

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Ciências**  
**ULisboa**

## **Autoconsumo com e sem Produção Fotovoltaica e injeção do excedente na rede**

Luis Azevedo Teixeira dos Santos Graça

**Mestrado Integrado em Engenharia de Energia e Ambiente**

Dissertação orientada por:

José Almeida Silva

Manuel Azevedo

2019



## **Agradecimentos**

Ao Professor José Almeida Silva pela disponibilidade e apoio prestado ao longo do estágio e da elaboração desta dissertação.

Ao Professor Manuel Azevedo pelo apoio prestado durante a minha presença na Muon Electric.

Agradeço a toda a equipa da Muon Electric, que me enriqueceu pessoal e profissionalmente com a sua acessibilidade e fácil integração no grupo de trabalho.

Aos meus pais e irmã.

## Resumo

Esta dissertação baseia-se no trabalho realizado durante um estágio curricular na comercializadora de energia Muon Electric, que pretende trazer para o mercado português kits fotovoltaicos com recurso a armazenamento e acesso a tarifas energéticas personalizadas.

O decreto-lei nº153/2014, de outubro de 2014, vulgarmente designado por lei do autoconsumo, regula a instalação de sistemas fotovoltaicos para Unidades de Pequena Produção (UPP) e Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC). Este novo regime permite ao cidadão tornar-se um *prosumer*, termo inglês derivado da aglomeração dos conceitos de produtor (*producer*) e consumidor (*consumer*) de energia, diminuindo a sua fatura energética e a sua dependência da rede.

O objetivo da dissertação foi o estudo dos sistemas de armazenamento RCT Power, aliados à produção fotovoltaica, e o desenvolvimento de um simulador capaz de prever o desempenho energético dos kits e a sua viabilidade económica.

Para os casos de estudo abordados, foram considerados dois potenciais clientes com tipos de instalação diferentes, um para uma instalação do kit fotovoltaico completo (painéis fotovoltaicos + sistema de armazenamento) e outra apenas para a adição de baterias a um sistema fotovoltaico já existente. Foi também abordada a instalação de um sistema de armazenamento, sem recurso a geração elétrica, que permite explorar a variação dos preços da energia elétrica ao longo do dia, para tarifas bi-horárias e tri-horárias. Verificou-se que a viabilidade económica de sistemas de armazenamento ainda está aquém do desejado, no entanto, a autossuficiência de cada habitação é aumentada com a instalação dos kits. Através de políticas ecológicas e com incentivos governamentais, os kits têm potencial para se tornarem uma opção viável para novas habitações.

**Palavras-Chave:** Fotovoltaico, Armazenamento, Previsão de Consumo. Viabilidade Económica, RCT Power, Simulador.

## Abstract

This thesis is based on the work that was made during the curricular internship in the energy marketer Muon Electric, that intends to bring to the Portuguese market photovoltaic kits with storage and access to personalized energy tariffs.

The decree-law nº153/2014, from october 2014, commonly designated as self-consumption law, sets the regime for the installation of photovoltaic systems for Small Production Units (UPP) and Production Units for Self-consumption (UPAC). This new regime allows the common citizen to become a prosumer, which is a junction of the terms producer and consumer, reducing his energy bill and his dependency from the grid.

This dissertation focuses on the study of the energy storage systems developed by RCT Power, with resource to photovoltaic production, and the development of a simulator that can predict the kits' energy performance and its economic viability

For the case studies in this thesis, were considered two different households, one with full installation from scratch and another with just the adding of the storage system. It was also considered the installation of a storage system, with no access to power generation, that aims to explore the different electricity prices throughout the day, for dual tariffs. It was confirmed that the economic viability of the storage system is still behind what is intended, although the self-sufficiency of each household is increased with the installation of the photovoltaic kits. Through ecologic policies and governmental incentives, there is potential for the kits to become a valid option for new households.

