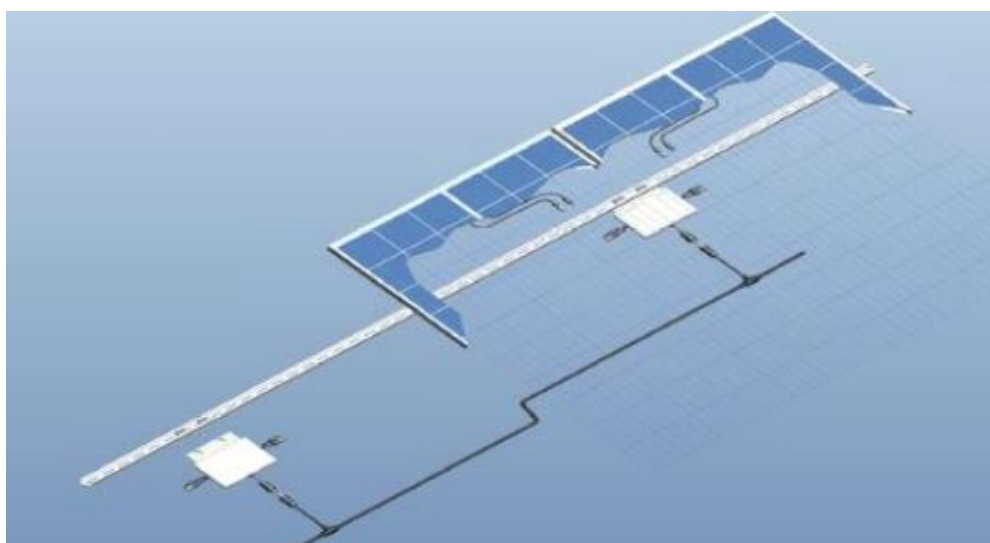


Figura 31 - Ligação entre os microinversores com os módulos fotovoltaicos [25]



Figura 32 - Instalação utilizando microinversores instalada nas instalações da CRITICAL KINETICS

Na tabela seguinte indica-se um exemplo de características de um microinversor.

Model	MAC500
Input Data (DC)	
Recommended Input Power (STC)	300W*2 *
DC voltage operating range	18V~50V
MPPT Voltage Range	28V~40V
Maximum DC Current	10A
Output Data (AC)	
Rated AC Power @ 25°C	500W
Maximum AC Current	2.27A
AC voltage Range	184V~275V
AC frequency	50Hz (47Hz~51Hz)/60Hz (59Hz~61Hz)
Power Factor	>0.99
Current THD	<3.5%
Maximum Units Per Branch	8
Efficiency	
Peak Inverter Efficiency	95.5%
CEC Weighted Efficiency	94.5%
Nighttime Power Consumption	<120mW
Mechanical Data	
Enclosure Environmental Rating	Outdoor - IP67/NEMA6
Operating Temperature Range	-40°C~+65°C
Dimensions (WxHxD)	237mm x165mm x 25mm
Weight	3.2kg
Features	
PV Panel type	Mono/Polycrystalline Si 60/72 cells*
Communication	PLCC with eGate/eLog unit
Compliance	UL1741&CSA C22.2 No107.1-01IEEE1547
Warranty	15 - 25 Years

Tabela 7 - Exemplo características de um microinversor [25]

4.2.4.3 Inversores *Off-Grid*

Tal como o nome indica, estes inversores são inversores que são usados para sistemas que estão desligados da rede, ou seja, sistemas isolados (exe. Sistemas de bombagem, casas isoladas, iluminação, estações meteorologias, etc..). Nestes sistemas isolados usam-se baterias para realizar o armazenamento de energia, onde a sua carga e fornecimento de energia é efetuado em DC. Estes inversores autónomos, possibilitam o uso dos mais variados tipo de equipamento elétrico AC, alimentado a 230V, 50Hz, a partir da rede DC. Na Figura 33 apresenta-se a configuração de um inversor *off-grid*.

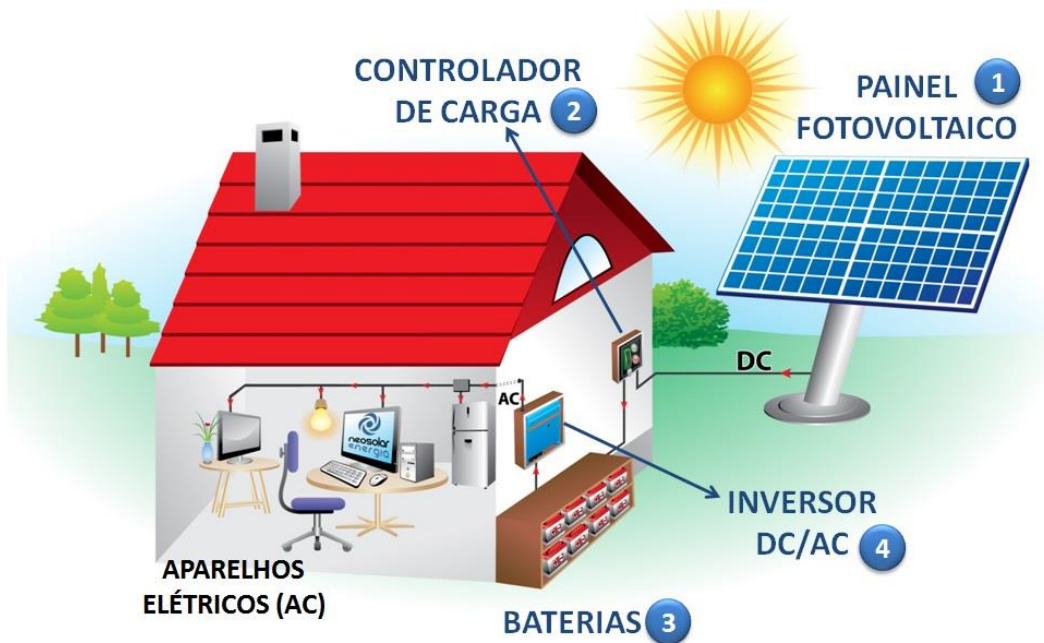


Figura 33 - Configuração de um sistema *Off-Grid* [26]

Quando se trata de um inversor *off-grid* de qualidade, estes inversores distinguem-se pelas seguintes características [19]:

- Corrente alternada sinusoidal, com a tensão e a frequência estabilizadas;
- Excelente eficiência de conversão, mesmo para operações em regime de carga parcial;
- Elevada tolerância às correntes de arranque;
- Elevada tolerância perante as flutuações de tensão da bateria;
- Proteção contra uma profunda descarga da bateria;
- Baixo consumo em *standby* (espera), deteção automática da presença de uma carga;

- Proteção contra curto-circuitos no lado da saída;
- Elevada compatibilidade eletromagnética (boa supressão c);
- Baixo conteúdo harmónico;
- Proteção contra sobretensões.

Para a construção das ondas sinusoidais, existem dois métodos. O primeiro usando princípio da modulação por largura de impulso (PWM), ou os mais baratos que transformam a corrente DC numa onda quadrada na frequência de 50 HZ e a elevam para uma tensão de 230V através de um transformador.

4.2.4.4 Inversores Híbridos

Durante o estágio tive a oportunidade de poder testar vários destes tipos de inversores. São uma nova família de inversores que começaram a entrar no nosso mercado à relativamente pouco tempo.

A utilização destes inversores permite a criação de um sistema fotovoltaico híbrido, juntando as características e vantagens dos dois sistemas falados anteriormente (*Off-grid e Grid-Tie*). Trata-se de uma combinação de tecnologias que permite a criação de um sistema fotovoltaico com a rede elétrica ou com uma outra fonte de energia, podendo também trabalhar em conjunto com um banco de baterias.

Deste modo é possível trabalhar nos seguintes métodos de funcionamento:

- *Grid-Tie*;
- *Grid-Tie* com armazenamento;
- *Off-Grid*.

Estas características permitem ter uma grande versatilidade, podendo o utilizador configurar o seu sistema de várias formas de acordo com o que for mais vantajoso, gerindo as várias fontes de energia, gerindo prioridades. Esta versatilidade pode ser utilizada por exemplo em sistemas de autoconsumo (sistema fotovoltaicos para consumo próprio), permitindo a partir de um sistema fotovoltaico, conseguir o máximo de autoconsumo da potência disponível e independência do máximo de energia possível. Utilizando um banco de baterias, o excesso de energia solar pode assim ser utilizado, durante a noite ou quando as condições para a produção são pobres ou impossíveis. Quando não for possível gerar energia fotovoltaica e

não houver energia no banco de baterias, estes inversores poderão ser alimentados pela rede ou por um gerador de emergência [1] [27]. A figura seguinte mostra a configuração de um sistema híbrido.

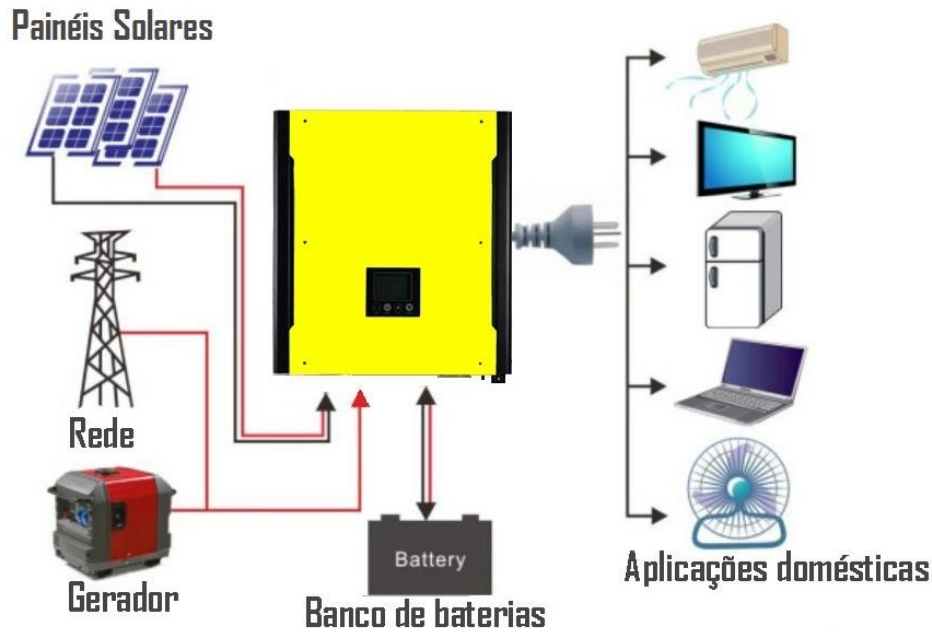


Figura 34 - Configuração de um sistema híbrido [1]

4.2.5 Baterias

Devido a, por norma, não haver coincidência dos consumos com a produção de energia solar, o armazenamento de energia é um tema que tem vindo a ser bastante falado quando o tema se trata do aproveitamento da energia solar nos sistemas autónomos ou em sistemas residências.

No caso dos sistemas autónomos, como o dimensionamento é feito de modo a que o gerador fotovoltaico produza energia suficiente para alimentar as cargas durante o dia, de noite é importante que a energia solar produzida em excesso durante o dia, seja armazenada de modo a ser utilizada durante a noite. Na maioria dos sistemas domésticos, a energia solar que é produzida durante o dia também não é, normalmente aproveitada na totalidade, podendo assim armazenar essa energia para utilização durante a noite, como é mostrado na figura seguinte. Nos sistemas fotovoltaicos, a capacidade de armazenamento situa-se geralmente entre 0,1 kWh e 100 kWh, embora já tenham sido implementados alguns sistemas na gama dos MWh [28].

Na imagem seguinte é possível ver um exemplo do funcionamento de um sistema de autoconsumo com armazenamento.

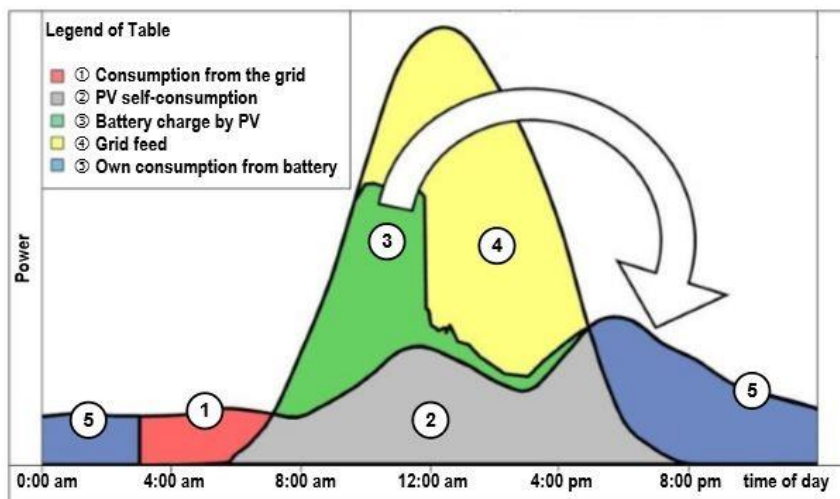


Figura 35 - Funcionamento sistema de autoconsumo com armazenamento [27]

A bateria é de um dispositivo eletroquímico de uma ou mais células para armazenamento de energia. Cada célula contém um terminal positivo (cátodo) e um terminal negativo (ânodo). O processo químico de troca de elétrons é conhecido como oxidação-redução. Como se pode ver nas figuras seguintes, quando a bateria é ligada a uma carga acontece o processo inverso, produz uma corrente contínua produzida pela conversão de energia química em energia elétrica [23].

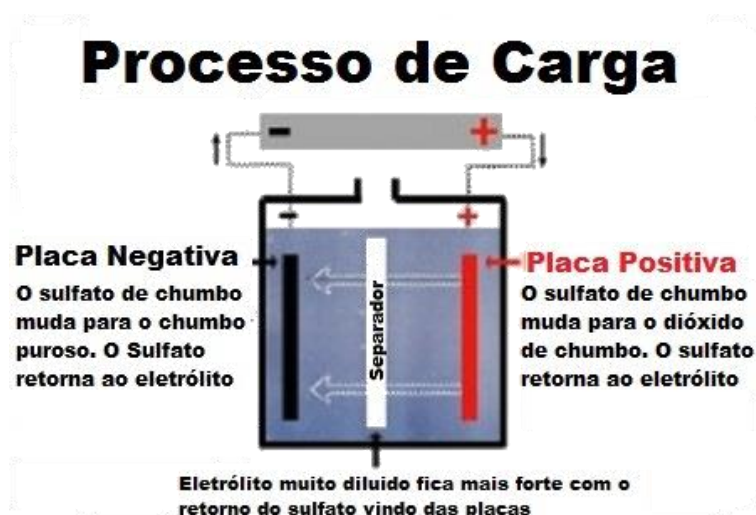


Figura 36 - Processo de carga de uma bateria eletroquímica [29]

Processo de Descarga:

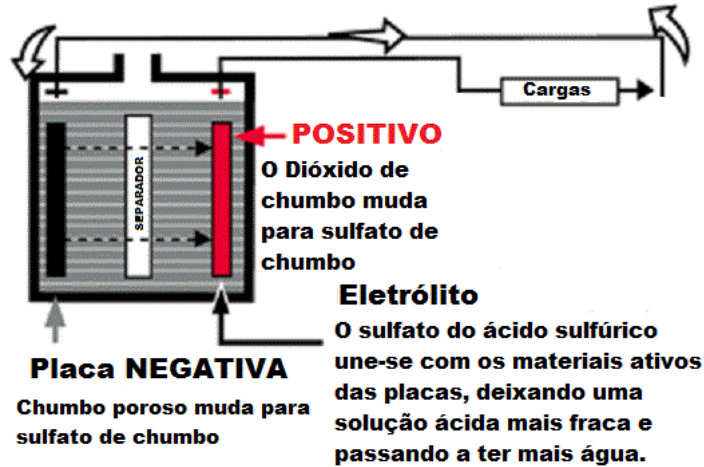


Figura 37 - Processo de descarga de uma bateria eletroquímica [29]

Existe diversos tipos de baterias constituídas por vários materiais diferentes, no setor dos sistemas fotovoltaicos são normalmente usadas as seguintes:

- Ácido-Chumbo (Pb-acid) e AGM;
- Baterias estacionárias (OPzS e OPzV);
- Iões de lítio (Li-íon).

4.2.5.1 Principais características das baterias

- **Autodescarga** (em repouso há correntes internas - perda de carga por mês) – Todas as baterias descarregam-se gradualmente, através de processos internos quando não estão em uso. A este processo dá-se o nome de autodescarga;
- **Capacidade**, em A.h - exprime a intensidade máxima de corrente que teoricamente uma bateria é capaz fornecer durante uma hora;
- **Capacidade Nominal** (C_N)- é a estimativa do número de amperes-hora que pode ser retirado de uma célula ou bateria, para valores especificados de corrente de descarga, temperatura e tensão de corte;
- **Energia específica**, em W.h/kg - energia total que a bateria pode fornecer por unidade de massa, para uma determinada taxa de descarga;
- **Densidade energética**, em W.h/l - energia total que a bateria pode fornecer por unidade de volume para uma determinada taxa de descarga;

- **Ciclo de vida** - número de vezes que a bateria pode ser descarregada e carregada durante a sua vida útil. Quando a bateria não consegue apresentar uma carga superior a 80% da carga nominal, considera-se o seu ciclo de vida terminado;
- **Tensão nominal** - Tensão média de uma bateria durante o processo de descarga com uma determinada taxa de descarga a uma determinada temperatura;
- **Tensão de circuito aberto** - Tensão nos terminais de uma bateria para um determinado estado de carga e a uma determinada temperatura, na condição em que não há corrente entre os terminais;
- **Tensão final de descarga** – Tensão em que a descarga da bateria deve ser interrompida, a partir da qual pode causar danos irreversíveis à bateria;
- **Profundidade de descarga (DoD)** - A profundidade de descarga indica quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga $100 \times \{Ah/(Ah)_n\} [\%]$ aquando do carregamento;
- **Estado de carga (state of charge - SOC)** - É a relação entre a tensão máxima esperada aos terminais da bateria e a tensão atual. O estado de carga de uma bateria nunca deve ir abaixo dos 50% pois isso irá danificá-la, podendo mesmo inutilizá-la. A temperatura a que a bateria é sujeita é outra condicionante para o SOC, pois a altas temperaturas o SOC aumenta e a temperaturas baixas o SOC diminui.

4.2.5.2 Baterias de ácido de chumbo

Existe diversos tipos de baterias eletroquímicas, mas em sistemas solares as baterias de ácido de chumbo é a tecnologia mais utilizada para o armazenamento de curta duração. Estas baterias têm a melhor relação preço eficiência, e podem assegurar elevadas e reduzidas correntes de carga com uma boa eficiência. Na figura seguinte é possível ver como é constituída uma bateria de chumbo.

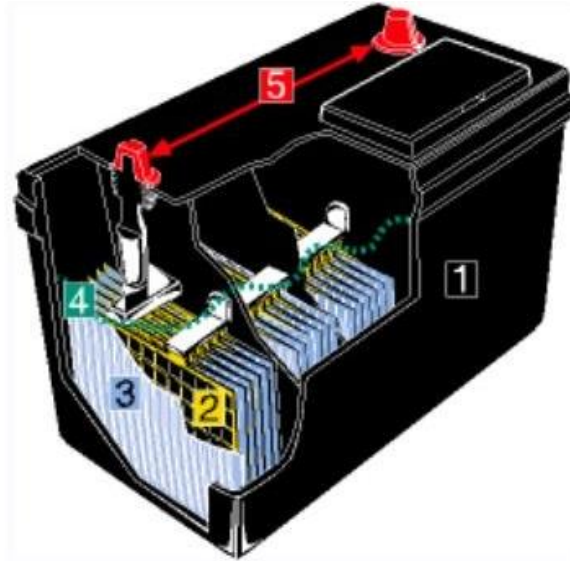


Figura 38 - Constituição bateria de chumbo [29]

- 1 – Recipiente de plástico resistente;
- 2 – Placas internas de chumbo (Positivas e negativas);
- 3 – Placas separadores de material sintético poroso;
- 4 – Solução diluída de ácido sulfúrico e água (Eletrólito), conhecido como ácido de bateria;
- 5 – Terminais de ligação (chumbo).

Em relação ao seu funcionamento, no circuito externo, a corrente elétrica é resultado do movimento de eletrões e no interior de cada célula a corrente é resultante da deslocação de iões de um eléctrodo para outro. Durante a fase de carga e descarga o eletrólito reage com as matérias ativas das placas positiva e negativa (dióxido de chumbo na positiva e chumbo poroso na negativa), gerando assim a movimentação de electrões. Durante a fase de descarga, os electrões passam do eléctrodo negativo para o positivo, durante a descarga da bateria, a concentração de ácido sulfúrico no eletrólito diminui, aumentando a concentração de sulfato de chumbo. Esta reação acontece até que a bateria deixa de ser capaz de fornecer iões aos eléctrodos, o que significa que a bateria está descarregada. Invertendo o sentido da

corrente elétrica, a reação química no interior da bateria inverte-se, carregando novamente a bateria. O ânodo recebe os elétrons do circuito externo quando o acumulador está descarregado. O cátodo transfere os elétrons para o circuito externo quando o acumulador se descarrega [29] [30].

4.2.5.3 Baterias de GEL/AGM

As baterias de gel de chumbo, são uma versão melhorada da bateria de ácido de chumbo. No caso das baterias de gel, o ácido sulfúrico é imobilizado recorrendo a aditivos, passando a ter a consistência de um gel. Estas têm como principais vantagens os seguintes pontos [28]:

- Não tem problemas de estratificação e é caracterizada por reduzida sulfatação do ácido;
- Permite ciclos de descarga mais profundos;
- Possui tempo de vida útil superior;
- Não liberta gases, pelo que permite o seu uso mesmo para fracas condições de ventilação; O invólucro é completamente selado, isento de derrames, o que permite a instalação da bateria em qualquer posição e localização (barcos, caravanas de campismo, etc.);
- Não requer cuidados de manutenção, uma vez que não existe a necessidade de repor o nível do eletrólito durante o seu tempo de vida.