**Keywords:** Photovoltaic, Storage, Consumption Prediction, Economic Viability, RCT Power, Simulator.

# Capítulo 1 Conteúdo

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Índice de Figuras .....	vi
Índice de Tabelas .....	viii
Siglas e Acrónimos .....	ix
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 – Estado da Arte.....	1
1.2 Objetivos e Descrição .....	3
Capítulo 2 - Metodologia .....	4
2.1 Enquadramento Legal e Económico .....	4
2.1.1 Decreto-Lei 153/2014 .....	4
2.1.2 Taxas de Registo .....	5
2.1.3 Remuneração do Excedente Energético Vendido à Rede.....	5
2.1.4 Investimento Inicial e Custo de Substituição.....	6
2.1.5 CF (Cash Flow) e TIR (Taxa Interna de Retorno) .....	7
2.1.6 Período de Retorno.....	7
2.2 Modelos Tarifários.....	8
2.3 Constituição do Kit Fotovoltaico .....	9
2.4 Modelos de Instalação do Kit Fotovoltaico.....	15
2.4.1 Modelo Só Armazenamento .....	15
2.4.2 Modelo com Produção e Armazenamento.....	16
2.5 Métodos de Análise.....	17
2.5.1 Algoritmo .....	19
2.6 Simulador .....	21
2.6.1 Simulação da Radiação .....	21
2.6.2 Perfis de Consumo .....	21
2.6.3 Dados de Entrada .....	23
2.6.4 Dados de Saída.....	24
Capítulo 3 – Resultados e Discussão .....	26
3.1 Caso de Estudo 1.....	26
3.2 Caso de Estudo 2.....	33
3.3 Caso de Estudo 3.....	38
Capítulo 4 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	41
4.1 Desenvolvimentos Futuros .....	43

## **Capítulo 1 Conteúdo**

Referências Bibliográficas .....	44
Capítulo 5 - Anexos .....	45

# Índice de Figuras

FIGURA 1 - ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DE ADIÇÃO DE SISTEMA DE ARMAZENAMENTO A SISTEMA ELECTROPRODUTOR JÁ EXISTENTE.....	11
FIGURA 2 - ESQUEMA ACOPLAMENTO CC.....	12
FIGURA 3 – ESQUEMA ACOPLAMENTO CC + INSTALAÇÃO JÁ EXISTENTE .....	12
FIGURA 4 - SISTEMA DE ARMAZENAMENTO SEM PRODUÇÃO: (1) POWER STORAGE AC (2) POWER BATTERY (3) POWER SENSOR (4) CARGAS (5) POWER APP.....	15
FIGURA 5 - SISTEMA DE ARMAZENAMENTO CA ACOPLADO PARA EXPANSÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EXISTENTES: (1) PAINÉIS FOTOVOLTAICOS JÁ EXISTENTES (2) INVERSOR JÁ EXISTENTE (3) POWER STORAGE AC (4) POWER BATTERY (5) POWER SENSOR (6) CARGAS (7) POWER APP .....	16
FIGURA 6 - SISTEMA DE AUTOCONSUMO ACOPLADO CC COM ARMAZENAMENTO: (1) NOVOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (2) POWER STORAGE DC (3) POWER BATTERY (4) POWER SENSOR (5) CARGAS (6) POWER APP.....	16
FIGURA 7 - SISTEMA DE AUTOCONSUMO ACOPLADO CC COM ARMAZENAMENTO, COM INSTALAÇÃO JÁ EXISTENTE: (1) NOVOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS (2) POWER BATTERY (3) POWER STORAGE DC (4) PAINÉIS FOTOVOLTAICOS JÁ EXISTENTES (5) INVERSOR JÁ EXISTENTE (6) POWER SENSOR (7) CARGAS (8).....	17
FIGURA 8 – DIVISÃO DO CONSUMO E DA PRODUÇÃO DIÁRIA PARA UMA HABITAÇÃO TÍPICA DURANTE UM MÊS DE VERÃO EM: CONSUMO ENERGÉTICO DA HABITAÇÃO (A+C+D), PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA (B+C), AUTOCONSUMO ABSOLUTO (C+D), AUTOCONSUMO INSTANTÂNEO (C), AUTOCONSUMO A PARTIR DA BATERIA (D) E ENERGIA VENDIDA À REDE (E).....	18
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO PARA SISTEMAS COM PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA.....	20
FIGURA 10 - PERFIL DE CONSUMO BTN C PARA UMA SEMANA DE JANEIRO (AZUL) E UMA SEMANA DE JULHO (LARANJA).....	22
FIGURA 11 - PERFIL DE CONSUMO BTN B PARA UMA SEMANA DE JANEIRO (AZUL) E UMA SEMANA DE JULHO (LARANJA).....	22
FIGURA 12 - PERFIL DE CONSUMO BTN A PARA UMA SEMANA DE JANEIRO (AZUL) E UMA SEMANA DE JULHO (LARANJA).....	22
FIGURA 13 - EXEMPLO DA DIVISÃO DA PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA OBTIDA PELO SIMULADOR .....	25
FIGURA 14 - EXEMPLO DA DIVISÃO DOS CONSUMOS OBTIDA PELO SIMULADOR.....	25
FIGURA 15 - VIVENDA CASO ESTUDO 1.....	26
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO ANTES DA INSTALAÇÃO DO KIT FOTOVOLTAICO (CASO DE ESTUDO 1) .....	28
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DA REDE DEPOIS DA INSTALAÇÃO DO KIT FOTOVOLTAICO (CASO DE ESTUDO 1).....	28
FIGURA 18 - DESEMPENHO ENERGÉTICO DO SISTEMA PARA UM DIA TÍPICO DE INVERNO (CASO DE ESTUDO 1) .....	29
FIGURA 19 - ESTADO DE CARGA PARA UM DIA TÍPICO DE INVERNO (CASO DE ESTUDO 1) .....	29
FIGURA 20 - DESEMPENHO ENERGÉTICO DO SISTEMA PARA UM DIA TÍPICO DE VERÃO (CASO DE ESTUDO 1) .	30
FIGURA 21 - ESTADO DE CARGA PARA UM DIA TÍPICO DE VERÃO (CASO DE ESTUDO 1).....	30

FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO (CASO DE ESTUDO 1) .....	31
FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA (CASO DE ESTUDO 1).....	31
FIGURA 24 - HABITAÇÃO DO CASO DE ESTUDO 2.....	33
FIGURA 25 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO ANTES DA INSTALAÇÃO DO KIT FOTOVOLTAICO (CASO DE ESTUDO 2) .....	34
FIGURA 26 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DA REDE DEPOIS DA INSTALAÇÃO DO KIT FOTOVOLTAICO (CASO DE ESTUDO 2).....	35
FIGURA 27 - DESEMPENHO ENERGÉTICO DO SISTEMA PARA UM DIA TÍPICO DE INVERNO (CASO DE ESTUDO 2) .....	35
FIGURA 28 - DESEMPENHO ENERGÉTICO DO SISTEMA PARA UM DIA TÍPICO DE VERÃO (CASO DE ESTUDO 2) .	36
FIGURA 29 - ESTADO DE CARGA PARA UM DIA TÍPICO DE VERÃO (CASO DE ESTUDO 2).....	36
FIGURA 30 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO (CASO DE ESTUDO 2) .....	37
FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO PV (CASO DE ESTUDO 2) .....	37
FIGURA 32 - HISTÓRICO DE CONSUMO RCT POWER APP .....	39
FIGURA 33 - DIAGRAMA DE CARGA .....	39
FIGURA 34 - FICHA TÉCNICA JAP60S01-260W .....	45
FIGURA 35 - FICHA TÉCNICA JAP60S01-260W (CONT.) .....	46
FIGURA 36 - FICHA TÉCNICA RCT POWER BATTERY .....	47
FIGURA 37 - FICHA TÉCNICA RCT POWER STORAGE DC .....	48
FIGURA 38 - FICHA TÉCNICA RCT POWER STORAGE DC .....	49
FIGURA 39 - FICHA TÉCNICA - RCT POWER SENSOR .....	50
FIGURA 40 - TARIFA PRÉ-PAGO ANUAL MUON ELECTRIC .....	53

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Requisitos das UPAC sem injeção na RESP, em função da potência de ligação. [11]	4
Tabela 2.2 - Taxas de registo das unidades de produção. [13]	5
Tabela 2.3 - Preço mensal médio do mercado diário para Portugal [14]	6
Tabela 2.4 - Classificação Baixa Tensão Normal	8
Tabela 2.5 - Especificações técnicas das diferentes capacidades da Power Battery (*Preço: os valores foram obtidos por acerto direto com o fornecedor e não incluem IVA, nem a margem referente à Muon Electric)	10
Tabela 2.6 - Especificações técnicas dos diferentes modelos de Power Storage AC (*Preço: os valores foram obtidos por acerto direto com o fornecedor e não incluem IVA, nem a margem referente à Muon Electric)	11
Tabela 2.7 - Especificações técnicas dos diferentes modelos de Power Storage DC (*Preço: os valores foram obtidos por acerto direto com o fornecedor e não incluem IVA, nem a margem referente à Muon Electric)	13
Tabela 2.8 - Fator Aplicado à Instalação Fotovoltaica, com painéis orientados a $\phi$	21
Tabela 2.9 – Taxa de conversão dos consumos de tarifa Simples para tarifa Bi-horária	23
Tabela 3.1 - Características da Habitação Caso de Estudo 1	26
Tabela 3.2 - Histórico de Consumos do Caso Estudo 1	27
Tabela 3.3 - Novas tarifas Caso Estudo 1	27
Tabela 3.4 - Resultados Caso Estudo 1	32
Tabela 3.5 - Características da Habitação Caso de Estudo 2	33
Tabela 3.6 - Histórico de Consumos do Caso Estudo 1	34
Tabela 3.7 - Novas tarifas Caso Estudo 2	34
Tabela 3.8 - Resultados Caso Estudo 2	38
Tabela 5.1 - Resultados Económicos Caso de Estudo 1	51
Tabela 5.2 - Resultados Económicos Caso de Estudo 2	52