4.2.5.4 Baterias estacionárias (OPzS e OPzV)

As baterias OPzS e OPzV têm características construtivas semelhantes, as OPzS são baterias estacionárias com placas tubulares em liga Pb-Sb, tendo um eletrólito líquido e separados especiais, enquanto que as OPzV, são baterias estacionárias com placas tubulares, com eletrólito imobilizado em um gel e válvulas de segurança. A principal diferença para as baterias anteriormente descritas é a configuração dos elétrodos positivos, que são constituídos por placas tubulares envolvidas por tubos permeáveis por onde o eletrólito circula. Para profundidades de descarga de cerca de 80%, estas baterias apresentam vida cíclica superior a 1500 ciclos, sendo este valor superior ao das baterias de ácido de chumbo [23] [3]. Na figura seguinte é possível ver o aspeto de uma bateria estacionária. Na figura seguinte é apresentado o aspeto de uma bateria estacionária.



Figura 39 - Bateria OPzV [31]

4.2.5.5 Baterias de lítio (Li-íon)

As baterias de lítios são um tipo de bateria muito utilizada para equipamentos eletrônicos portáteis, como computadores, *smartphones* e veículos elétricos. Estas são baterias com elevada densidade energética e baixo peso, sendo por isso os grandes motivos da utilização nestes tipos de equipamentos.

Relativamente ao funcionamento destas baterias, como pode ver na Figura 40, o cátodo é normalmente um composto por um óxido de lítio-cobalto (LiCoO₂) a formar o elétrodo positivo. O ânodo é formado por Carbono poroso com a propriedade de receber e acumular iões de Lítio. Quando a bateria é carregada, os iões de Lítio movem-se através do eletrólito do elétrodo positivo para o negativo. Durante a descarga ocorre o processo inverso [23] [30].

Na Figura 40 representa-se o funcionamento das reações químicas numa bateria de lítio.

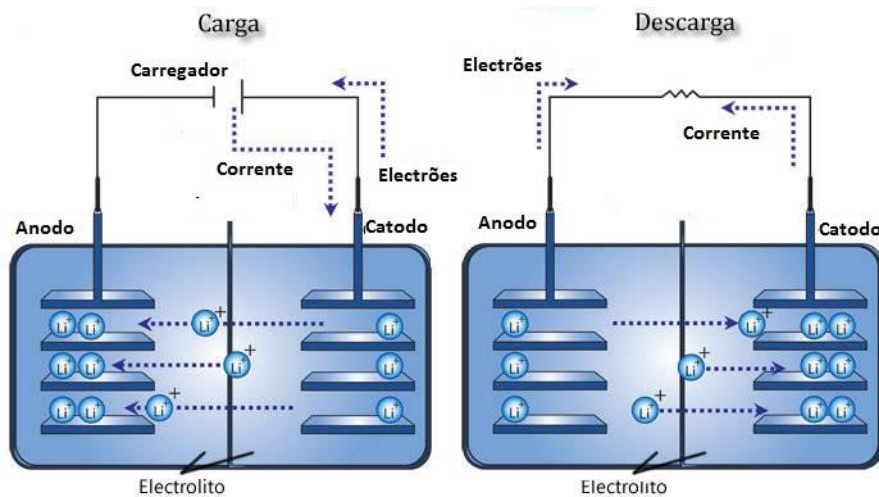


Figura 40 - Funcionamento das reações químicas numa bateria de Lítio [32]

Este tipo de baterias tal como as outras tem as suas vantagens e limitações. Em relação aos outros tipos de baterias, as baterias de lítio têm as seguintes vantagens:

- Densidade da energia elevada;
- Auto descarga relativamente baixa;
- Ausência do efeito memória;
- Flexibilidade modular – Possibilidade de produção em qualquer tamanho e forma.

Relativamente às limitações, estas são as seguintes:

- Requer circuito de proteção – O circuito da proteção limita a tensão e a corrente;
- A bateria é segura se não sobrecarregada;
- Sujeito ao envelhecimento, mesmo se não estiver em uso;
- Moderada corrente de descarga;
- Preço elevado de fabrico.

Apesar de não ser a tecnologia mais usada nos sistemas fotovoltaicos devido ao seu elevado preço, várias marcas têm vindo a apostar em novos sistemas que utilizam este tipo de bateria. Estas marcas aproveitam-se de algumas das características das baterias de lítio, como o reduzido peso, densidade energética e flexibilidade modular, para apresentar sistemas de armazenamento de energia fotovoltaica, neste caso projetado para sistemas de autoconsumo.

Estes novos sistemas permitem montar um sistema de autoconsumo a preços mais reduzidos que os bancos de baterias convencionais, mas também com um *design* bastante mais atraente, acabando com a necessidade de ser colocado num local mais escondido. Estes sistemas são modulares, pelo que podem ser facilmente ligados em serie de forma a termos a capacidade necessária que corresponde as necessidades do utilizador. Podemos dar como exemplo da Fronius Solar Battery, que é possível ver na figura seguinte, que em conjunto com o inverso híbrido da Fronius permite uma gestão inteligente da energia gerada pelo sistema fotovoltaico.



Figura 41 - Sistema de Autoconsumo com armazenamento da Fronius [21]

4.2.6 Controladores de Carga

Um dos componentes essenciais de um sistema autónomo é o controlar de carga das baterias. Estes têm como objetivo proteger as baterias contra cargas e descargas excessivas, aumentando deste modo a vida útil destas. Estes são componentes críticos em sistemas isolados devido à sua importância na conservação das baterias, isto porque caso exista uma falha destes, as baterias poderão sofrer danos irreversíveis. Os controladores devem ser dimensionados de acordo com o tipo de baterias que se irá aplicar no sistema fotovoltaico, isto porque os controladores de carga projetados para baterias de chumbo podem não ser adequados para baterias de lítio ou outras que se queiram aplicar [28] [23] [10].

As principais tarefas de um moderno controlador de carga são as seguintes:

- Otimização da carga das baterias;
- Proteção contra sobrecargas;
- Prevenção de descargas indesejáveis;
- Proteção contra descargas profundas;
- Informação do estado da carga.

Devido às baixas temperaturas, a tensão dos módulos poderão chegar aos 21V, ou a tensão em circuito aberto aos 25V; estes casos podem levar a que a bateria seja carregada a uma tensão demasiado elevada, levando a possíveis danos nas baterias, para isto não acontecer o regulador de carga efetua as seguintes tarefas [28]:

- Desligar o gerador fotovoltaico quando é ultrapassada a tensão máxima de carga;
- Estabelecimento de um curto-circuito no gerador fotovoltaico no caso dos controladores "Shunt";
- Soluções híbridas das duas anteriores recorrendo a PWM;
- Ajuste da tensão através de um controlador de carga MPP.

Existe 2 tipos de controladores de carga que são mais usados em sistemas fotovoltaicos:

- PWM – Estes controladores utilizam a tecnologia PWM usando *MOSFETs* ou Transístores de Potência para regular a carga das baterias; [28]

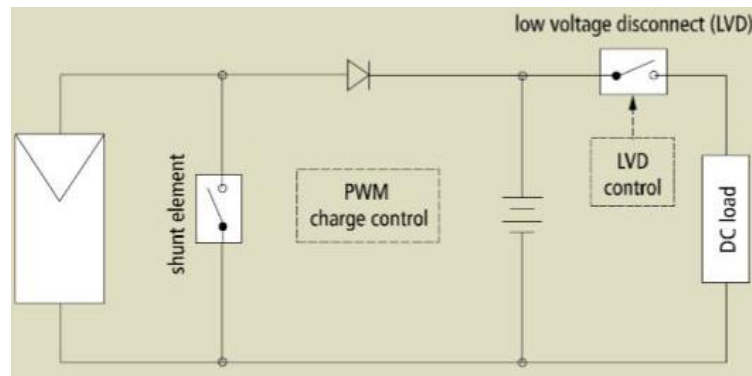


Figura 42 - Esquemático simplificado de um tipo de controlador de carga PWM [28]

- MPP - A regulação é executada pelo rastreador MPP, que ciclicamente varre a curva característica I-U do gerador fotovoltaico e determina o ponto MPP. Deste modo um conversor DC/DC regula-se de modo a tomar a máxima potência disponível do gerador fotovoltaico, ajustando por outro lado o sinal de saída em função da tensão de carga da bateria. Como é óbvio, a eficiência deste conversor deve ser tão elevada quanto possível dado que irá se notar no rendimento global do sistema [23].

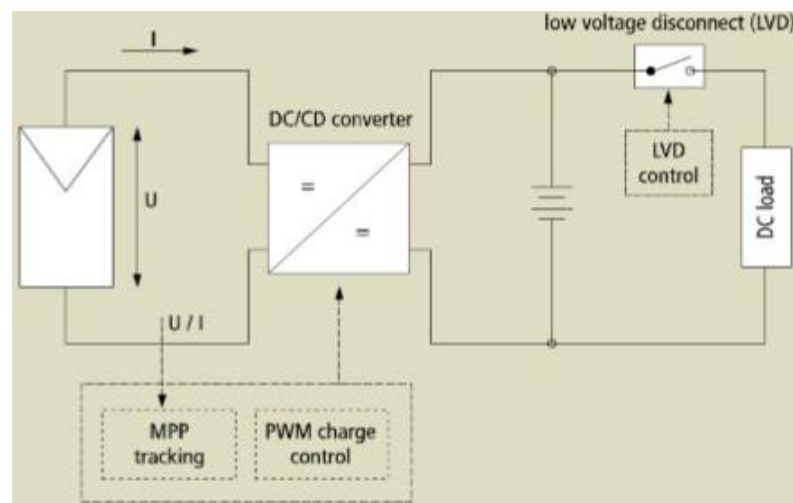


Figura 43 - Esquemático de um controlador de carga MPP [28]

4.3 Monitorização e Controlo de Sistemas Fotovoltaicos

Neste capítulo irei falar sobre sistemas de monitorização de sistemas fotovoltaicos. Estes sistemas tem como principais objetivos acompanhar o rendimento energético, o desempenho do sistema, identificar falhas de projeto ou avarias. Estes sistemas são muito importantes na eventualidade de ocorrer algum tipo de falha ou defeito, isto porque podem passar dias ou meses sem ir verificar a instalação. Isto terá grande influência na produção e como consequência nos resultados económicos da exploração. A resposta rápida a estes eventos irá permitir aumentar o rendimento do sistema PV.

Existem equipamentos diferentes para monitorização de sistemas PV, alguns que apenas registam os dados mais importantes, como a potência produzida ao longo do dia e os dados provenientes dos inversores. Outros que permitem já algum controlo do sistema, permitem também a análise de consumos da instalação; isto dá a possibilidade de nos casos de sistemas de Autoconsumo (para consumo próprio) maximizar a utilização da energia proveniente do fotovoltaico, ativando cargas nas alturas em que temos uma maior produção de energia solar.

Durante o estágio fiquei como responsável pelo apoio técnico e instalação de um destes equipamentos de monitorização, mais em concreto do sistema de monitorização e controlo Solar-Log. Além deste equipamento, tive também a possibilidade de instalar e testar outros equipamentos, como o e-Gate da Involar para os seus microinversores, o sistema de monitorização SMA SUNNY SENSORBOX que contém vários sensores das condições meteorológicas que trabalha em conjunto com a SUNNY WEBBOX, que trata da comunicação com os inversores e envia dados para os servidores *online* da SMA. Na Figura 44 mostra-se um Solar-Log, equipamento em que estive responsável pelo apoio técnico e instalação.

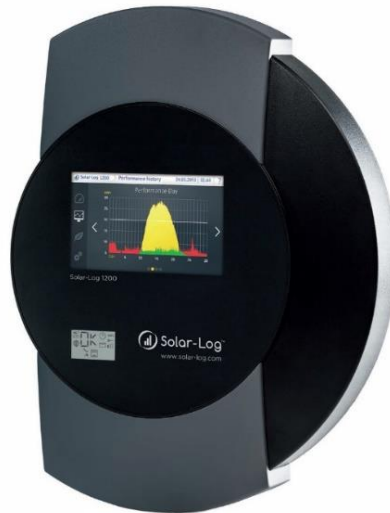


Figura 44 - Sistema de Monitorização Solar-Log [33]

O Solar-Log permite fazer a monitorização da energia consumida no local e da energia produzida pela instalação fotovoltaica. Deste modo, recorrendo a este equipamento não só é possível antecipar possíveis falhas que ocorram na instalação fotovoltaica, mas também analisar a forma como a energia é consumida no local, o que pode levar a uma redução do consumo energético do próprio edifício. Este equipamento tem como principais características as seguintes:

- Compatível com maior parte dos inversores, dependendo do modelo pode monitorizar sistemas com potência máxima de 2000kWp e até 100 inversores;
- Ligação de sensores de radiação, temperatura e velocidade do vento;
- Registo de dados de consumo e produção;
- Controlo de potência do sistema fotovoltaico;
- Ligação USB para *updates* e transferência de dados;
- Monitorização no ecrã tátil, *online* no computador ou no *smartphone*;
- Fácil instalação e configurações automáticas;
- Ideal para instalações de autoconsumo;
- Possível controlo de cargas.

O Solar-Log trata-se do equipamento ideal para sistemas de autoconsumo, devido às suas características e funções, que permitem uma constante monitorização da produção e consumos da instalação, mostrando diversos gráficos que possibilitam a comparação entre consumo e produção. Com estes dados é possível a gestão de cargas, ou até controlo de potência dos inversores (devido a características legais da instalação pode ser necessário a não injeção de energia na rede) [1] [33] [34]. A Figura 45 mostra o esquema de ligações num sistema de autoconsumo.

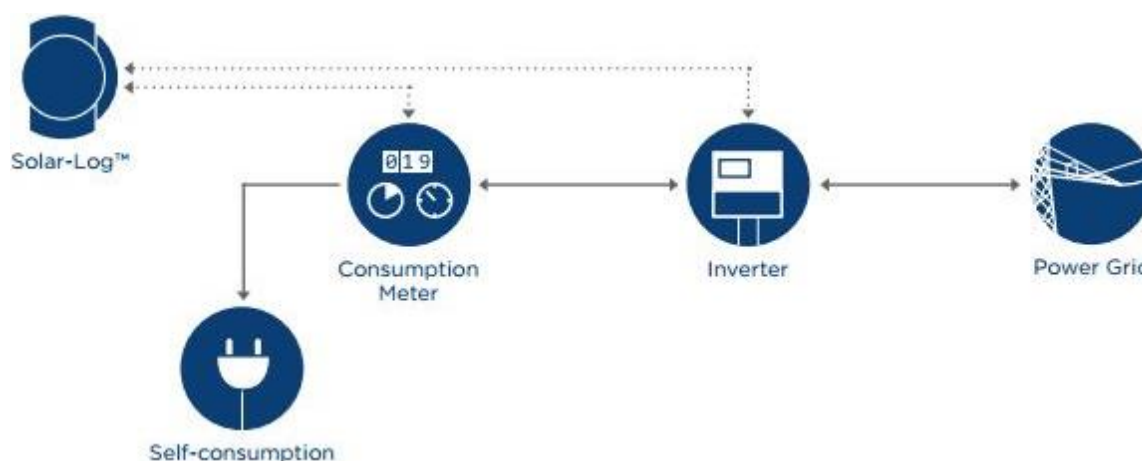


Figura 45 - Esquema de ligações do Solar-Log num sistema de autoconsumo [33]

Durante o período do estágio fiz a instalação de três equipamentos Solar-Log em três diferentes métodos de funcionamento. O primeiro tratou-se do sistema de autoconsumo de 1,5kWp nas instalações da CRITICAL KINETICS; aqui o objetivo era a monitorização da produção e consumos, e também a ativação de cargas utilizando uma tomada controlada via *wireless*. Para esta instalação foi utilizada a bancada da qual dei formação durante a aula prática do CIAF, o Solar-Log aqui utilizado foi a versão 1200 Meter que permite até 6 transformadores de corrente configuráveis para leitura de consumos ou produção. Pode-se ver a instalação do sistema de monitorização na figura seguinte.



Figura 46 - Instalação de autoconsumo com sistema de monitorização Solar-Log

O segundo equipamento foi instalado numa Unidade de Pequena Produção de 3,675kW; aqui o objetivo era a monitorização de produção, com envio de mensagens via *e-mail* e SMS em caso de avarias ou erros. Tratando-se de uma instalação num local isolado, sem acesso a internet, instalou-se um Solar-Log 300 GPRS que envia os dados da instalação para os servidores da Solar-Log através de um *modem* GPRS externo, permitindo assim que o equipamento seja ligado à internet via GPRS. Nas figuras seguintes mostra-se a instalação do Solar-Log e a instalação onde foi aplicado.



Figura 47 - Unidade de Pequena Produção de 3,675kWp

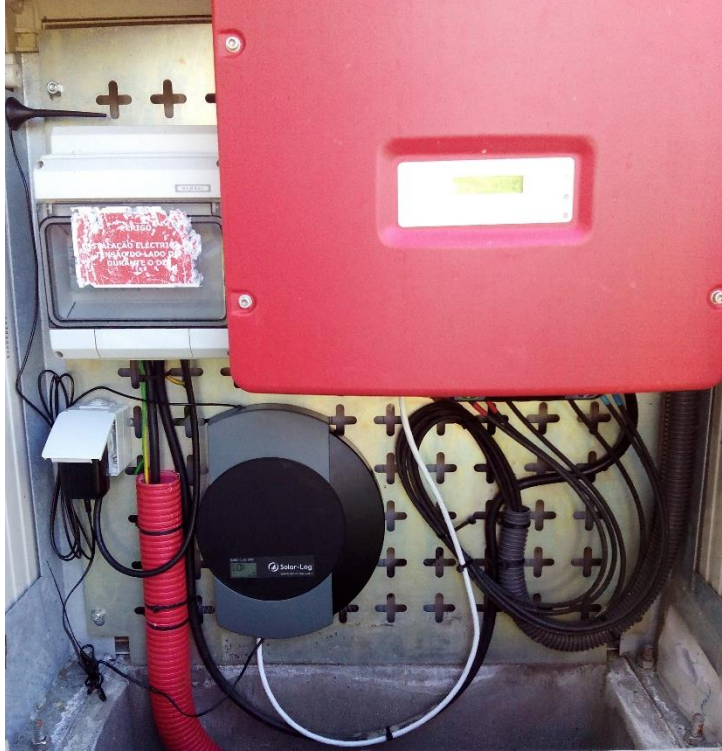


Figura 48 - Instalação do Solar-Log 300 GPRS

O terceiro equipamento foi um Solar-Log 2000 em conjunto com o dispositivo de medição de energia Janitza UMG 104. Aqui o objetivo era o controlo de injeção de energia de uma instalação de autoconsumo de 161 kWp constituída por 7 inversores de 23kW, que é possível ver nas Figuras Figura 49 e Figura 50. Devido a ser um projeto participado pelo Estado Português esta instalação não poderia injetar energia na rede elétrica.



Figura 49 - Instalação Fotovoltaica a ser monitorizada [35]

Devido à elevada potência do sistema fotovoltaico, bem como a potência consumida nas instalações onde este equipamento foi instalado (correntes aproximadas de 2000A), teve que se instalar um Solar-Log 2000 em conjunto o medidor de energia Janitza. Ao medidor de energia ficaram ligados 3 transformadores de corrente que medem os consumos da instalação e os enviaria via RS485 para o Solar-Log, enquanto este estaria também ligado via RS485 com os inversores, obtendo assim a produção da instalação fotovoltaica bem como controlo da energia produzida.

O controlo de não injeção de potência ativa é feito através da função “*X Percent Fixed Regulation*” da Solar-Log. Esta função oferece uma solução para a contornar a restrição de não injeção da energia fotovoltaica na rede. Para realizar esta função, apenas é necessário um contador de energia utilizado para monitorizar o consumo e para transmitir esses dados para o Solar-Log ou ter uma versão Solar-Log Meter que permite a ligação de transformadores de corrente. O Solar-Log calcula a quantidade de energia consumida (cargas) e a quantidade atual de energia que está a ser produzida pelos inversores. Se a diferença entre a produção e o consumo atual ultrapassar o valor máximo especificado, zero para o caso de não injeção, os inversores são regulados de acordo com essa diferença. Isto significa que um sistema fotovoltaico pode gerar continuamente a potência máxima instalada, tendo em conta a energia de autoconsumo e com ajustamento correto. Esta função é também apropriada para outros casos onde o operador de rede estipula potências de fornecimento á rede menores do que a potência de pico da instalação, como é o caso da Alemanha. No entanto, devido à existência de diferentes inversores, não pode ser garantido que nenhuma energia é fornecida para a rede na situação de redução para 0 kW [33]. Nas Figura 50 e Figura 51 é possível ver como ficou a instalação dos dois equipamentos, o Solar-Log e do analisador de energia.



Figura 50 - Instalação Solar-Log 2000 com controlo de injeção

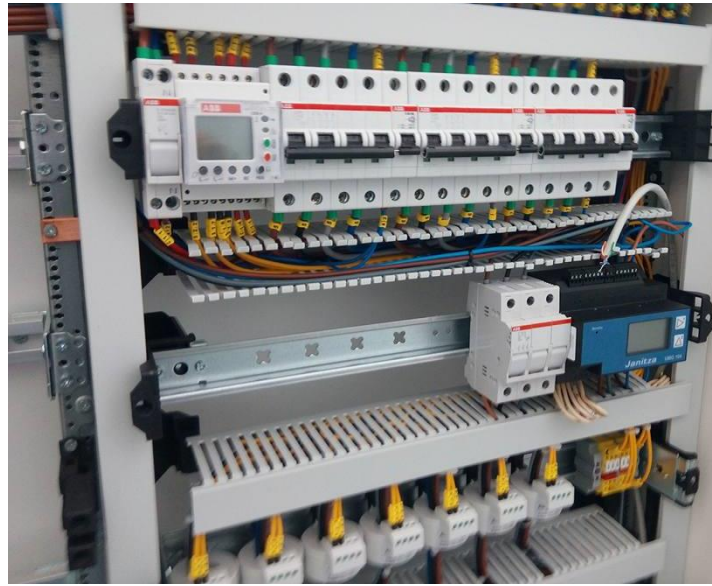


Figura 51 – Instalação medidor de energia Janitza UMG 104

5. Dimensionamento de Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico

Durante o período de estágio umas das minhas principais funções era o dimensionamento e o desenvolvimento de propostas comerciais de sistemas fotovoltaicos. O principal tipo de sistema que dimensionei e orçantei foi do tipo autoconsumo fotovoltaico, que são sistemas onde é necessário um maior planeamento de modo a dimensionarmos o sistema com as dimensões ideais para os consumos do local onde vai ser instalado.

Para obter conhecimento de como dimensionar e orçamentar um sistema de autoconsumo, foi-me dada a possibilidade de frequentar o curso CIAF, que como já foi falado anteriormente é lecionado toda a parte teórica dos sistemas fotovoltaicos, dimensionamento e análise de viabilidade económicas dos projetos de autoconsumo fotovoltaico.

Um projeto de um sistema de autoconsumo fotovoltaico é dividido em 3 fases:

1. Análise de consumos;
2. Dimensionamento do sistema;
3. Estudo de viabilidade económica do projeto.

Para ajudar nos passos 1 e 3, a CRITICAL KINETICS desenvolveu um conjunto de folhas designadas por CK PROSUMER; com estas folhas é possível fazer uma análise de consumos, gerando um ficheiro que é possível ser carregado no *software* de simulação PVSyst. Permite também realizar a análise de viabilidade económica, com base dos dados extraídos do *software* PVSyst e do valor do orçamento, montando vários gráficos que nos permite uma análise visual dos dados mais importantes e que ajudam na realização de uma proposta comercial.

5.1 Análise de Consumos

A análise dos consumos trata-se da primeira fase do projeto de dimensionamento de uma UPAC, com esta análise conseguimos determinar quais são as necessidades energéticas anuais do cliente, seja para uma empresa ou cliente doméstico.

Para a determinação destas necessidades energéticas geralmente é aconselhável a análise de um ano completo (para se poder analisar os consumos em todos os períodos do ano), sendo aconselhável para uma análise mais fidedigna os dados da telecontagem, isto porque nos possibilita a análise de consumos reais e das curvas de carga ao longo do dia. Para se ter acesso às matrizes existem várias formas dependendo do fornecedor de energia em questão. Na generalidade o cliente ou a empresa que esta a prestar o serviço terá de ter acesso à área do cliente na página *online* do comercializador de energia com qual o cliente tem contrato. Na figura seguinte é possível ver o aspeto de uma matriz de consumos durante um mês.

Dias	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	Total	
1	66,0	70,0	69,0	70,0	58,0	45,0	74,0	74,0	71,0	69,0	63,0	52,0	29,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	894,0
2	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0	9,0	9,0	188,0
3	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	10,0	36,0	85,0	115,0	116,0	97,0	84,0	87,0	120,0	116,0	105,0	94,0	106,0	62,0	50,0	50,0	18,0	13,0	1418,0	
4	13,0	13,0	13,0	14,0	13,0	14,0	13,0	32,0	102,0	101,0	119,0	110,0	94,0	79,0	104,0	114,0	121,0	117,0	111,0	104,0	15,0	14,0	14,0	14,0	1458,0	
5	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	13,0	31,0	107,0	128,0	106,0	117,0	101,0	109,0	98,0	114,0	120,0	94,0	116,0	109,0	79,0	70,0	71,0	38,0	1705,0	
6	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	12,0	13,0	36,0	93,0	121,0	121,0	122,0	116,0	88,0	88,0	117,0	116,0	121,0	104,0	61,0	21,0	12,0	11,0	11,0	1439,0	
7	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	12,0	17,0	47,0	105,0	126,0	131,0	131,0	110,0	113,0	114,0	130,0	118,0	122,0	118,0	114,0	68,0	72,0	56,0	89,0	1848,0	
8	69,0	63,0	61,0	62,0	80,0	80,0	120,0	132,0	114,0	114,0	113,0	112,0	80,0	31,0	7,0	8,0	7,0	8,0	7,0	8,0	7,0	10,0	9,0	9,0	9,0	1371,0
9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	8,0	7,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	9,0	9,0	9,0	9,0	196,0
10	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,0	35,0	96,0	112,0	115,0	96,0	49,0	82,0	117,0	112,0	121,0	117,0	93,0	102,0	11,0	11,0	12,0	11,0	1354,0	
11	11,0	12,0	12,0	11,0	11,0	12,0	15,0	66,0	86,0	90,0	102,0	135,0	118,0	121,0	126,0	127,0	124,0	124,0	125,0	129,0	125,0	86,0	81,0	81,0	1974,0	
12	76,0	74,0	72,0	60,0	13,0	13,0	47,0	113,0	127,0	125,0	130,0	124,0	113,0	122,0	130,0	127,0	131,0	125,0	135,0	106,0	121,0	114,0	14,0	13,0	2225,0	
13	12,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	41,0	109,0	110,0	134,0	120,0	134,0	114,0	133,0	113,0	130,0	137,0	143,0	121,0	97,0	85,0	119,0	106,0	106,0	2129,0	
14	86,0	85,0	85,0	80,0	49,0	15,0	50,0	90,0	131,0	123,0	128,0	108,0	71,0	62,0	30,0	31,0	27,0	27,0	22,0	17,0	14,0	9,0	8,0	8,0	1356,0	
15	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	8,0	180,0
16	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	182,0
17	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	8,0	180,0
18	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0	8,0	8,0	181,0
19	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	7,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	184,0
20	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	180,0
21	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	181,0
22	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0	181,0
23	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	180,0
24	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	179,0
25	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	179,0
26	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	9,0	8,0	8,0	8,0	181,0
27	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0	181,0
28	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0	182,0
29	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0	180,0
30	8,0	8,0	9,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0	184,0
31	8,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	9,0	9,0	9,0	9,0	7,0	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0	8,0	197,0
Total	542,0	560,0	555,0	541,0	451,0	407,0	574,0	942,0	1361,0	1493,0	1499,0	1473,0	1213,0	1170,0	1189,0	1269,0	1270,0	1235,0	1199,0	1049,0	744,0	786,0	569,0	556,0		

Figura 52 - Exemplo de uma matriz de consumos horária mensal

Atualmente todos os consumidores que possuem uma instalação servida em média tensão (MT), têm contadores com *modem* que permite a telecontagem e a comunicação desses dados para o operador da rede (EDP Distribuição), sendo que estes devem comunicar esses dados aos vários comercializadores finais de energia (EDP, Endesa, Iberdrola, etc.). Nos clientes com baixa tensão especial (BTE), a maioria ainda tem instalações com contadores convencionais (sem telecontagem), estando a ser instalados contadores com telecontagem

nos contratos mais recentes. Relativamente aos clientes de baixa tensão normal (BTN), os clientes com telecontagem ainda são a grande minoria.

Após se ter acesso à área do cliente, é possível fazer *download* dos 12 ficheiros Excel que correspondem as matrizes dos 12 meses do ano. No caso da CRITICAL KINETICS, como já foi referido esta desenvolveu um ficheiro de Excel onde estas matrizes são introduzidas e reorganizadas é uma coluna de 8760 linhas. Este número de linhas é igual ao número de horas de um ano completo (24*365), este é o número exato necessário para realizar a simulação no PVSyst, que caso não tenhas este número de linhas dará “erro”. Geralmente as matrizes vêm com os valores hora a hora, mas atualmente para alguns clientes já só é possível o *download* da telecontagem de 15 em 15 minutos, pelo que foi necessário a criação de uma outra folha de Excel para a transformação para matrizes hora a hora.

Para a análise dos consumos ainda existem mais duas opções, a instalação de um analisador de energia e por análise das faturas. Para se fazer a análise dos dados de consumo através das faturas, também foi desenvolvido na empresa uma folha de Excel onde se faz a dessegregação dos valores de modo a termos os dados dos doze meses do ano, dados que necessitam estar hora a hora, porque tal como já foi referido é necessário estar nessa forma para se poder introduzir no *software* de simulação. O analisador devido a fatores económicos e logísticos, só é instalado durante 1 mês (idealmente seria num período de 12 meses); este é utilizado para obtermos as curvas de cargas da instalação, ou seja, obtermos um perfil de consumos que nos permite saber em que períodos existe mais ou menos consumos, tal como é possível ver na Figura 54 e Figura 55. No entanto este método de desagregação, mesmo que juntemos a análise de 1 mês do analisador, haverá sempre um erro associado não sendo tão realistas como os dados de telecontagem. Na Figura 53 é possível ver a tabela onde são introduzidos os consumos ao longo dos 12 meses do ano.

S.C.S.C																					
CPE : PT0002000114922965AH																					
	Ciclo semanal Verão												Ciclo semanal Inverno								
	Abril	[%]	Maio	[%]	Junho	[%]	Julho	[%]	Agosto	[%]	Setembro	[%]	Outubro	[%]	Novembro	[%]	Dezembro	[%]	Janeiro	[%]	Fevereiro
Ponta	1275	22,66%	1164	23,11%	1237,5	24,48%	1393	24,17%	1393	24,17%	1393	24,17%	1393	24,17%	1275	22,66%	1275	22,66%	1275	22,66%	1275
Cheias	3383	60,11%	2988	59,33%	2841	56,21%	3298	57,22%	3298	57,22%	3298	57,22%	3298	57,22%	3383	60,11%	3383	60,11%	3383	60,11%	3383
Vazio Nor.	970	17,23%	884	17,55%	976	19,31%	1073	18,62%	1073	18,62%	1073	18,62%	1073	18,62%	970	17,23%	970	17,23%	970	17,23%	970
Total (kWh)	5627		5036		5054,5		5764		5764		5764		5764		5627		5627		5627		5627

Figura 53 - Introdução dos consumos mensais na folha de desagregação

Horas	[%]	Dia Semana / Inverno											
		% varia	Nov		Dez		Jan		Fev		Mar		
			%m	P/h	%m	P/h	%m	P/h	%m	P/h	%m	P/h	
00:00	Vazio Normal	1,00%	4	2,22	4	2,45	4	2,22	4	2,45	4	2,22	
01:00	Vazio Normal	1,00%	4	2,22	4	2,45	4	2,22	4	2,45	4	2,22	
02:00	Vazio Normal	1,00%	4	2,22	4	2,45	4	2,22	4	2,45	4	2,22	
03:00	Vazio Normal	1,00%	4	2,22	4	2,45	4	2,22	4	2,45	4	2,22	
04:00	Vazio Normal	1,00%	4	2,22	4	2,45	4	2,22	4	2,45	4	2,22	
05:00	Vazio Normal	1,00%	4	2,22	4	2,45	4	2,22	4	2,45	4	2,22	
06:00	Vazio Normal	1,00%	4	2,22	4	2,45	4	2,22	4	2,45	4	2,22	
07:00	Cheias	1,00%	11	2,22	13	2,45	11	2,22	13	2,45	11	2,22	
08:00	Cheias	8,00%	11	17,79	13	19,56	11	17,79	13	19,56	11	17,79	
09:00	Pontas	12,00%	12	26,68	13	29,35	12	26,68	13	29,35	12	26,68	
10:00	Pontas	9,00%	12	20,01	13	22,01	12	20,01	13	22,01	12	20,01	
11:00	Pontas	8,00%	12	17,79	13	19,56	12	17,79	13	19,56	12	17,79	
12:00	Cheias	7,00%	11	15,56	13	17,12	11	15,56	13	17,12	11	15,56	
13:00	Cheias	7,00%	11	15,56	13	17,12	11	15,56	13	17,12	11	15,56	
14:00	Cheias	7,00%	11	15,56	13	17,12	11	15,56	13	17,12	11	15,56	
15:00	Cheias	7,00%	11	15,56	13	17,12	11	15,56	13	17,12	11	15,56	
16:00	Cheias	7,00%	11	15,56	13	17,12	11	15,56	13	17,12	11	15,56	
17:00	Cheias	7,00%	11	15,56	13	17,12	11	15,56	13	17,12	11	15,56	
18:00	Cheias	6,00%	11	13,34	13	14,67	11	13,34	13	14,67	11	13,34	
19:00	Pontas	2,00%	12	4,45	13	4,89	12	4,45	13	4,89	12	4,45	
20:00	Pontas	2,00%	12	4,45	13	4,89	12	4,45	13	4,89	12	4,45	
21:00	Cheias	1,00%	11	2,22	13	2,45	11	2,22	13	2,45	11	2,22	
22:00	Cheias	1,00%	11	2,22	13	2,45	11	2,22	13	2,45	11	2,22	
23:00	Cheias	1,00%	11	2,22	13	2,45	11	2,22	13	2,45	11	2,22	

Figura 54 - Exemplo de inserção das curvas dos consumos durante o dia

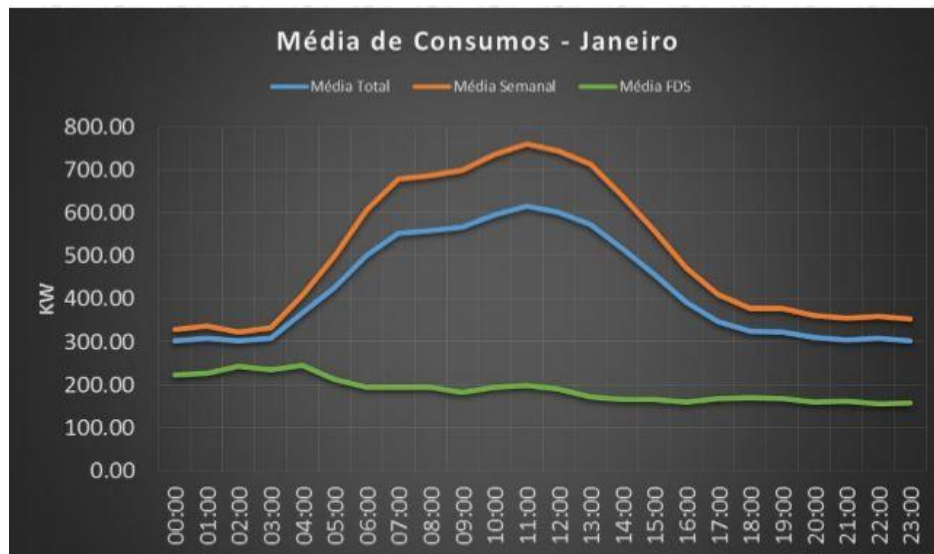


Figura 55 - Exemplo das curvas de carga ao longo do dia

5.2 Dimensionamento do Sistema

Feita a análise aos consumos do cliente, onde verificamos o perfil de consumos que a sua instalação apresenta e determinamos as necessidades energéticas anuais, parte-se então para a segunda fase do projeto, o dimensionamento do gerador fotovoltaico. Este dimensionamento, no caso das UPAC, é importante que seja feito à “medida” do cliente, isto porque qualquer sobredimensionamento ou subdimensionamento do sistema terá um impacto negativo na viabilidade económica do projeto.

Para o dimensionamento de um sistema de autoconsumo, na CRITICAL KINETICS utilizava diversos *softwares* que me ajudavam neste processo, que são os seguintes:

- *Software* “SketchUp3D” em conjunto com os plugins “Skellion” e “Solar North”
 - *Software* “PVsyst”
 - Livro de Excel “CK Prosumer”
1. O primeiro passo deste dimensionamento passa por verificar a área disponível para a instalação dos painéis fotovoltaicos; deste modo podemos verificar qual a potência máxima que podemos instalar. Para obter esta informação utilizei o *software* SketchUp3D, que permite a criação do modelo 3D das instalações onde pretendemos instalar o sistema com grande precisão. Geralmente é dada uma atenção redobrada às coberturas ou caso não seja possível instalar na cobertura, a zona onde estes estarão instalados. É também importante desenhar, caso existam, os obstáculos circundantes às instalações que poderão vir a sombrear os painéis. Um dos pontos fortes deste *software* é que permite geolocalização, pelo que é possível desenhar o modelo no local e orientações reais. Com estas informações, com a ajuda do *plugin* “Skellion” que é instalado no SketchUp, podemos colocar painéis nas superfícies que pretendemos, tal como é possível ver na Figura 56. Nem todas as superfícies serão adequadas para a instalação de painéis, isto porque os painéis deverão estar de preferência virados para sul e com o ângulo de inclinação pretendido (preferencialmente com um *Tilt* de 30°), aspetos que nem sempre são possíveis de satisfazer.

O Skellion permite também escolher certos aspetos da instalação dos painéis; permite-nos escolher qual o painel que pretendemos montar (dando uso a uma base de dados que contém

uma lista de painéis existentes no mercado), distância entre painéis e se os queremos na horizontal ou na vertical. O *Software SketchUp* permite também o estudo dos sombreamentos, este estudo é muito importante, pois permite-nos saber onde devemos ou não colocar os painéis sem que estes venham a ficar sombreados parcialmente ou na totalidade.



Figura 56 - Exemplo de distribuição de painéis numa superfície usando o SketchUp

Todo este estudo permite-nos também visualizar de forma bastante realista o impacto estético que o sistema terá nas instalações onde será instalado, bem como outros aspetos que podem condicionar o modo como iremos montar o sistema.

A segunda fase do dimensionamento passa por se utilizar o *software* de simulação PVsyst; aqui iremos procurar chegar á solução ideal para o cliente. O PVsyst permite “montar” o nosso sistema (com a sua base de dados da grande maioria dos produtos existentes no mercado) e realizar uma análise detalhada da produção energética do sistema, a partir de simulações horárias detalhadas. Podem-se definir várias variantes, de modo a que possamos comparar várias soluções diferentes. Pode-se igualmente definir o desenho do horizonte longínquo, bem como de obstáculos próximos, perdas nas cablagens e outros aspetos.

A partir no menu principal, que é possível ver na Figura 57, a simulação passa pelos seguintes passos:

2. Definir localização da instalação - O PVsyst irá buscar os dados meteorológicos desse local de um ano completo.
3. Definir orientação – Aqui teremos de definir o azimute, orientação dos painéis e o “Tilt”, ângulo de inclinação dos mesmos.
4. Definir sistema – Nesta secção iremos definir a montagem do nosso sistema, iremos escolher os painéis que iremos utilizar, o inversor ou inversor e qual será a melhor organização para este, ou seja, o número de painéis por cada *string* e o número de *strings*. Poderemos também definir uma potência de pico, e a partir daí fazermos o arranjo que queremos, tendo sempre em conta o número de painéis que conseguimos instalar
5. Definir perdas do sistema – Aqui iremos definir todos os cabos utilizados na instalação, bem como outras possíveis perdas.
6. Carregar dados dos consumos do cliente – A partir dos dados da telecontagem ou das faturas, carregamos o ficheiro que contém as 8760 linhas relativos aos consumos do cliente ao longo de um ano.



Figura 57 - Menu Principal do PVsyst

No ponto 3 deve-se ter especial atenção aos seguintes aspetos. Sempre que tivermos painéis com orientações diferentes, será necessário a criação de subsistemas para que o PVsyst simule a produção tendo em conta as várias orientações, estas orientações terão de ser também definidas no ponto 2. Outro cuidado que se deve ter é na organização dos painéis, ou seja, quantos painéis vamos ter por *string* e o número de *strings*. Para escolhermos a organização devemos ter em conta o inversor ou inversores que vamos utilizar, isto porque é preciso ter em atenção a corrente máxima de entrada do inversor, gama de funcionamento da tensão MPP, entre outros aspetos do inversor. Para ajudar na organização o PVsyst conta com dois gráficos que nos ajudam nesta tarefa, como se pode ver na figura seguinte.

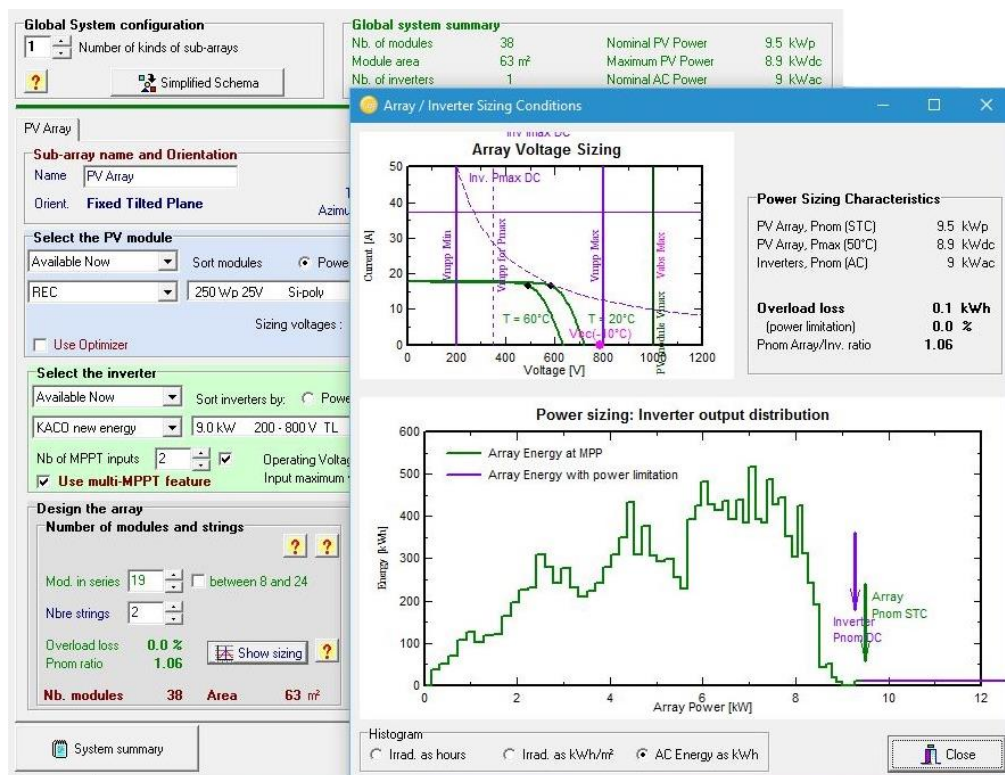


Figura 58 - Janela de configuração do sistema

Um aspeto que também se deve ter em conta quando escolhemos o inversor, é que a potência de pico dos painéis tem obrigatoriamente de ser superior em intervalo até 20% para que se garantir que os inversores operam à sua máxima potência. Caso contrário, devido às perdas que ocorrem desde a produção de energia em corrente contínua até à passagem dessa energia para corrente alternada por parte do inversor, poderia fazer com que os inversores não estivessem constantemente a operar à máxima potência que corresponde à máxima produção e por isso não aproveitar toda a potência de inversor disponível.