## Siglas e Acrónimos

AC	Alternated Current ( <i>Corrente Alternada</i> )
AT	Alta Tensão
BMS	Battery Management System ( <i>Sistema de Gestão de Baterias</i> )
BTN	Baixa Tensão Normal
BTE	Baixa Tensão Especial
CF	<i>Cash Flow</i>
CUR	Comercializador de Último Recurso
DC	Direct Current ( <i>Corrente Contínua</i> )
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto Lei
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases de Efeito Estufa
IEA	International Energy Agency ( <i>Agência Internacional da Energia</i> )
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Eletricidade
PPC	Padrões de Poder de Compra
PV	Photovoltaic ( <i>Fotovoltaico</i> )
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SoC	State of Charge ( <i>Estado de Carga</i> )
SERUP	Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção
TIR	Taxa Interna de Retorno
UE	União Europeia
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidades de Pequena Produção



# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1 – Estado da Arte

O início do séc. XXI, conjugado com a segunda metade do séc. XX, revelou-se um período de grande desenvolvimento tecnológico e social. O sector energético assume-se como a base deste desenvolvimento. No entanto, o sistema convencional de produção de energia não tem em conta a limitação das suas matérias-primas e o impacto que a sua exploração tem no meio ambiente. Com um futuro que não aparenta abrandar esta evolução, torna-se imperativo alterar a atual abordagem ao sistema electroprodutor. A transição para um sector energético 100% renovável e um aumento da sua eficiência, para além da redução drástica da emissão de gases de efeito de estufa (GEE), minimiza a exploração recorrente de matérias primas.

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento da produção de energia a partir de fontes renováveis (FER), o que demonstra uma tendência global neste sentido. Na União Europeia, a quota de energias renováveis presentes no consumo final bruto de energia passou de cerca de 8,5% em 2004 para 17% em 2016 e visa conseguir atingir uma percentagem de 20% até 2020 [1].

A UE, no âmbito do seu quadro de ação relativo ao clima e à energia (Pacote Energia-Clima 2030) estabeleceu que, em 2030, o seu consumo total de energia teria de ser pelo menos 27% de origem renovável, sendo este objetivo coletivamente atingido por todos os estados membros, que são incentivados a fixar valores nacionais mais ambiciosos [2].

Através de uma diretiva relativa à promoção de utilização de energia de FER, ficou definido pela UE que Portugal até 2020 teria de alcançar 31% de energia proveniente de FER no consumo final bruto de energia e 10% no sector dos transportes [2].

Visto que Portugal não tem fontes de combustíveis fósseis (ex: carvão, petróleo e gás natural), a produção de energia via FER reduz a necessidade de importação dessas fontes energéticas, tornando o país energeticamente mais independente do estrangeiro e reduzindo a emissão de GEE para a atmosfera [2].

Devido à redução do preço de sistemas fotovoltaicos, a geração de energia elétrica, com ligação à rede, com ou sem sistemas de armazenamento tem-se tornado uma aposta cada vez mais atrativa. Sistemas PV normalmente eram instalados segundo duas configurações: ligados à RESP sem armazenamento ou em sistemas *off-grid* com recurso a armazenamento [3]. De acordo com a Agência Internacional da Energia (IEA), à medida que os sistemas fotovoltaicos se tornam cada vez mais comuns, a sua integração e gestão na rede, aliadas a soluções de armazenamento, tornam-se fatores cada vez mais importantes para o bom funcionamento do sistema elétrico nacional [4]. A necessidade de armazenamento de energia, no lado da procura, introduz uma terceira configuração: sistemas PV com recurso a armazenamento e ligação à rede [5].

Em maio de 2019, Portugal apresenta os preços de energia mais elevados da Europa face ao nível de vida, representando 38,03 Padrões de Poder de Compra (PPC) por kW, sendo que o valor real só é mais elevado na Alemanha [6]. Estes valores têm grande influência nos orçamentos familiares e na gestão das empresas, e torna-se cada vez mais vantajosa a instalação de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) e Unidades de Pequena Produção (UPP).

Devido à diminuição de preço dos sistemas fotovoltaicos e à redução