Quando escolhemos a potência do gerador fotovoltaico, é importante também salientar que, de acordo com o disposto nas alíneas b) e c) do ponto 1 do artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 153/2014, de 25 de outubro, que a potência de ligação da UPAC não pode ser superior à potência contratada, e que a potência instalada não pode exceder o dobro desse mesmo valor.

Outro aspeto que tive em conta quando organizava os painéis, era o efeito PID (Degradação induzida do potencial). O PID são perdas causadas devido à alta tensão a que estão sujeitas as *strings* causando correntes de fuga entre as células e a moldura do painel que normalmente está ligada a terra e levando a uma diferença de potencial ao solo. Como se pode ver na figura seguinte, é criando um caminho que é explorado pelos eletrões através de falhas ou fissuras no encapsulamento, no vidro e na moldura como se pode observar na Figura 59. Como resultado essa corrente irá com o tempo deixar uma carga à superfície do módulo interferindo com o correto funcionamento da célula e vai afetando o rendimento do mesmo. Os painéis das extremidades das *strings*, geralmente no pólo negativo, é onde ocorre este efeito. Este é um efeito bastante indesejável, os fatores que levam a este efeito são a tensão, calor e humidade que potenciam este efeito [36]. Este efeito poderá levar a perdas de potência na ordem dos 30% em poucos anos devido á de polarização da célula que altera as características da sua curva de funcionamento, e também devido aos efeitos corrosivos e de deterioração das células. O PID afeta particularmente as células cristalinas e películas finas [37] [11].

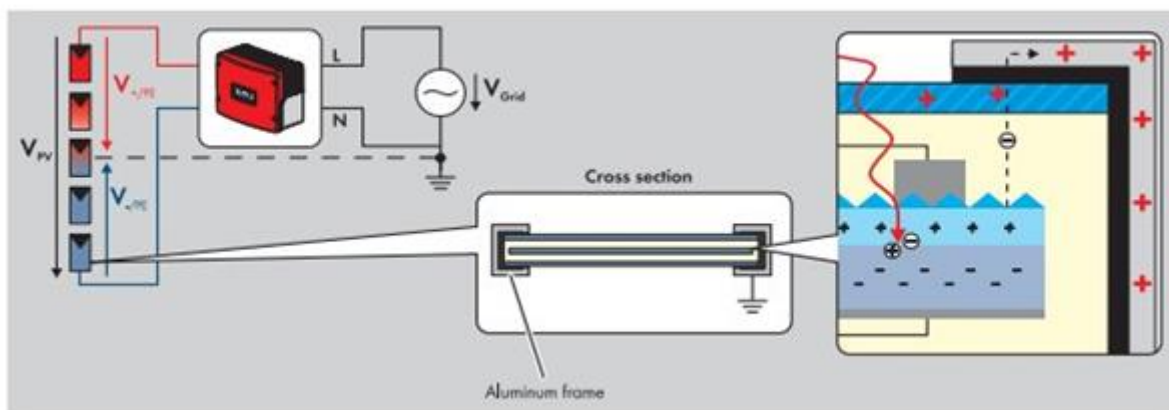


Figura 59 - Figura explicativa do efeito PID [38]

De modo a não ocorrer este efeito, na CRITICAL KINETICS, e de modo a minimizar o aparecimento de problemas, optou-se por reduzir o número de painéis por *string* fazendo assim diminuir a tensão DC da entrada do inversor. Geralmente as *strings* eram formadas por um máximo entre 18 a 20 painéis ligados em série, formando tensões que não ultrapassassem os 800 VDC em V_{oc} (-10°C), como é possível ver na Figura 58.

Após escolhermos os painéis e inversores que vamos usar e organizado o sistema, parte-se para o ponto 4 que é onde vamos inserir as perdas do sistema. Aqui vamos inserir o tipo de cabo (cobre ou alumínio) e as distâncias de cabos usados por *string*, e cabos de ligação do quadro das caixas de junção de *string* aos inversores. O PVsyst ajuda-nos a escolher quais os cabos que devemos usar, indicando qual a secção mínima que este deve ter, mas é sempre boa prática calcularmos qual a secção que devemos usar, tanto na parte DC como da AC. Nesta secção também definíamos as perdas anuais de rendimento do sistema, estas perdas são devido à sujidade acumulada na superfície dos painéis, perdas na cablagem devido à secção e comprimento, e rendimento dos inversores.

Por último carregamos o ficheiro com as 8760 linhas de dados dos consumos e corre-se a simulação do sistema. Será gerado um relatório com os seguintes dados:

- Necessidades energéticas do consumidor (Load);
- Energia fornecida ao consumidor;
- Energia disponível na saída do inversor;
- Energia injetada na rede;
- Fração solar (EUsed/ELoad);
- Performance de relação
- Sistema de produção normalizada;
- Referência à Energia incidente

Estes são os dados que o PVsyst guardará num ficheiro e os usaremos nas folhas de Excel CK PROSUMER para realizar o estudo de viabilidade económica.

5.3 Estudo de Viabilidade Económica

A última parte do projeto de um sistema de autoconsumo fotovoltaico é a verificação da viabilidade económica do sistema. Esta é uma etapa muito importante, visto que quando se apresenta uma proposta a um empresário sobre os custos e benefícios de um sistema de autoconsumo, este olharão com maior importância para a parte sobre o impacto económico que este vai ter nas contas da sua empresa.

De modo geral, na CRITICAL KINETICS tínhamos como método de trabalho evitar apresentar propostas em que a percentagem de autoconsumo fosse muito inferior aos consumos do cliente ou que o tempo de retorno do investimento fosse superior a 8 anos. Nem sempre isto é possível devido ao elevado investimento que poderá ser necessário, e também no caso de o cliente ter tarifas bastante baixas ou um diagrama de carga pouco favorável ao autoconsumo, que levam a que demore mais tempo a haver retorno do investimento. Devido a todos estes aspetos, é importante que se faça um estudo cuidado e realista sobre as necessidades energéticas do cliente, experimentando mais que uma solução técnica (geralmente experimentando diferentes potências) onde se irá analisar os vários indicadores financeiros, obtendo assim a solução mais favorável.

Depois de se obter o relatório do PVsyst, assim como o ficheiro quem contém os dados das variáveis em cima mencionadas, iremos introduzir esses dados na folha de Excel “CK Prosumer” que foi desenvolvida pela empresa CRITICAL KINETICS, e tem como objetivos os seguintes:

- Executar cálculos sobre a quantidade de energia ativa que é gerada em autoconsumo, bem como a poupança que é obtida em Potência em horas de ponta (PT Ph);
- Fazer a orçamentação do projeto;
- Estudo da viabilidade económica do projeto;
- Criação de gráficos que ajudam a entender os dados do sistema e a realizar a proposta comercial.

Após a introdução dos dados vindos do PVsyst, o próximo passo na utilização desta folha passa pela realização do orçamento da instalação do sistema, onde se vai obter o valor total de investimento.

De seguida, teremos que escolher o tipo de ciclo tarifário da instalação, se é bi-horário, tri-horário, tetra-horário ou simples. Só após a escolha do tarifário é possível a introdução do preço das tarifas do cliente, e caso se aplique se tem potência contratada em horas de ponta, tal como é possível verificar na figura seguinte.

Ciclo Semanal - TRI-HORARIA - FER, Segunda a Sexta										
	Tarifas(€)	Hora de Inverno Início	Hora de Inverno Final	Hora de Verão Início	Hora de Verão Final	% Inverno	% Verão	Energia Ativa	Redes de Energia	Tarifa PTHPT
Vazio	0.08640 €							0.08640 €	- €	
	0.08640 €	00:00	07:00	00:00	07:00	29.17%	29.17%	0.08640 €		0.2945 €
Cheias	0.15210 €	07:00	09:30	07:00	09:15					
	0.15210 €	12:00	18:30	12:15	23:59	50%	58.33%	0.15210 €	- €	
Pontas	0.30290 €	09:30	12:00	09:15	12:15					
	0.30290 €	18:30	21:00			20.83%	12.50%	0.30290 €	- €	

Figura 60 - Introdução das tarifas

Além do ciclo tarifário, teremos de escolher também a duração da análise económica do projeto, que geralmente é os 25 anos de vida útil dos painéis, teremos também de colocar se pretendemos vender o excedente da energia produzida à RESP, assim como outras variáveis como a taxa de atualização das tarifas, depreciação anual da produção, potência a instalar e caso exista, se haverá investimento a fundo perdido e sua percentagem. Após a introdução de todos os dados basta colocar a folha a processar que a folha fará os cálculos de todos os indicadores económicos. Na figura seguinte é possível ver parte de uma das tabelas que são geradas, e que nos permite estudar a viabilidade do projeto

Autoconsumo de Energia (kWh)	Poupança mensal	Autoconsumo de Energia (kWh)	Poupança mensal	
Total Autoconsumo (kWh/mês)	Total Autoconsumo (€/mês)	Total Venda à RESP(kWh/mês)	Total Venda à RESP (€/mês)	
1784.93	128.51	44.80	1.96	Janeiro
0.00	0.00	0.00	0.00	Vazio Normal
1239.26	132.48	883.01	38.57	Super Vazio
3354.40	319.67	1802.01	78.71	Ponta
				Cheias
				Fevereiro
2619.28	188.59	393.05	17.19	Vazio Normal
0.00	0.00	0.00	0.00	Super Vazio
1253.14	133.96	386.17	16.89	Ponta
4199.23	400.19	1821.81	79.69	Cheias
				Março
3173.27	228.48	105.29	2.40	Vazio Normal
0.00	0.00	0.00	0.00	Super Vazio
1656.58	177.09	902.61	20.60	Ponta
5180.18	493.67	2319.06	52.92	Cheias
				Abril
3006.74	216.49	88.47	2.87	Vazio Normal
0.00	0.00	0.00	0.00	Super Vazio
2230.81	238.47	1913.12	62.12	Ponta
5651.37	538.58	3117.24	101.22	Cheias

Figura 61 - Poupanças mensais

De modo a resumir todos estes dados, a folha constrói vários gráficos e tabelas que são usados para realizar a proposta para o cliente e ajudam a uma análise dos dados, como a tabela de análise económica, dados das poupanças mensais e gráficos representativos do autoconsumo acumulado anual. Os dados recolhidos são bastante importantes na forma como nos ajudam a efetuar a análise da viabilidade do sistema, dados como a TIR, ROI, custo por Watt pico, Break Even (quanto tempo demora a ficar pago o sistema) e o *levelized cost of energy* (LCOE), que é o custo da energia produzida.

$$LCOE = \frac{\text{Investimento inicial} + \text{custos de manutenção e operação no tempo do estudo}}{\text{Autoconsumo} + \text{Energia vendida à RESP no tempo do estudo}} \quad (8)$$

Na figura seguinte mostra-se um dos gráficos que são criados, neste caso o gráfico do autoconsumo acumulado onde é possível ver os consumos e a energia consumida proveniente do sistema fotovoltaico.

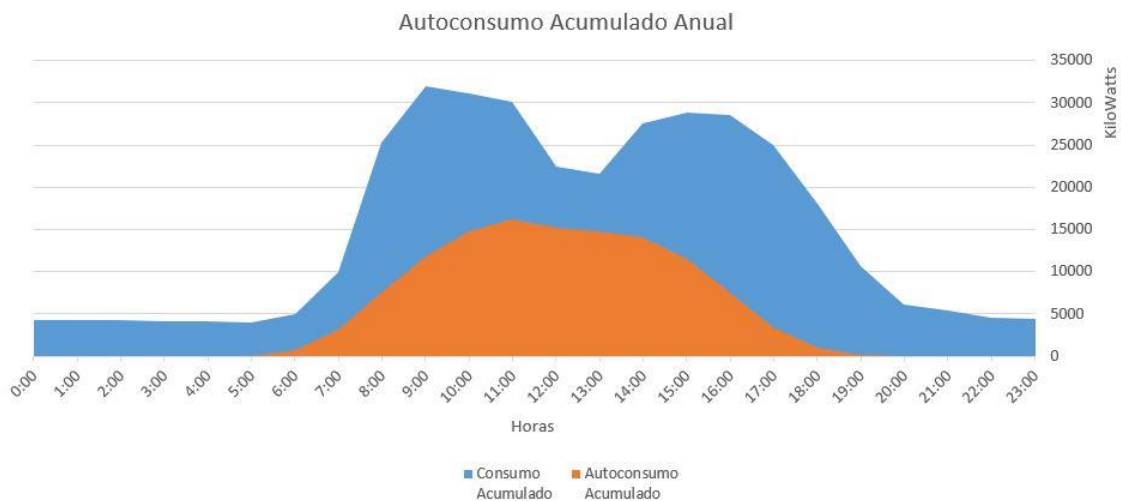


Figura 62 - Autoconsumo Acumulado Anual

De modo a resumir toda esta informação, esta folha conta com uma *dashboard*, como se poderá ver na figura seguinte; esta dá ao cliente um resumo dos dados mais significativos do projeto, como a análise do sistema para o tempo em que estamos a realizar o estudo, os dados da viabilidade económica e também um gráfico onde se pode ver o consumo máximo, médio e mínimo dos consumos e o máximo, médio e mínimo do autoconsumo. Pode-se ver esta *dashboard* na figura seguinte

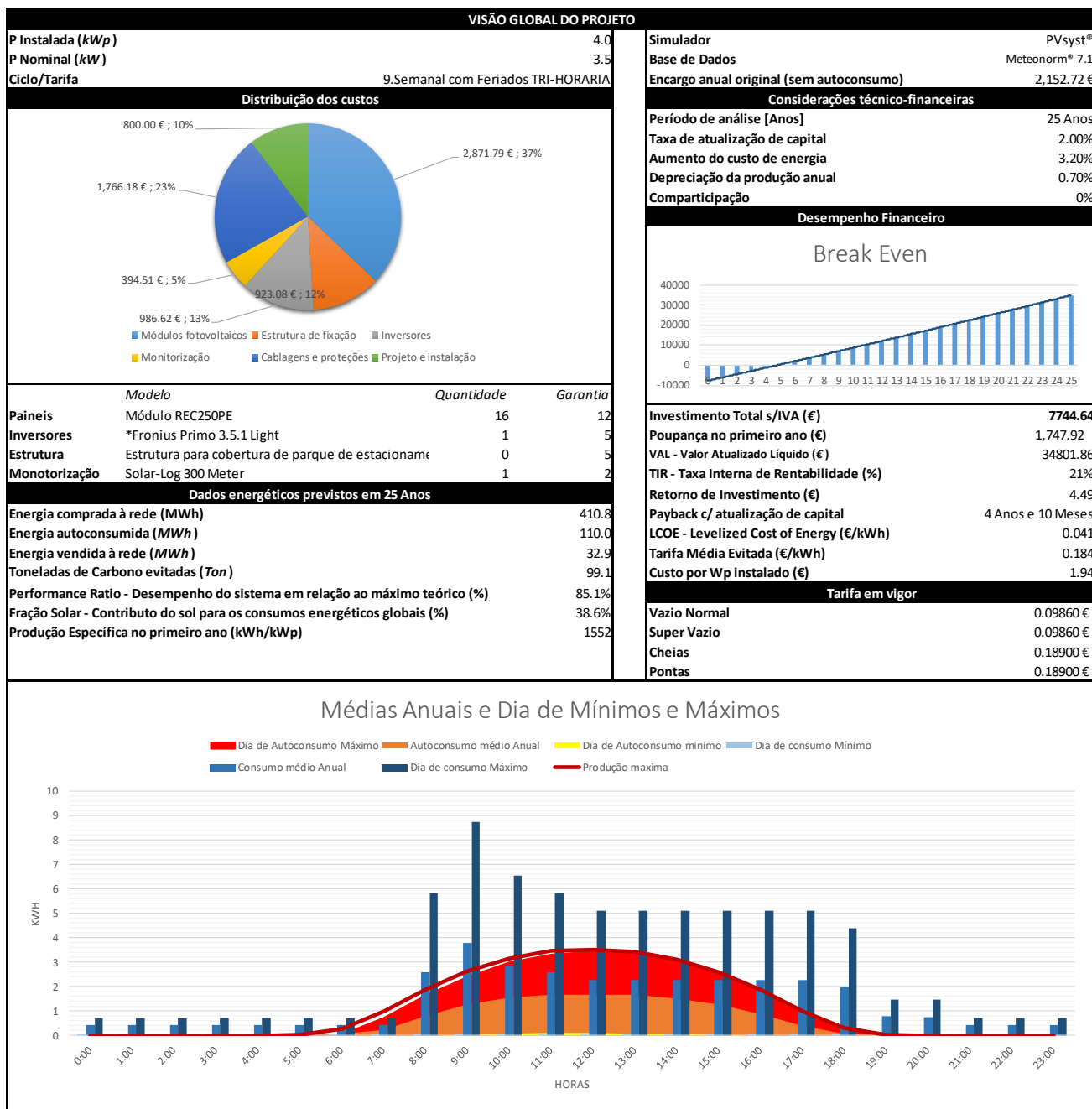


Figura 63 - Página resumo da viabilidade económica que é apresentada ao cliente nas propostas comerciais

5.4 Caso Prático

Durante o estágio foi-me pedido para realizar vários projetos de autoconsumo, pelo que irei de seguida mostrar um desses projetos, explicando todas as fases pela qual passou, desde a análise dos consumos até ao estudo de viabilidade.

O cliente no qual desenvolvi um projeto de autoconsumo fotovoltaico era a Casa de Saúde de Santa Catarina no Porto. O contrato de fornecimento atual do cliente era com a EDP Comercial com uma potência contratada de 34.5kVA. Apesar de nunca ter tido oportunidade de visitar o local, foram-me fornecidas algumas plantas da cobertura do edifício que estava a sofrer remodelações e utilizei a ferramenta do Google Maps para fazer um estudo do edifício onde seria instalada a UPAC. Nas figuras seguintes mostra-se algumas fotos do edifício onde foi feito o estudo e algumas plantas que foram fornecidas pelo cliente.



Figura 64 - Reconhecimento do edifício onde seria instalada a UPAC

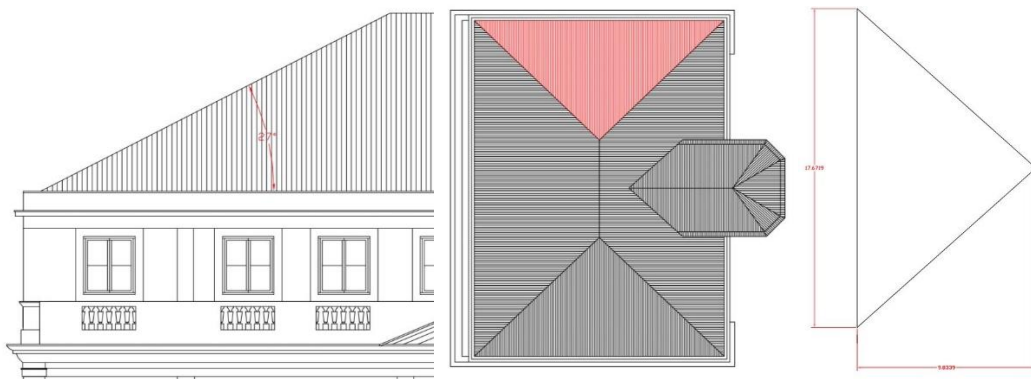


Figura 65 - Plantas da cobertura do edifício

5.4.1 Análise de Consumos

Além das plantas da cobertura, foram-me facultadas as 12 faturas referentes aos 12 meses do ano de 2015, pode-se ver parte de uma dessas fatura na figura seguinte. Após a análise das faturas foi-me possível retirar as várias informações acerca do contrato do cliente; este era um cliente servido em BTN com um tarifário de ciclo diário tri-horário. Devido a ser um cliente servido de BTN em que o contador não era equipado com *modem* para a telecontagem, tive de efetuar a desagregação das faturas.

Detalhes da factura:								
	Período a Facturar		Quantidades (kWh/kVArh/kW)	Preço Unit. (Euros)	Factor (X)	Taxa IVA	Valorização (Euros)	
	Data Início	Data fim						
Energia Activa								
Vazio - Consumo estimado	05/02/2015	04/03/2015	1.312,0000	0,0828	1,0000	(23%)	108,63	
Ponta - Consumo estimado	05/02/2015	04/03/2015	1.530,0000	0,2983	1,0000	(23%)	456,40	
Cheia - Consumo estimado	05/02/2015	04/03/2015	3.999,0000	0,1508	1,0000	(23%)	603,05	
Potência								
Contratada (34,5 kVA)	05/02/2015	04/03/2015	1,0000	51,6450	0,9205	(23%)	47,54	
Imposto sobre Consumo Electricidade								
	05/02/2015	04/03/2015	6.841,0000	0,0010	1,0000	(23%)	6,84	
Contribuição Áudio-Visual								
	05/02/2015	04/03/2015	1,0000	2,6500	1,0000	(6%)	2,65	
Total (antes de IVA)							1.222,46	
IVA (23%)							281,17	
Total (antes de IVA)							2,65	
IVA (6%)							0,16	
Valor Total a Pagar :							1.506,44 euros	
Quadro geral de leituras e consumos do período								
Elementos Estimados	Nº Contador	Período Activo		Leituras		Diferenças Leituras	Factor Multip.	Cons. Registrado (kWh/kVArh/kW)
		Data Início	Data Fim	Inicial	Final			
Energia Activa Cheia	15528390	05/02/2015	04/03/2015	105260 (EST)	109259 (EST)	3999	1,000	3.999,00
Energia Activa Ponta	15528390	05/02/2015	04/03/2015	41315 (EST)	42845 (EST)	1530	1,000	1.530,00
Energia Activa Vazio	15528390	05/02/2015	04/03/2015	37681 (EST)	38993 (EST)	1312	1,000	1.312,00

Figura 66 - Detalhes da fatura com consumos verificados nos três períodos (Tarifa Tri-horária, ciclo diário)

Para o uso das folhas, o primeiro passo é a introdução dos dados do ciclo tarifário do cliente na tabela da Figura 67, de seguida teremos de introduzir os consumos relativos a cada tarifa nos meses correspondentes na tabela da Figura 68.

Opções de Desagregação			
Ciclo	Semanal		
Periodos	Tri-horário		
Feridos	Sem		
Pesos Relativos			
	Semana	Sábado	Domingo
Pontas	100.00%	0.00%	0.00%
Cheias	89.55%	10.45%	0.00%
Vazio Normal	46.05%	22.36%	31.59%
Super Vazio	0.00%	0.00%	0.00%

Figura 67 - Introdução da Tarifa

S.C.S.C																			
CPE : PT0002000114922965AH																			
	Ciclo semanal Verão												Ciclo seman						
	Abril	[%]	Mai	[%]	Junho	[%]	Julho	[%]	Agosto	[%]	Setembro	[%]	Outubro	[%]	Novembro	[%]	Dezembro	[%]	Janeir
Ponta	1275	22.66%	1164	23.11%	1237.5	24.48%	1393	24.17%	1393	24.17%	1393	24.17%	1393	24.17%	1275	22.66%	1275	22.66%	1275
Cheias	3383	60.11%	2988	59.33%	2841	56.21%	3298	57.22%	3298	57.22%	3298	57.22%	3298	57.22%	3383	60.11%	3383	60.11%	3383
Vazio Nor.	970	17.23%	884	17.55%	976	19.31%	1073	18.62%	1073	18.62%	1073	18.62%	1073	18.62%	970	17.23%	970	17.23%	970
Total (kWh)	5627		5036		5054.5		5764		5764		5764		5764		5627		5627		5627

Figura 68 - Introdução dos consumos dos vários meses

Após a introdução da tarifa e dos consumos do cliente, é necessário também introduzir as curvas de cargas dos consumos. Como já foi referido, é boa prática a instalação de um analisador de energia para medição dos consumos e assim obter as curvas de carga. No caso deste cliente não me foi possível a instalação de um analisador (devido á instalação estar em obras) pelo que tive que introduzir estas curvas manualmente, colocando uma percentagem em cada hora, tendo sempre em conta o tipo de instalação que se trata.

Horas	[%]	Sabado / Inverno											
		Nov		Dez		Jan		Fev		Mar			
		%m	P/h	%m	P/h	%m	P/h	%m	P/h	%m	P/h		
00:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
01:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
02:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
03:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
04:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
05:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
06:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
07:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
08:00	Vazio Normal	8.00%	4	12.77	3	10.22	4.19	12.77	4.19	12.77	3.35	10.22	
09:00	Cheias	10.00%	13	15.96	10	12.77	12.62	15.96	12.62	15.96	10.10	12.77	
10:00	Cheias	8.00%	13	12.77	10	10.22	12.62	12.77	12.62	12.77	10.10	10.22	
11:00	Cheias	7.00%	13	11.17	10	8.94	12.62	11.17	12.62	11.17	10.10	8.94	
12:00	Cheias	7.00%	13	11.17	10	8.94	12.62	11.17	12.62	11.17	10.10	8.94	
13:00	Vazio Normal	7.00%	4	11.17	3	8.94	4.19	11.17	4.19	11.17	3.35	8.94	
14:00	Vazio Normal	7.00%	4	11.17	3	8.94	4.19	11.17	4.19	11.17	3.35	8.94	
15:00	Vazio Normal	7.00%	4	11.17	3	8.94	4.19	11.17	4.19	11.17	3.35	8.94	
16:00	Vazio Normal	7.00%	4	11.17	3	8.94	4.19	11.17	4.19	11.17	3.35	8.94	
17:00	Vazio Normal	7.00%	4	11.17	3	8.94	4.19	11.17	4.19	11.17	3.35	8.94	
18:00	Vazio Normal	6.00%	4	9.58	3	7.66	4.19	9.58	4.19	9.58	3.35	7.66	
19:00	Cheias	6.00%	13	9.58	10	7.66	12.62	9.58	12.62	9.58	10.10	7.66	
20:00	Cheias	2.00%	13	3.19	10	2.55	12.62	3.19	12.62	3.19	10.10	2.55	
21:00	Cheias	1.00%	13	1.60	10	1.28	12.62	1.60	12.62	1.60	10.10	1.28	
22:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	
23:00	Vazio Normal	1.00%	4	1.60	3	1.28	4.19	1.60	4.19	1.60	3.35	1.28	

Figura 69 - Definição das curvas de carga do cliente

Feita a introdução do perfil das cargas, e a análise dos resultados, chegou-se à conclusão que nas horas de maior produção fotovoltaica tínhamos consumos médios de aproximadamente 15kW. Neste caso os 15kW seriam um bom valor para começarmos a dimensionar um sistema, no entanto é necessário estudarmos a cobertura do edifício e vermos se temos espaço para colocar esta potência em módulos fotovoltaicos, que neste caso seriam cerca de 60 módulos dependendo da potência dos módulos que decidíssemos colocar.

5.4.2 Estudo de área disponível

O passo seguinte será realizar o estudo de área disponível na cobertura do edifício. Para isso construí um modelo 3D onde me foi possível verificar a quantidade máxima de módulos possíveis de instalar. Na figura seguinte mostra-se o modelo 3D, neste caso após estudo do modelo, concluí que apenas é possível a instalação de 38 módulos de 250W, que dará uma potência de pico máxima de 9.5kWp.

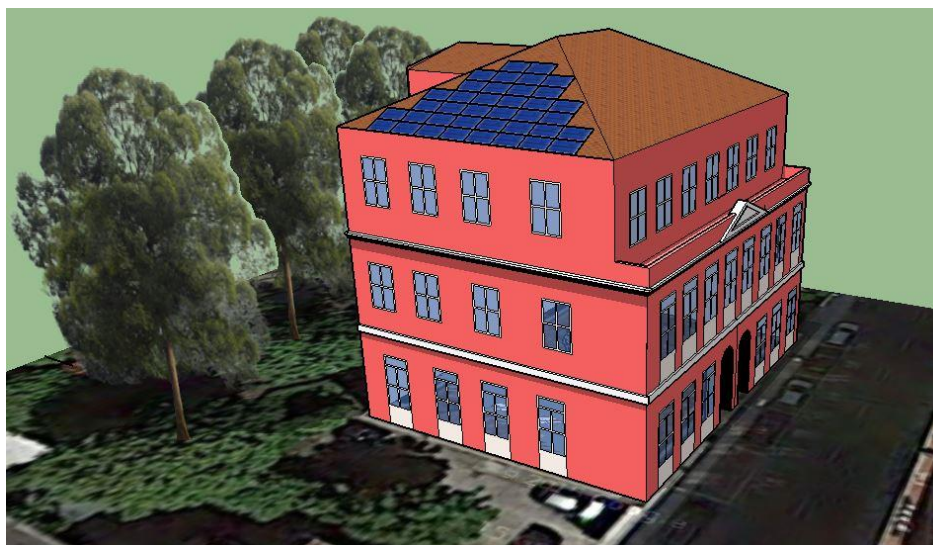


Figura 70 - Modelo 3D do edifício do cliente

Como se pode ver na figura, o edifício contém duas abas virada para sul, sendo que uma é demasiado pequena e é sujeita a algumas sombras. A inclinação será de 27° e não 30° que é o ideal para sistema de autoconsumo, neste caso como a diferença é mínima e não se irá refletir na viabilidade do projeto, não será necessário colocar qualquer inclinação extra porque o investimento extra não justifica os resultados.

A partir daqui o projeto passa por abrir o PVsyst e criar um novo projeto de modo a começarmos a simulação do sistema.

Após a introdução de todos os dados falados anteriormente, o ficheiro da desagregação irá criar uma duas colunas com 8760 linhas, em que numa estará o consumo em casa hora do ano em Watt e na outra em Kilo Watt. Com estas colunas iremos criar um ficheiro em formato CSV, para mais tarde se carregar no PVsyst.

5.4.3 Simulação no PVsyst

Depois de criarmos um novo projeto de sistemas ligados a rede, como se pode ver na figura seguinte começamos por introduzir a localização das instalações do cliente. O PVsyst permite escolher o local exato a partir de um mapa interativo.

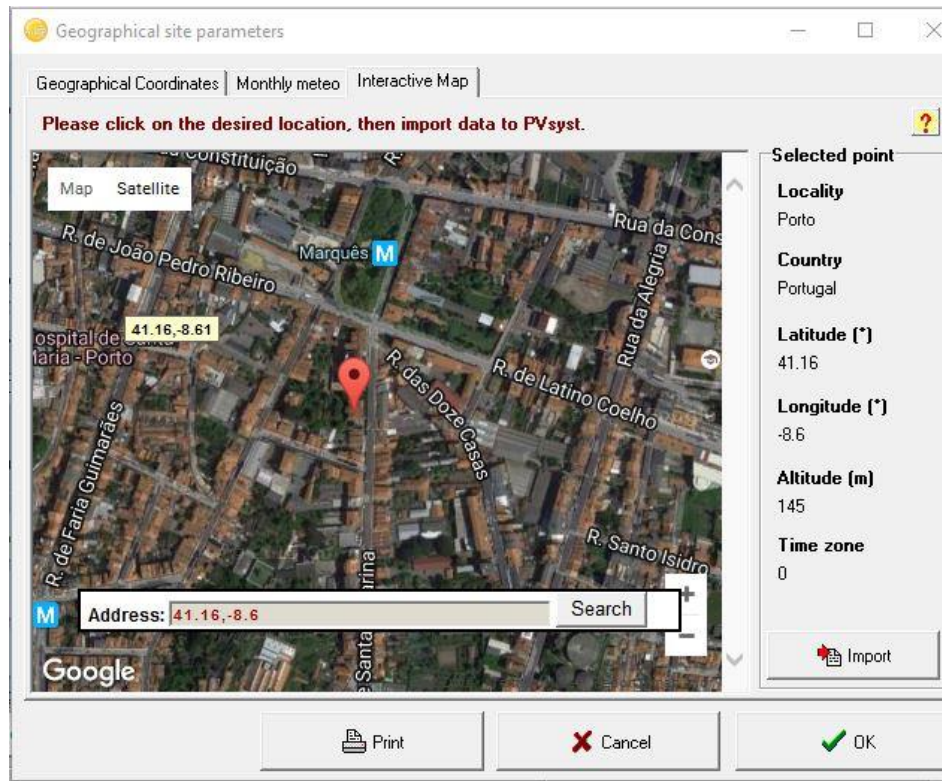


Figura 71 – Introdução da localização das instalações do cliente

Após importar a localização e definir a orientação dos módulos, iremos então “montar” o nosso sistema. Após o estudo com 2 potências diferentes, 8 kWp e 9.5 kWp, verifiquei que a mais vantajosa seria a de 9.5kWp com um inversor de 9kW. Para os módulos optei por colocar 38 módulos REC 250PE, que apresentam umas das melhores relações qualidade/preço.

Estes módulos têm as seguintes características:

- $P_n = 250 \text{ Wp}$
- $U_n = 30.2 \text{ V}$
- $I_n = 8.3 \text{ A}$
- $U_{oc} = 37.4 \text{ V}$
- $I_{sc} = 8.86 \text{ A}$
- Eficiência = 15.1 %
- Coeficiente de temperatura (NOCT) $45.7^\circ\text{C} (\pm 2^\circ\text{C})$
- Medidas = $1665 \times 991 \times 38 \text{ mm}$

Em relação ao inversor escolhi um Fronius Symo light 8.2-3-M; trata-se de um inversor com dois MPPT com uma janela de rastreamento entre 267 e 800V, o que nos dá uma boa margem de manobra para a organização dos módulos. Fica de seguida as principais características deste inversor:

- $I_{DC \max} = 16.0 \text{ A} / 16.0 \text{ A}$
- $I_{sc \max} = 24 \text{ A} / 24 \text{ A}$
- $U_{DC \max} = 1000\text{V}$
- $U_{MPP} = 267 - 800 \text{ V}$
- $P_{DC \max} = 16.4 \text{ kWp}$
- $P_{AC \max} = 8200 \text{ W}$
- $I_{AC \max} = 11.8 \text{ A}$
- Eficiência = 98%
- Fator de Potência = 0.8

Em relação à organização dos módulos, de modo a estar dentro dos parâmetros do inversor, optei por os colocar em 2 *strings* de 19 módulos. Como se pode ver pelos gráficos da figura seguinte, o inversor encontra-se a funcionar dentro da zona de rastreamento, com a tensão a -10°C abaixo dos 1000V que é também aconselhável.

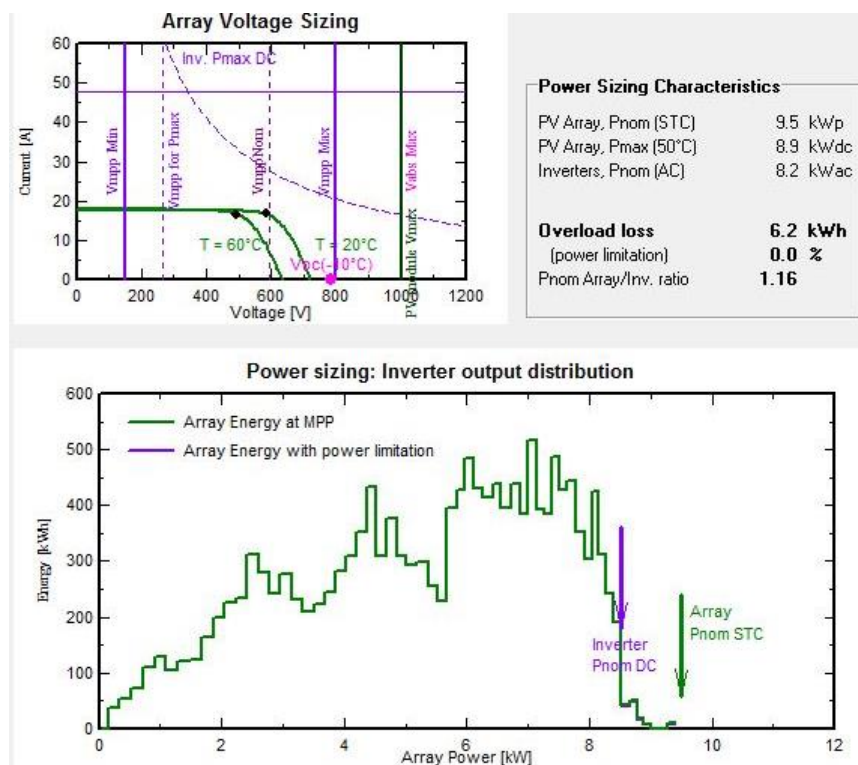


Figura 72 – Gráficos de funcionamento do inversor

Poderá também se definir algumas perdas, como as perdas relacionadas com os cabos e sujidade dos módulos. Mas para isso precisamos realizar o dimensionamento da cabelagem do sistema.

5.4.4 Dimensionamento Cabelagem

- **Cabo de *String***

Em primeiro lugar vai-se dimensionar o cabo de *string*, ou seja, o cabo que vamos utilizar para fazer a ligação entre módulos e dos módulos ao quadro DC ou caixa de junção de *strings*. Estes devem satisfazer também os seguintes critérios:

- Os cabos utilizados na parte posterior dos painéis devem suportar no mínimo uma temperatura de 80°C.
- Os cabos devem ser resistentes a radiação UV e flexíveis. Nas instalações integradas nos telhados poderá ser utilizada a versão *standard*.
- Para uma eficaz proteção de terra e de curto-circuito, são recomendados cabos isolados monoplares para os condutores positivos e negativos.
- Para as instalações fotovoltaicas situadas em locais onde existe o risco potencial de ocorrência de descargas atmosféricas, deverão ser usados cabos com ecrãs/blindagens.
- De acordo com a norma europeia IEC 60364-7-712, o cabo da fileira tem de ser capaz de transportar 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do gerador, e estar protegido contra falhas de terra e curto-circuitos.
- Os cabos devem ser dimensionados de forma que a queda de tensão entre o gerador e o inversor seja no máximo 1,5%. [39]

O cabo de *string* faz a ligação entre os módulos e o quadro DC ou caixa de junção. Neste caso assumi 80 metros (soma do comprimento dos 19 módulos de cada *string*, mais 1,7 por cada módulo, mais 15 para ligação ao quadro DC) de cabo solar em cobre. Tendo em conta os critérios a cima descritos, pelo critério da queda de tensão temos:

$$Secção = \frac{2 \times L \times I_n}{1.5\% \times N \times U_n \times K} \quad (9)$$

Em que:

L = Comprimento do cabo da *string*

K = Condutividade elétrica (Cobre

I_n = Corrente da *string*

K_{CU}=56; alumínio K_{AL}=34)

U_n = Tensão do módulo

N=Numero de módulos por *string*

Pelo que virá:

$$Secção = \frac{2 \times 80 \times 8.3}{1.5\% \times 19 \times 30.2 \times 56} = 2.76 \quad (10)$$

O resultado deve ser arredondado para o maior valor aproximado das secções nominais dos cabos normalizados (1.5; 2.5; 4; 6; 10; 16; 25; 35) mm². Neste caso tendo em conta o resultado, obtém-se uma secção mínima de 4mm²

Além do critério a cima referido, este cabo tem de ser capaz de transportar 1,25 vezes a corrente de curto-circuito do gerador, que neste caso:

$$I_{max\ string} = I_{cabo} = I_{sc} \times 1.25 = 8.86 \times 1.25 = 11.88\ A \quad (11)$$

Agora que se calculou a corrente máxima, tem que se confirmar se esta condição se verifica para um cabo de secção de 4mm² que foi o nosso resultado no primeiro critério. Terá que se verificar a seguinte condição, $I_{max\ string} \leq I_z$. Esta condição é verificada vendo a tabela a baixo, retirada da Portaria N.º 949-A/2006.

Tabela 8 - Tabela de correntes admissíveis [40]

QUADRO 52-C1
Correntes admissíveis, em ampères, para os métodos de referência A, B e C
 (de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC), para:

- * Dois condutores carregados
- * Cobre ou alumínio
- * Temperatura da alma condutora: 70°C
- * Temperatura ambiente: 30°C

Secção Nominal dos Condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C (*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	14,5	17,5	19,5
2,5	19,5	24	27
4	26	32	36
6	34	41	46
10	46	57	63
16	61	76	85

- **Cabo principal DC**

O cabo principal DC faz a ligação entre o quadro DC e os inversores. Neste caso, trata-se de um cabo que assumi ter cerca de 5 metros de comprimento máximo. Como temos 2 *strings* em paralelo, este cabo irá ter que suportar correntes de 16.6 A e uma tensão de 60.4 V, seguindo o processo anteriormente usado para dimensionar o cabo de *string*, obtém-se uma secção mínima de 4 mm².

- **Cabo AC**

Falta dimensionar o cabo do ramal AC que faz a ligação entre o inversor e o quadro de produção PV e de ligação ao quadro geral de baixa tensão. O cabo terá de suportar a corrente máxima de saída do inversor. Teremos também de assumir uma queda de tensão máxima admissível de 3% relativamente à tensão da rede. Para este cabo assumi um comprimento de 30 metros.

Tendo em conta os critérios descritos anteriormente, pelo critério da queda de tensão temos:

$$\text{Secção} = \frac{\sqrt{3} \times \text{LnAC} \times \text{InAC} \times \cos \varphi}{3\% \times U_n \times K} \quad (12)$$

Em que:

LnAC = Comprimento do cabo do ramal

Un = Valor de tensão nominal da rede

InAC = Corrente nominal AC do inversor

Cos φ = Fator de Potência

K = Condutividade do condutor

Pelo que virá:

$$\text{Secção} = \frac{\sqrt{3} \times 30 \times 11.8 \times 0.85}{3\% \times 400 \times 56} = 0.78 \quad (13)$$

Com o resultado da equação anterior, dá-nos como resultado um cabo de 1.5 mm². No entanto o regulamento não permite que nenhum equipamento de potência tenha um cabo com uma secção inferior a 2,5 mm², tratando-se de uma fonte de alimentação terá de ter um cabo de pelo menos 4 mm².

Após o dimensionamento da cabelagem e a introdução dos dados no PVsyst podemos fazer a simulação do sistema. No **Anexo A** apresenta-se o relatório desta simulação.

5.4.5 Dimensionamento das Proteções DC e AC

- **Fusíveis de *String***

Para dimensionar os fusíveis para cada *string*, terá que se calcular a tensão e a corrente. Em relação à tensão virá:

$$V_{fusivel} \geq M \times 1.15 \times V_{oc} = 19 \times 1.15 \times 37.4 = 817.2 V \quad (14)$$

Em que:

M = Número de módulos em série por *string*

V_{oc} = Tensão em circuito aberto dos módulos

Em relação à corrente, como temos apenas duas *strings* virá:

$$I_n \geq 1.5 \times I_{cc} = 1.5 \times 8.86 = 13.29 A \quad (15)$$

Caso houve-se mais de duas *strings*, ter-se-ia de multiplicar a este valor o número de *strings*.

- **Disjuntor AC**

Os disjuntores AC são responsáveis por proteger o cabo do ramal que liga o inversor ao QGBT, pelo que terão de ser dimensionados de acordo com a corrente máxima de saída do inversor, que no nosso caso é de 11.8 A, pelo que se terá de escolher um disjuntor de 16 A.

- **Interruptor Diferencial**

O interruptor diferencial permite a proteção das pessoas relativamente aos contactos diretos e indiretos. Para o nosso caso teríamos de escolher um interruptor diferencial de 20 A.

- **Proteção contra descargas atmosféricas**

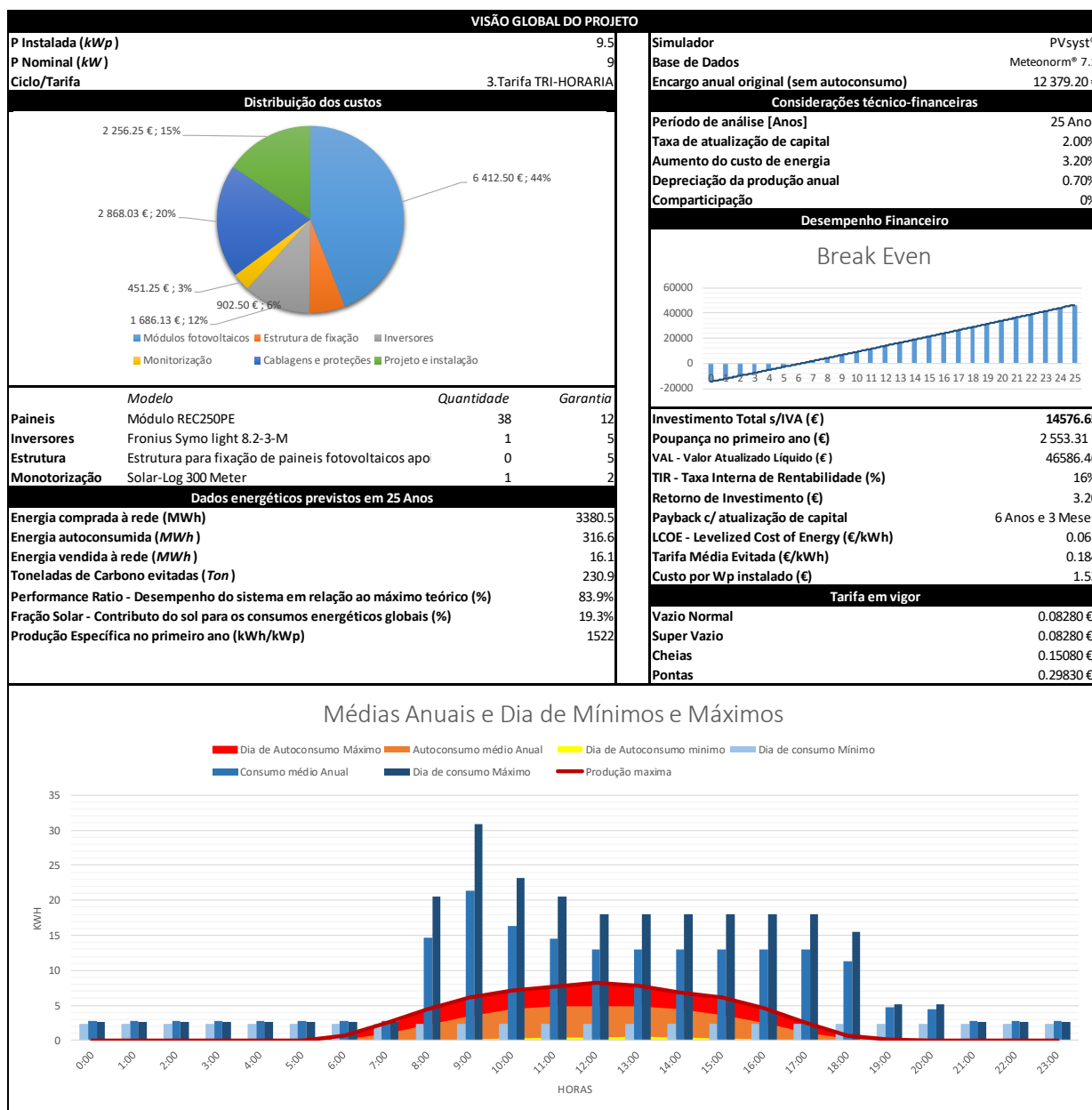
Como este tipo de sistema são montados geralmente sobre estruturas metálicas, é aconselhado a ligação destas estruturas à terra. É também aconselhável a instalação de descarregadores de sobretensões. Tanto no lado DC como no lado AC, ou seja, no Quadro DC e AC e também junto ao inversor caso a distância do quadro DC ao inversor seja grande [39].

Em anexo está o esquema elétrico do sistema fotovoltaico dimensionado (**Anexo B**).

5.4.6 Estudo de viabilidade económica

Com a simulação do sistema falta fazer o estudo de viabilidade económica do projeto. Para este estudo tal como já foi referido anteriormente utiliza-se a folha de Excel CK PROSUMER. Após a introdução dos dados necessários (Dados do PVsyst, tarifas e orçamento) obteve-se os resultados que são mostrados nas próximas tabelas:

Tabela 9 - Tabela Resumo



6. Dimensionamento de Sistemas Isolados

Nos sistemas isolados é necessário efetuar o correto dimensionamento do banco de baterias e do gerador fotovoltaico necessário para alimentação das cargas da instalação. Durante o estágio tive oportunidade de dimensionar alguns sistemas isolados, sendo que a nível de exemplo irei dimensionar um sistema isolado, tendo como requisitos, uma autonomia de 72h de energia para alimentar as seguintes cargas [41]:

- 1x Frigorifico 750W – 12h de funcionamento;
- 1x TV 700W – 4h de funcionamento;
- 1x Box TV 300W – 4h de funcionamento;
- 8x Lâmpadas 6.3W – 4h de funcionamento.

Além dos consumos previstos e autonomia, é necessário definir qual será a profundidade de descarga máxima das baterias, tensão estas terão e rendimento do inversor.

- Profundidade de descarga (DOD) – 40%;
- Tensão de funcionamento das baterias – 24V;
- Rendimento do inversor – 90%
- Rendimento do controlador de carga – 98%

Sendo assim para o cálculo da energia necessária, virá:

$$((750 \times 12) + (700 \times 4) + (300 \times 4) + (6.3 \times 8 \times 4)) = 13201.6Wh \quad (16)$$

e a capacidade necessária das baterias será:

$$C(Ah) = \frac{E(Wh)}{U_{bat}(V) \times n^{\circ} \text{ dias autonomia}(d) \times DOD \times \eta_{Inv}} \quad (17)$$

$$= \frac{13201.6}{24 \times 3 \times 0.4 \times 0.92} = 498.25Ah$$

Em relação ao gerador fotovoltaico, o cálculo da potência necessária é dada pela seguinte equação:

$$P(W) = \frac{E_{dia}}{HSP(n^{\circ} \text{ horas sol}) \times Eficiencia} = \frac{13201.6}{6 \times 0.90 \times 0.98} = 2494.6W \quad (18)$$

7. Bombagem Solar

Outra das tarefas que realizei durante o estágio, foi o dimensionamento de sistemas de bombagem solar. A bombagem Solar aproveita a energia solar para alimentar bombas de água de furos, poços, piscinas e etc.. Os sistemas de bombagem solar servem um vasta gama de necessidades, daí as suas aplicações serem diversificadas, atuando em diversas áreas. A bombagem solar é ideal para sistemas em locais isolados, onde o acesso à RESP não é possível. No entanto, em sistemas com ligação à RESP, permite uma poupança na fatura da eletricidade, permitindo um rápido retorno financeiro. Este tipo de sistema é usado em explorações agrícolas, abastecimento de água potável, recirculação de piscinas ou criação de animais. A bombagem solar tem vindo a ter um interesse cada vez mais elevado por parte do setor agrícola e pecuário, isto deve-se à necessidade de substituir sistemas mais antigos que funcionam a geradores a diesel ou poupar no consumo de energia da rede. O aumento do financiamento para este tipo de projeto tem vindo a dar uma grande ajuda, levando a que muitos agricultores optem por instalar de sistemas solares, tanto para rega direta como para captação de água para depósitos.

Como se pode observar na figura seguinte, nestes sistemas a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos vai alimentar diretamente a bomba, caso esta seja DC (necessitando apenas de um controlador). Se a bomba utilizar corrente AC, será necessário a existência de um inversor. Poderá também ter-se baterias, para garantir que o seu sistema funciona mesmo não havendo produção de energia solar.

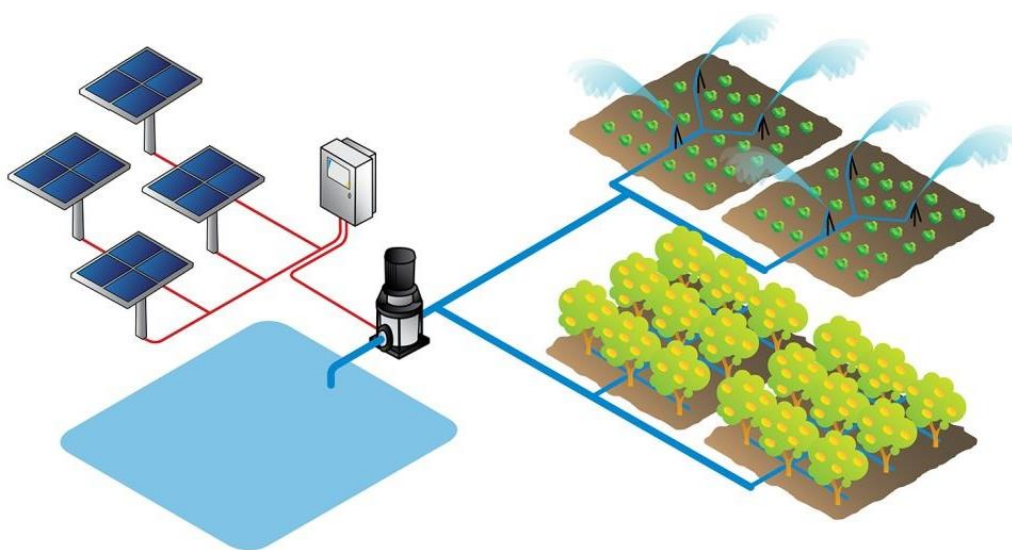


Figura 73 - Exemplo de um sistema de bombagem solar

7.1 Bombagem AC

Os sistemas de bombagem AC são constituídos pelos módulos fotovoltaicos, controlador com inversor de frequência variável, eletrobomba e todos os acessórios de proteção do sistema e controlo do sistema. Nestes sistemas é usado um controlador, este é essencialmente um variador de frequência, que assim que seja possível e necessário coloca a eletrobomba a funcionar. Estes controladores conseguem colocar a eletrobomba em funcionamento a partir dos 35Hz, tendo que se respeitar sempre o nível de tensão desta.

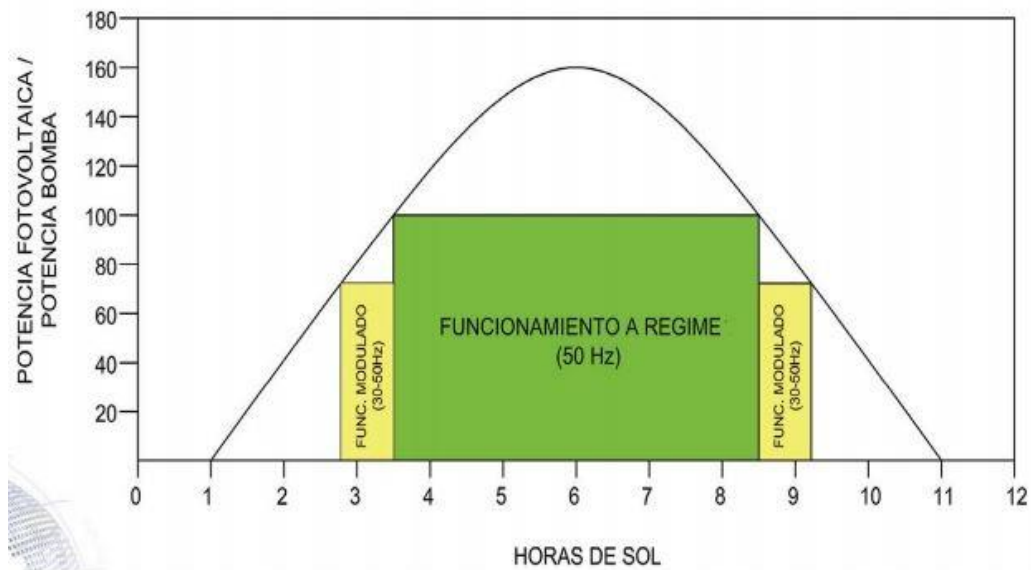


Figura 74 - Rendimento máximo de uma eletrobomba em AC durante um dia [1]

A utilização de sistemas de bombagem com bombas de corrente AC, é utilizado normalmente quando o cliente já têm uma eletrobomba. Tendo já a eletrobomba, o investimento poderá ser inferior, contudo isto nem sempre se verifica, especialmente quando se trata de eletrobombas de grande potência (necessidade de um número elevado de módulos fotovoltaicos) e a potência nominal desta não seja o indicado para as necessidades do cliente (eletrobombas sobredimensionadas). Comparando com as bombas DC, as bombas AC têm uma gama de funcionamento mais apertada, necessitando assim de uma maior potência em relação às que operam em DC [41].

7.2 Bombagem DC

Os sistemas com bombagem utilizando motores DC são os mais utilizados nos dias de hoje. Estes sistemas, ao contrário dos sistemas utilizando motor AC, conseguem aproveitar todo o sol disponível variando o caudal ao longo do dia consoante a irradiância disponível no momento. Estes são sistemas mais simples, onde os módulos solares alimentam diretamente o controlador da eletrobomba, não necessitando de nenhum inversor como as eletrobombas convencionais, diminuindo assim as perdas do sistema.

Na CRITICAL KINETICS utilizávamos sistemas de bombagem da Lorentz. Os sistemas Lorentz vêm equipados com motores de corrente contínua sem escovas, também conhecidos por motores brushless DC. Tal como pode ver na Figura 75, estes motores sem escovas são constituídos por um rotor formado por 4 ímanes permanentes, o estator é constituído por eletroímãs, onde geralmente 4 estão colocados em cruz, formando um ângulo de 90° (podendo ter mais que 4 eletroímãs). Dependendo do método de controlo, durante o funcionamento do motor são alimentadas duas ou mais bobinas de cada vez, com polarizações distintas, onde a ideia será sempre que de um lado uma empurra o rotor para longe e outra atrai. Para saber a posição do motor são usados sensores de Hall ou *enconders* [42]. As maiores vantagens destes motores é que como não existe qualquer ligação com o rotor, esta característica dá a este tipo de motor várias vantagens, tais como:

- Confiabilidade mais elevada;
- Maior eficiência, melhor relação entre o torque e o peso do motor;
- Ruído reduzido;
- Vida útil mais longa por não ter escovas;
- Eliminação da ionização do comutador;
- Redução significativa da interferência eletromagnética (EMI);
- Não necessitam de entradas de ar para arrefecimento, permitindo ser totalmente fechado, sendo ideal para bombas submersas.

Este tipo de motor tem como principal desvantagem a unidade de controlo que necessitam, mais complexo e mais caro. Estas unidades de controlo chamadas de controlador eletrónico de velocidade, que oferece a mesma característica de controlo variável dos motores com escovas [43] [44] [23] [45].

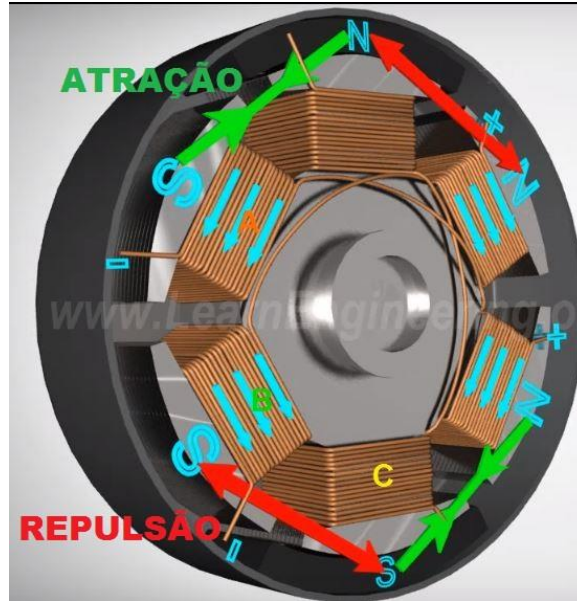


Figura 75 - Interior de um motor DC Brushless [43]

7.3 Tipos de Bombas

Na bombagem solar são usados principalmente dois tipos de bombas: As bombas centrífugas multiestágios e as bombas volumétricas helicoidais (ou deslocamento positivo).

As bombas centrífugas são indicadas para sistemas com grandes caudal e alturas manométricas baixas. Este tipo de bombas possuem pás ou rotores que giram a grande velocidade, criando assim pressão e fluxo de água. Dentro as bombas centrífugas, existe as submersíveis e as de superfície. As submersíveis funcionam totalmente debaixo de água, e as de superfície necessitam de um tubo para fazer sucção da água.

As bombas volumétricas helicoidais ou de deslocamento positivo, são indicadas para sistemas com pequenos ou moderados caudais e grandes alturas volumétricas. As bombas helicoidais, são constituídas por um estator de borracha onde a parte interna tem a forma de um parafuso com passo elevado e grande profundidade de rosca. O rotor é um parafuso simples, cujo passo é metade do passo da rosca do estator. O rotor gira em torno de seu eixo principal e com este, forçosamente em torno do eixo do estator, realizando um movimento excêntrico deslizante que empurra a água. Deste modo, os espaços que se formam entre a parte interna do estator e o rotor deslocam-se axialmente e de forma contínua com o movimento do rotor, da boca de aspiração para a de descarg [46] a [23].

7.4 Dimensionamento de Sistema de Bombagem Fotovoltaica

Para o dimensionamento de sistemas de bombagem solar, na CRITICAL KINETICS devido ao uso de sistemas da Lorentz, utilizamos o *software* “Compass” que pertence à Lorentz. Este é um *software* bastante simples de usar, sendo que dependendo do tipo de sistemas (bomba submersível, superfície ou piscina), para efetuar o dimensionamento serão que ser introduzidos os seguintes dados:

- Coordenadas do local de instalação;
- Inclinação e azimute do gerador fotovoltaico;
- Comprimento da cablagem elétrica DC e AC;
- Comprimento e tipo da tubulação;
- Nível estático da água;
- Nível dinâmico da água;
- Pressão da água à superfície do furo/poço;
- Necessidades de água diárias (m^3 /dia);
- Caudal máximo do furo/poço;
- Meses de utilização;
- Altura de sucção ou aspiração positiva.

Como exemplo, durante o estágio foi-me pedido para realizar um dimensionamento em que teria de dimensionar um sistema de bombagem solar com as seguintes características:

- Localização – Bucelas;
- Tipo de sistema – Furo com depósito
- Profundidade do furo – 162m;
- Distância entre Sistema fotovoltaico e furo – 15m;
- Caudal pretendido – $25 m^3$ /dia
- Dimensionamento efetuado para meses de rega, Maio, Junho, Junho, Julho, Agosto e Setembro.
- Sistema de bombagem para depósito de $25m^3$.

Na imagem seguinte é possível ver como são dispostos todos os componentes de um sistemas de bombagem solar de com bomba submersível.

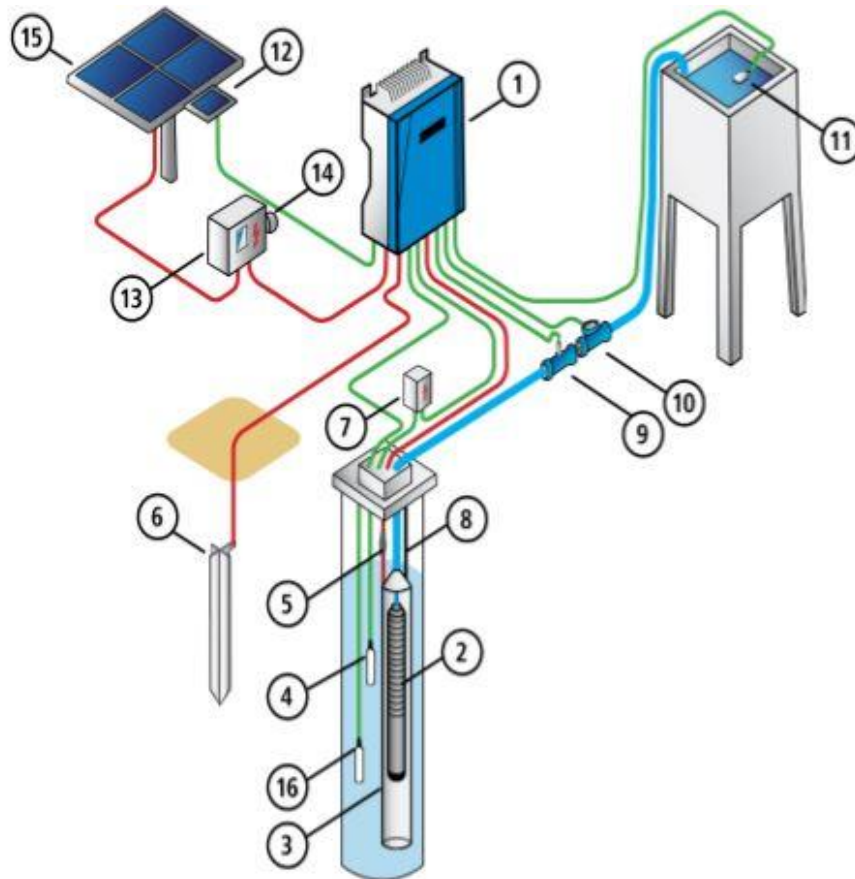


Figura 76 - Disposição de todos os componentes do sistema

Em que:

- | | |
|---|--|
| 1) Controlador da bomba. | 9) Medidor de caudal. |
| 2) Bomba submersível. | 10) Sensor de pressão. |
| 3) Tubo de estabilizador. | 11) Sensor de nível de água do depósito. |
| 4) Sensor de segurança nível de água do furo. | 12) Sensor de luminosidade. |
| 5) Conector do cabo de alimentação. | 13) Desconector da alimentação solar. |
| 6) Estaca cabo de terra. | 14) Proteção contra relâmpagos (opcional). |
| 7) Proteção contra picos de tensão | 15) Gerador PV. |
| 8) Corda de segurança. | 16) Sensor de nível de água do furo. |

Após inserirmos estes dados, o *software* irá calcular as possíveis configurações e apresenta um relatório técnico da solução que escolhermos, onde são apresentados os seguintes dados:

- Parâmetros Introduzidos;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico (configuração e potência);
- Modelo da bomba e controlador;
- Acessórios que são precisos para o funcionamento do sistema;
- Gráficos com o rendimento diário (m^3/dia) e rendimento horário (m^3/h);
- Características do sistema;
- Dimensionamento das tubagens hidráulicas;
- Dimensionamento das cablagens elétricas;
- Esquema elétrico do gerador fotovoltaico;
- Esquemas das ligações hidráulicas;
- Dados técnicos do controlador e da bomba escolhida;
- Dados técnicos dos acessórios;
- Diagrama do sistema.

No **Anexo C** mostra-se o relatório gerado por este *software*.

Após analisar o relatório pode-se concluir que a solução apresentada pelo *software* é constituído pelos seguintes equipamentos e desempenhos.

- Gerador fotovoltaico constituído por 2 *strings* de 5 módulos de 150Wp. Neste caso escolheria um sistema com módulos REC250PE de 250W, constituído por 2 *strings* de 3 módulos virados para sul e com um ângulo de 30°, poupando assim custos associados á sua instalação;
- Um sistema de bombagem submersível PS2-600 HR-14 de 700W;
- Cabo trifásico do tipo FBBN de $35mm^2$;
- Tubagem hidráulica de FBBN plástico de 35mm diâmetro interno;
- Rendimento diário de médio de $25.4m^3$ nos meses pretendidos e $23 m^3$ durante o ano;
- Caudal médio de $2.4 m^3/\text{h}$.

8. Conclusão

O estágio de mestrado foi realizado na empresa CRITICAL KINETICS; este estágio deu-me a oportunidade de aprofundar bastantes conhecimentos adquiridos durante a Licenciatura e Mestrado. Foi-me possibilitado trabalhar no mais variado tipo de tarefas referentes a sistemas Fotovoltaicos, desde a realização de projetos de sistemas fotovoltaicos, instalação, manutenção e apoio técnico. Durante este estágio também tive oportunidade de desenvolver competências ao nível da organização de eventos, onde estive envolvido na organização do Congresso Nacional de Autoconsumo Fotovoltaico. Tive também a oportunidade de ganhar alguma experiência ao nível da formação, estando envolvido como formador num dos cursos lecionados pelo departamento de formação.

Durante esta experiência, consegui ganhar uma maior consciência do funcionamento do mercado da energia em Portugal. O mercado Português sofreu algumas alterações ao longo dos últimos dois anos, principalmente com a entrada em vigor do novo Decreto-lei 153/2014, que veio dar a possibilidade de produzir energia própria com sistema de autoconsumo fotovoltaico. Este novo modelo é um sistema bem mais vantajoso neste momento comparando com as UPP. Outro fator que veio influenciar o mercado do fotovoltaico, foi a descida dos preços destes sistemas, pois com esta descida os sistemas passaram a envolver investimentos de menor valor e conseqüente mente um aumento na rentabilidade destes. Ao nível da tecnologia, o fotovoltaico tem também vindo a ter uma boa evolução, com o lançamento de novos produtos, produtos que oferecem cada vez mais funcionalidades e que cada vez são mais eficientes, criando assim um maior leque de possíveis soluções para as várias necessidades.

Os sistemas de produção de energia de origem solar apresentam processo de geração de eletricidade mais simples do que a obtenção de energia através de combustíveis fósseis ou nucleares. Na minha opinião é um tipo de sistemas em que se deve continuar a investir cada vez mais na sua instalação e no seu desenvolvimento.

9. Referências

- [1] CRITICAL KINETICS, [Online]. Available: <http://critical-kinetics.pt/>.
- [2] CK Solar Academy, [Online]. Available: <http://www.cksolaracademy.com/>.
- [3] “SolarPower Europe,” [Online]. Available: <http://www.solarpowereurope.org/home/>.
- [4] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, “PHOTOVOLTAICS REPORT,” 2016.
- [5] DGEG, “estatísticas rápidas - nº 138,” Abril de 2016.
- [6] Portal Energia - Energias Renováveis, “Um potencial desaproveitado,” 2008.
- [7] “SOLARGIS,” Solargis s.r.o., [Online]. Available: <http://solargis.info/>.
- [8] F. Pinto, “Regime Jurídico das Unidades de Produção (UP) Distribuída”.
- [9] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, [Online]. Available: <http://www.portugal.gov.pt/pt/o-governo/arquivo-historico/governos-constitucionais/gc19/os-ministerios/maote.aspx>.
- [10] Portal Energia - Energias Renováveis, “Teoria de funcionamento energia solar fotovoltaica,” [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/teoria-funcionamento-energia-solar-fotovoltaic/>.
- [11] CK Solar Academy, *CIAF - Capítulo 6*.
- [12] wikipedia, “Solar energy,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy.

- [13] Pilkington, “Introduction to Heat & Light,” [Online]. Available:
<https://www.pilkington.com/en-gb/uk/architects/glass-information/about-glass/appearance>.
- [14] wikipedia, “Radiação solar,” [Online]. Available:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_solar.
- [15] VDH SOLAR, “Suntech Power poly”.
- [16] R. Hren, “home power,” [Online]. Available:
<http://www.homepower.com/articles/solar-electricity/equipment-products/peek-inside-pv>.
- [17] Ed Hurley, Eric Tobin, “INTER PV,” [Online]. Available:
http://www.interpv.net/magazine/mag_view.asp?idx=658&page=3&part_code=02.
- [18] CRESESB, “5. Módulos Fotovoltaicos,” [Online]. Available:
http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331.
- [19] CK Solar Academy, *CIAF - Capitulo 7*.
- [20] SMA, [Online]. Available: <http://www.sma-portugal.com/>.
- [21] Fronius, [Online]. Available: <http://www.fronius.com/>.
- [22] N. Mohan, T. M. Undeland e W. P. Robbins, *Power Electronics - Converters, Applications, and Design*.
- [23] J. Pinho e M. Galdino, “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”.

- [24] Portal Energia, *Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*.
- [25] INVOLAR, “MAC500 Usermanual_EN,” [Online]. Available: <http://www.involar.eu/involar/Uploads/upload/2016-05-03/5727c2957cc25.pdf>.
- [26] neosolar energia, “Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes,” [Online]. Available: <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>.
- [27] EFFEKTA, “Solar inverter HX-Series”.
- [28] CK Solar Academy, *CIAF - Capitulo 8*.
- [29] M. H. R. Gomes, *SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA (ELÉTRICA)*.
- [30] D. BERNDT, *Electrochemical Energy Storage*, 2003.
- [31] Victron, “Victron,” [Online]. Available: www.victronenergy.com.
- [32] M. Brain, “How Stuff Works,” [Online]. Available: <http://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery1.htm>.
- [33] Solar-Log, [Online]. Available: <http://www.solar-log.com/>.
- [34] CK Solar Academy, *CIAF - Capitulo 17*.
- [35] Alferpac, [Online]. Available: <http://alferpac.pt/>.
- [36] D. S. Leite, ““Degradação Induzida pelo Potencial (PID) em Módulos Fotovoltaicos”,” 2012.

- [37] S. Miranda, “Degradação Induzida pelo Potencial - Técnicas de Mitigação ao Nível do Módulo Fotovoltaico,” 2012.
- [38] CENERGY MAXPOWER, “An Introduction to Solar PV Modules,” 2014. [Online]. Available: <http://www.cenergymaxpower.com/introduction-solar-pv-modules/>.
- [39] F. Pereira e M. Oliveira, em *Curso Técnico Instalador de energia solar fotovoltaica*, 2011.
- [40] *PORTARIA N.º 949-A/2006 DE 11 DE SETEMBRO - Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão*, 2011.
- [41] CK Solar Academy, *CIAF - Capítulo 11*.
- [42] C. Pereira, “Sistemas de autoconsumo fotovoltaico,” 2015.
- [43] Learn Engineering, “Brushless DC Motor, How it works ?,” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=bCEiOnuODac>.
- [44] Wikipedia, “Brushless DC electric motor,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor.
- [45] E. C. A. Alvarenga, “BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA”.
- [46] A. Azevedo, “EBAH,” [Online]. Available: <http://www.ebah.pt/content/ABAAABb60AE/tipos-bombas>.

10. Anexos

Anexo A

Relatório da simulação em PVsyst do sistema de autoconsumo fotovoltaico de 8.2 kWn.

PVSYST V6.39												18/09/16	Page 1/3
Grid-Connected System: Simulation parameters													
Project :		C.S.S.C											
Geographical Site		Porto				Country				Portugal			
Situation		Latitude		41.26N		Longitude		8.66W					
Time defined as		Legal Time		Time zone UT		Altitude		113 m					
		Albedo		0.20									
Meteo data:		Porto		Synthetic - MeteoNorm 7.1 station									
Simulation variant :		simulaco 1											
		Simulation date		18/09/16 19h37									
Simulation parameters													
Collector Plane Orientation				Tilt		306		Azimuth		06			
Models used				Transposition		Perez		Diffuse		Erbs, Meteonorm			
Horizon				Free Horizon									
Near Shadings				No Shadings									
PV Array Characteristics													
PV module		Si-poly		Model		REC 250PE							
Original PVsyst database		Manufacturer		REC									
Number of PV modules				In series		19 modules		In parallel		2 strings			
Total number of PV modules				Nb. modules		38		Unit Nom. Power		250 Wp			
Array global power				Nominal (STC)		9.50 kWp		At operating cond.		8.55 kWp (506C)			
Array operating characteristics (506C)				U mpp		517 V		I mpp		17 A			
Total area				Module area		62.7 m2		Cell area		55.5 m2			
Inverter													
		Model		Symo 8.2-3-M									
		Manufacturer		Fronius International									
Characteristics				Operating Voltage		150-800 V		Unit Nom. Power		8.20 kWac			
Inverter pack				Nb. of inverters		1 units		Total Power		8.2 kWac			
PV Array loss factors													
Array Soiling Losses								Loss Fraction		3.0 %			
Thermal Loss factor				Uc (const)		20.0 W/m2K		Uv (wind)		0.0 W/m2K / m/s			
Wiring Ohmic Loss				Global array res.		551 mOhm		Loss Fraction		1.6 % at STC			
Module Quality Loss								Loss Fraction		-0.8 %			
Module Mismatch Losses								Loss Fraction		1.0 % at MPP			
Incidence effect, ASHRAE parametrization				IAM =		1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param.		0.05			
User's needs :		Ext. defined as file Cssc.csv											
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
6074	5933	5932	6327	5421	5245	6019	6155	6019	6019	5932	6110	71186	kWh

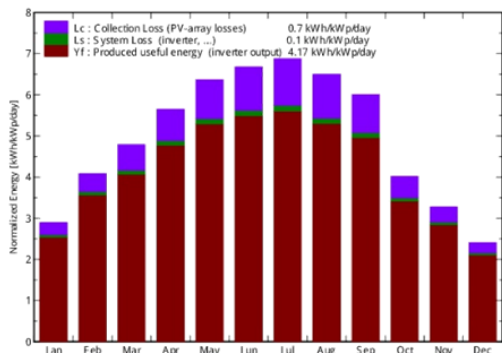
Grid-Connected System: Main results

Project : C.S.S.C
 Simulation variant : simula'2 o 1

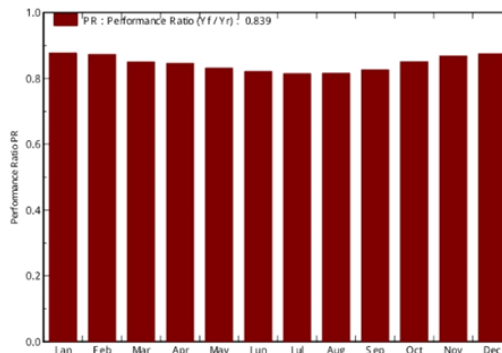
Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	REC 250PE	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules	38	Pnom total 9.50 kWp
Inverter	Model	Symo 8.2-3-M	Pnom 8.20 kW ac
User's needs	Ext. defined as file	Cssc.csv	global 71.2 MWh/year

Main simulation results	Produced Energy	14.46 MWh/year	Specific prod.	1522 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	83.9 %	Solar Fraction SF	19.3 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 9.50 kWp



Performance Ratio PR

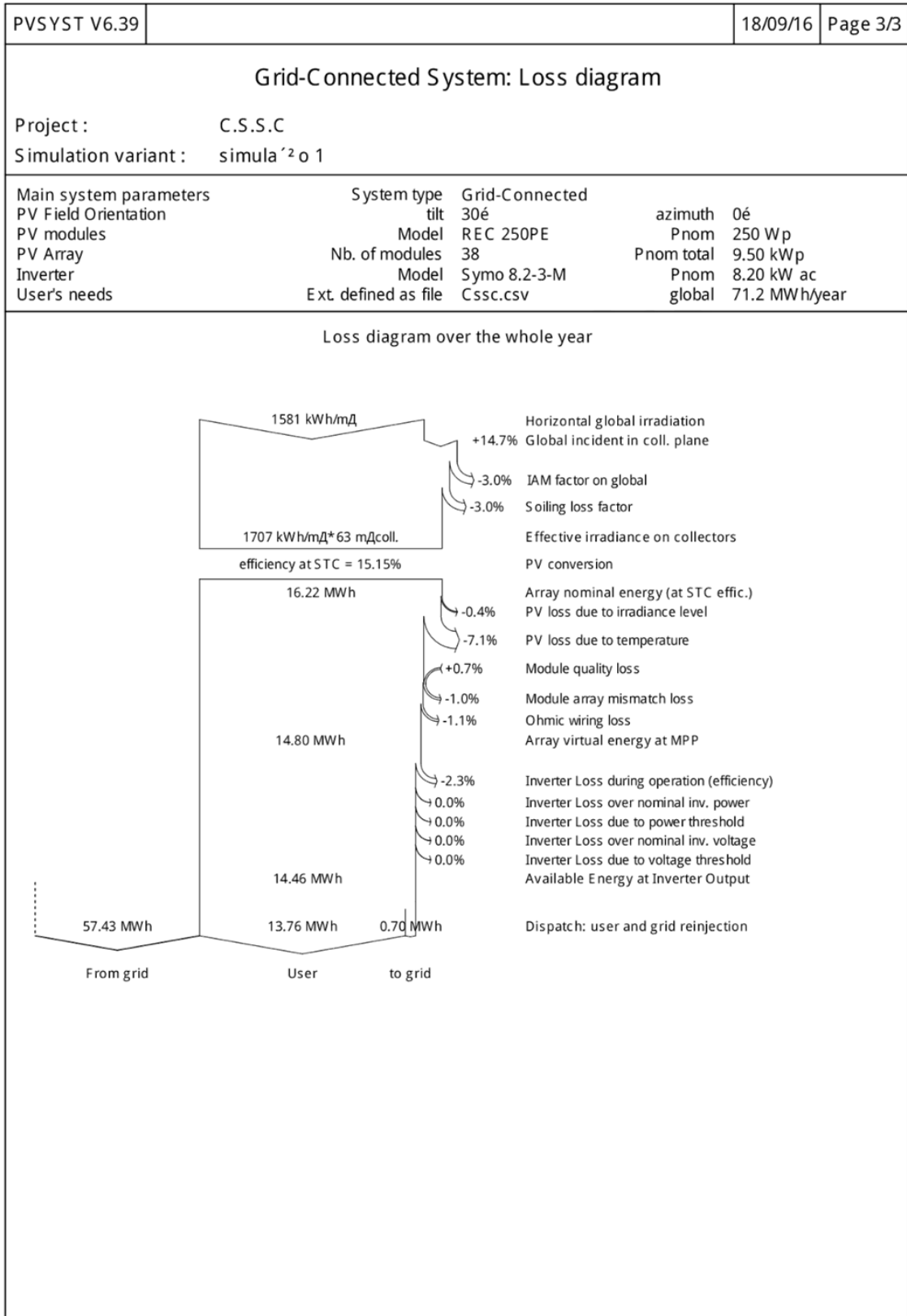


simula'2 o 1

Balances and main results

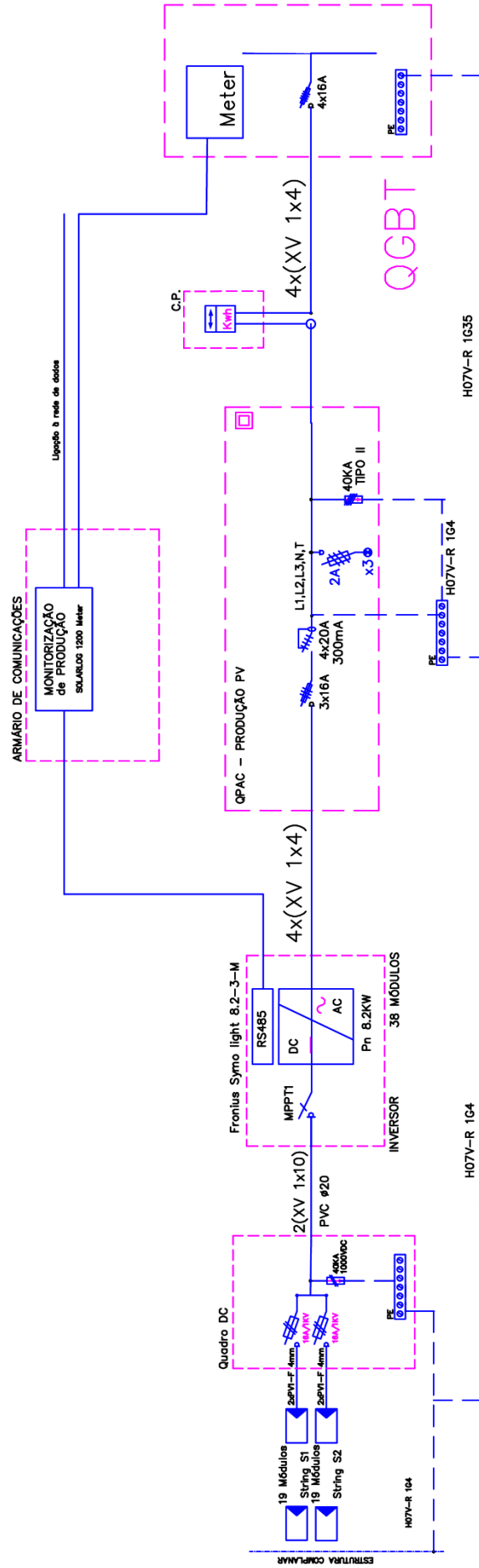
	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E Load MWh	E User MWh	E_Grid MWh
January	56.1	10.04	89.9	84.8	0.767	6.074	0.728	0.021
February	80.2	10.84	114.5	108.0	0.971	5.933	0.946	0.004
March	121.4	12.85	148.5	140.1	1.229	5.932	1.162	0.038
April	155.9	13.64	169.5	159.4	1.394	6.327	1.237	0.125
May	198.4	16.09	197.5	185.4	1.598	5.421	1.461	0.100
June	209.9	18.82	200.5	188.1	1.604	5.245	1.471	0.095
July	219.3	19.64	213.4	200.6	1.692	6.019	1.585	0.067
August	190.9	20.30	201.6	189.9	1.600	6.155	1.485	0.078
September	148.9	18.82	180.3	170.2	1.449	6.019	1.313	0.102
October	91.3	16.71	124.7	117.5	1.032	6.019	0.988	0.020
November	63.4	12.68	98.3	92.5	0.829	5.932	0.790	0.021
December	45.2	10.64	74.7	70.3	0.637	6.110	0.594	0.027
Year	1580.9	15.11	1813.4	1706.8	14.802	71.186	13.760	0.698

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E Load	Energy need of the user (Load)
	GlobInc	Global incident in coll. plane	E User	Energy supplied to the user
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Grid	Energy injected into grid



Anexo B

Esquema elétrico do sistema de autoconsumo fotovoltaico de 8.2 kWn.



Anexo C

Relatório do dimensionamento de sistema de bombagem solar gerado pelo *software* de dimensionamento Compass da Lorentz



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG

Siebenstücken 24
D-24558 Henstedt-Ulzburg
www.lorentz.de

Tel.: +49-(0)4193 8806-700
Fax:
info2015@lorentz.de

quarta-feira, 5 de outubro de 2016

Exemplo2

Projeto de bombagem solar

Parâmetro

Local:	Portugal, Bucelas (38° Norte; 10° Oeste)	Água, temperatura:	20 °C
Rendimento diário necessário:	25 m³; Dimensionamento para época personalizada	Perda por sujidade:	5,0 %
Tipo de tubagem:	plastic, drawn/pressed, new: 0,007 mm	Nível de água estático:	35 m
		Cabo do motor:	250 m
		Comprimento da tubulação:	250 m

Produtos

	Quantidade	Detalhes
PS2-600 HR-14-2 -D	1 pç.	Sistema de bombagem submersível com controlador com DataModule, motor e extremidade de bomba
LC150-P36	10 pç.	1 500 Wp; 5 x 2 módulos; 30 ° inclinado
Cabo do motor	250 m	35 mm² Cabo trifásico para a corrente e cabo monofásico para o aterramento
Tubagem	250 m	35 mm (diâmetro interno) Tubagem
Acessórios	1 conjunto	Well Probe, Pressure Switch, Surge Protector, PV Disconnect 440-40-6

Rendimento diário em época personalizada (Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro)

23 m³

Val. diários

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
Saída [m³]	19	20	24	25	26	26	26	25	24	22	19	18	26
Energia [kWh]	5,1	6,4	8,1	8,9	9,0	8,9	8,9	9,0	8,2	6,7	5,2	4,4	8,8
Irradiação [kWh/m²]	3,6	4,6	5,9	6,6	6,7	6,8	6,8	6,9	6,2	5,0	3,8	3,1	6,7
Chuva [mm]	3,4	3,0	2,5	1,9	1,5	0,60	0,13	0,20	0,90	2,5	3,5	3,4	2,0
Temp. ambiente [°C]	13	13	14	15	17	20	22	22	21	19	16	14	17

Val. horários

	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Saída [m³/h]	0,52	1,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	1,8	0,48
Energia [kWh]	0,12	0,34	0,61	0,83	0,99	1,1	1,1	1,1	0,97	0,80	0,58	0,33	0,12
Irradiação [kWh/m²]	0,084	0,24	0,43	0,60	0,74	0,83	0,86	0,83	0,74	0,60	0,43	0,24	0,084
Temp. ambiente [°C]	12	12	13	15	17	19	21	22	22	22	22	21	21





BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstücken 24
 D-24558 Henstedt-Ulzburg
 www.lorentz.de

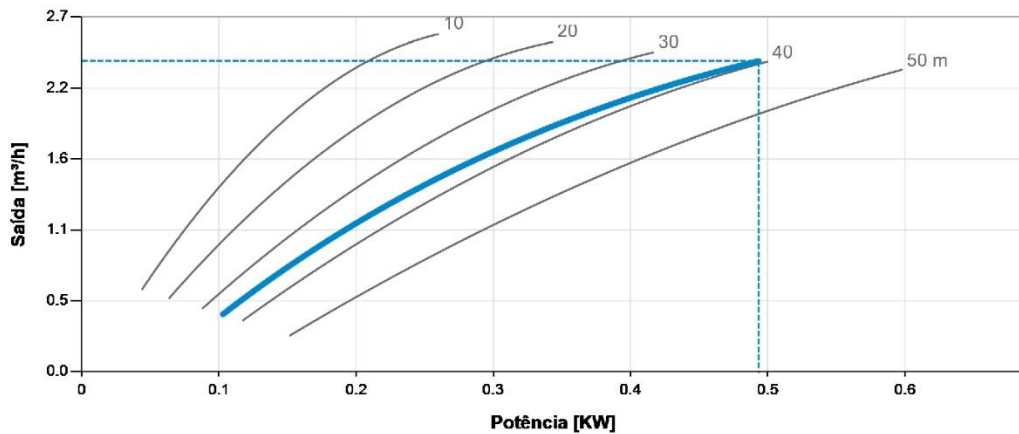
Tel.: +49-(0)4193 8806-700
 Fax:
 info2015@lorentz.de

quarta-feira, 5 de outubro de 2016

Exemplo2

Projeto de bombagem solar

Características do sistema



			800 W/m², 20 °C	Max./STC*
Gerador PV	Temperatura da célula	[°C]	46	25
	Perda térmica	[%]	8,8	-
	Perda por sujidade	[%]	5,0	-
	Pmax	[Wp]	1 040	1 500
	Vmp	[V]	86	94
	Imp	[A]	12	16
	Voc	[V]	104	114
	Isc	[A]	13	17
	Pout	[W]	515	-
	Vout	[V]	100	-
Iout	[A]	5,1	-	
Cabo do motor	Perda de potência	[%]	3,2	7,4
Sistemas de bombagem	Potência do motor	[W]	103	494
	Tensão do motor	[V EC]	18	62
	Corrente do motor	[A]	5,7	8,0
	Velocidade do motor	[rpm]	946	3 290
	Taxa de fluxo	[m³/h]	0,44	2,4
	Eficiência	[%]	38	55
Tubagem	Velocidade de fluxo	[m/s]	0,13	0,69
	Perda por fricção	[m]	0,22	4,3

*STC: Condições de teste padrão para módulos fotovoltaicos, irradiação solar de 1000 W/m², temperatura da célula 25 °C





BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Siebenstücken 24
D-24558 Henstedt-Ulzburg
www.lorentz.de

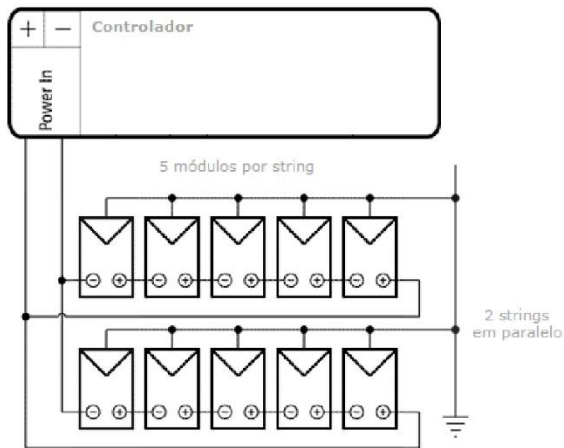
Tel.: +49-(0)4193 8806-700
Fax:
info2015@lorentz.de

quarta-feira, 5 de outubro de 2016

Exemplo2

Projeto de bombagem solar

Esquema elétrico





BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstücken 24
 D-24558 Henstedt-Ulzburg
 www.lorentz.de

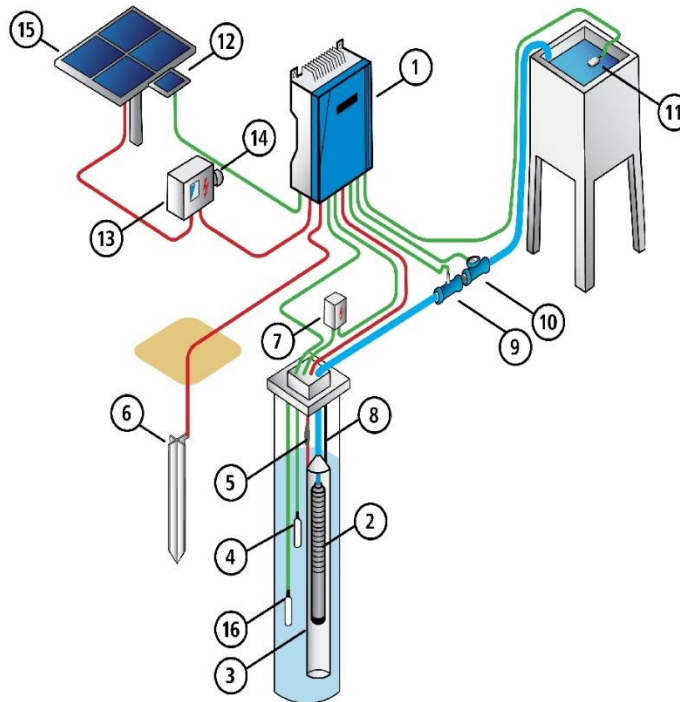
Tel.: +49-(0)4193 8806-700
 Fax:
 info2015@lorentz.de

quarta-feira, 5 de outubro de 2016

Exemplo2

Projeto de bombagem solar

System Layout



- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1: PS2 Controller | 11: Float Switch |
| 2: Submersible Pump | 12: Sun Switch |
| 3: Stilling Tube | 13: PV Disconnect |
| 4: Well Probe | 14: Lightning Surge Protector |
| 5: Cable Splice Kit | 15: PV Generator |
| 6: Grounding Rod | |
| 7: Surge Protector* | |
| 8: Safety Rope | |
| 9: Water Meter | |
| 10: Pressure Sensor | |

*É recomendável instalar um protetor de picos de tensão em cada entrada de sensor do controlador.



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstücken 24
 D-24558 Henstedt-Ulzburg
 www.lorentz.de

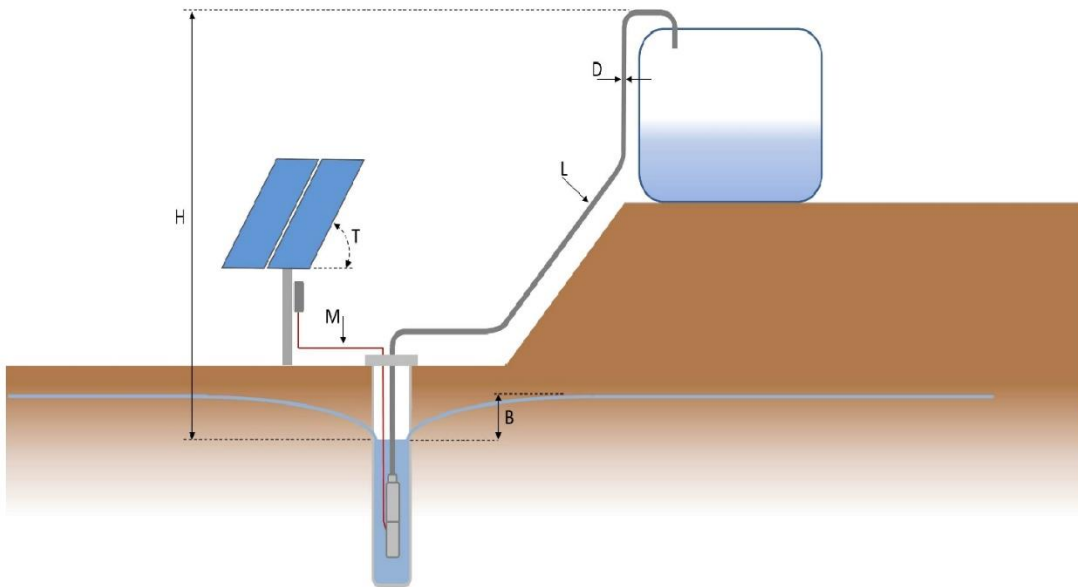
Tel.: +49-(0)4193 8806-700
 Fax:
 info2015@lorentz.de

quarta-feira, 5 de outubro de 2016

Exemplo2

Projeto de bombagem solar

Traçado



H (Nível de água estático):	Altura vertical desde o nível de água dinâmico até ao ponto de entrega mais elevado.
B (Descida no nível de água):	Diferença de nível de água subterrânea, dependendo de recuperação do poço.
D (Diâmetro interior da tubagem)	
L (Comprimento da tubulação):	Tubagem completa da saída da bomba até ao ponto de entrega. Têm de ser adicionados cotovelos e guarnições de comprimento equivalente à tubagem.
M (Cabo do motor):	Cabo entre o controlador e a unidade de bombagem.
T (Ângulo de inclinação):	Ângulo entre o painel PV gerador e o painel horizontal.





PS2-600 HR-14

Sistema de bombagem submersível a energia solar para poços de 4"

Gama de sistemas

Nível	max. 50 m
Taxa de fluxo	max. 2,6 m ³ /h

Dados técnicos

Controlador PS2-600

- Controlo e monitorização
- Entradas de controlo para proteção contra funcionamento a seco, controlo remoto, etc.
- Proteção contra inversão de polaridade, sobrecarga e sobreaquecimento
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) integrado
- Alimentação por bateria: proteção integrada contra descarga total

Potência	max. 0,70 kW
Tensão de entrada	max. 150 V
Ótimo Vmp**	> 68 V
Corrente do motor	max. 13 A
Eficiência	max. 98 %
Temp. ambiente	-40...50 °C
Classe do invólucro	IP68

Motor ECDRIVE 600-HR

- Motor de CC sem escovas isento de manutenção
- Água, enchimento
- Materiais de primeira, aço inoxidável: AISI 304/316
- Sem componentes eletrónicos no motor

Potência nominal	0,7 kW
Eficiência	max. 92 %
Velocidade do motor	900...3 300 rpm
Classe de isolamento	F
Classe do invólucro	IP68
Submersão	max. 150 m

Extremidade de bomba PE HR-14***

- Válvula de retenção
- Materiais de primeira, aço inoxidável: AISI 304/316
- Opcional: proteção contra funcionamento a seco
- Helical rotor pump



Unidade de bombagem PU600 HR-14 (Motor, Extremidade de bomba)

Diâmetro do furo	min. 4,0 in
Água, temperatura	max. 50 °C

Padrões



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

IEC/EN 61702:1995

Os logótipos mostrados refletem as homologações concedidas a esta gama de produtos. Os produtos são encomendados e fornecidos com as homologações específicas para poderem cumprir os requisitos do mercado em questão.

**Vmp: Tensão MPP em condições de teste padrão (STC): radiação solar de 1000 W/m², temperatura da célula de 25 °C

***Especificar a gama de temperaturas no ato de encomenda

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg,
Germany, Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de



Criado por LORENTZ COMPASS 3.1.0.81

Embora todas as especificações e informações sejam fornecidas com a melhor das intenções, é possível que ocorram erros, estando os produtos sujeitos a alterações sem aviso prévio. As imagens podem apresentar divergências em relação aos produtos reais, consoante as regulamentações e os requisitos dos mercados locais.

Sun. Water. Life.

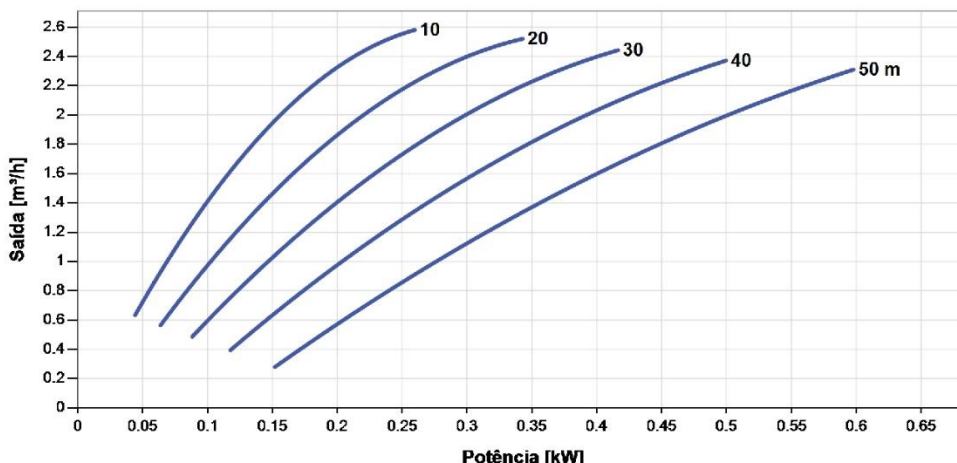


PS2-600 HR-14

Sistema de bombagem submersível a energia solar para poços de 4"

Diagrama de bombagem

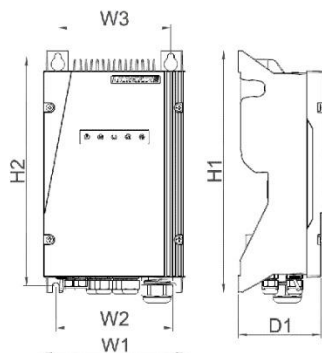
Vmp* > 68 V



Dimensões e pesos

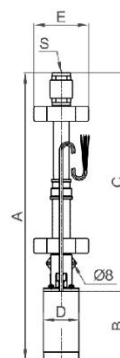
Controlador

- H1 = 352 mm
- H2 = 333 mm
- W1 = 207 mm
- W2 = 170 mm
- W3 = 164 mm
- D1 = 124 mm



Unidade de bombagem**

- A = 771 mm
- B = 185 mm
- C = 586 mm
- D = 96 mm
- E = 147 mm
- S = 1,25 in



	Peso líquido
Controlador	4,5 kg
Unidade de bombagem	12 kg
Motor	7,0 kg
Extremidade de bomba	4,5 kg

*Vmp: Tensão MPP em condições de teste padrão (STC): radiação solar de 1000 W/m², temperatura da célula de 25 °C

**Cortando os distanciadores de borracha, o diâmetro pode ser ajustado para poços de 6" e 4".

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg,
 Germany, Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Criado por LORENTZ COMPASS 3.1.0.81
 Embora todas as especificações e informações sejam fornecidas com a melhor das intenções, é possível que ocorram erros, estando os produtos sujeitos a alterações sem aviso prévio. As imagens podem apresentar divergências em relação aos produtos reais, consoante as regulamentações e os requisitos dos mercados locais.

Sun. Water. Life.



Well Probe

Mechanically Activated Device for Dry Run Protection in Applications with LORENTZ Solar Pump Systems

The switch can be used to detect the water level within a well. When the water level in the well dropped below the level of the well probe, the LORENTZ Controller will stop the pump and indicates Source Low LED.

ORDER INFORMATION

- Item no.: 19-000000 product name: Well probe sensor

FEATURES

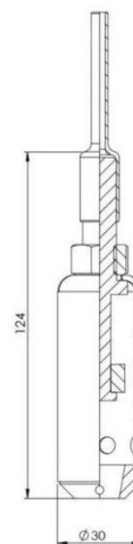
- Reliable dry run protection
- Simple to install
- Trouble free operation
- Corrosion-free
- Splicing kit included

TECHNICAL DATA

- Max. operating temperature 55 °C
- Enclosure class: IP68
Submersion depth: max 50 m
- Cable length: 1.5m
- Wire size: 2x 0.75mm² or AWG 19, waterproofed
- Mounted in vertical position
- Meets the requirements for CE

DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 260 x 170 x 40 mm
10.3 x 6.7 x 1.6 in
- Total weight: 0.1 kg / 0.2 lbs



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany
Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Sun. Water. Life.

All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations.

Pressure Switch

Device for Water Pressure Detection in Applications with LORENTZ Solar Pump Systems

The switch can be used to detect the water level within a tank. When the water level in the tank reaches the maximum, the pressure will increase and the LORENTZ Controller will stop the pump and indicates Tank Full LED.

ORDER INFORMATION

- **Item no.:** 19-000310 **product name:** Pressure Switch 1-5bar

FEATURES

- Reliable water pressure detection
- Simple to install
- Trouble free operation
- Corrosion-free

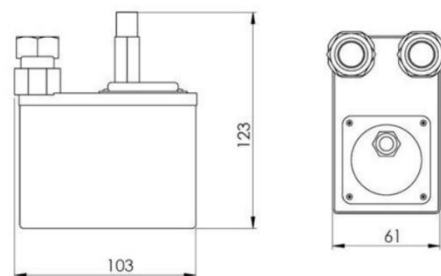


TECHNICAL DATA

- Pressure range between 1 and 5 bar
- 2x cable gland \varnothing 5-9mm
- G 1/4" pipe thread
- Meets the requirements for CE

DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 130 x 105 x 65 mm
5.1 x 4.2 x 2.6 in
- Total weight: 0.5 kg / 1 lbs



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany
 Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Sun. Water. Life.

All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations.



Surge Protector

Device to Protect LORENTZ Pump Accessories from Voltage Spikes

ORDER INFORMATION

- Item no.: 19-000280 product name: Surge Protector

FEATURES

- Reliable surge protection for all LORENTZ pump accessories
- Can be installed inside the PS Controller

TECHNICAL DATA

- Max. voltage: 14 VDC
- Max current 8/20 μ s: 500 A
- Enclosure class: IP65
- Ambient temperature: max. 50°C
- Wire size: 2x 1.5mm² or AWG 16
- Meets the requirements for CE



DIMENSION/WEIGHT

- Packing dimensions: 70 x 45 x 20 mm
 2.8 x 1.8 x 0.8 in
- Total weight 0.1 kg / 0.2 lbs

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany
Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Sun. Water. Life.

All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations.



PV Disconnect 440-40-6

Connection box with DC Disconnect Switch and optional lightning surge protection

ORDER INFORMATION

- Item no.: 19-000136 product name: PV Disconnect 440-40-6
- Item no.: 19-002120 product name: MNSPD-115
- Item no.: 19-002130 product name: MNSPD-300
- Item no.: 19-002140 product name: MNSPD-600

Lightning surge protectors must be ordered separately

FEATURES

- Designed for PS150 – PS4000
- For professional installation of pumping systems

TECHNICAL DATA

- Wiring up to 6 PV-strings in parallel
- DC rated disconnect switch enclosed
- Enclosure class IP 54
- Meets the requirements for CE

PV Disconnect 440-40-6

Max. voltage	440 V DC
Max. current per string	10 A
Max. total current	40 A
Max. no. of strings	6
String cable size	2,5 - 4mm ²
Output cable size	4 - 10mm ²

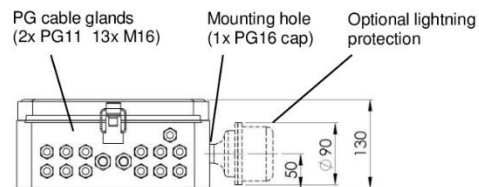
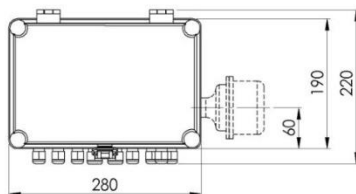


Optional lightning surge protector

- Connects through an existing mounting hole in the PV connect housing
- Proper grounding of the device is mandatory to achieve protection

Controller	MidNite surge protector
PS150 – PS200	MNSPD115
PS600 – PS1800	MNSPD300
PS4000	MNSPD600

DIMENSION/WEIGHT [mm]



Net. Weight: 2,15kg (+0,35kg)

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany
 Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Sun. Water. Life.

All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations

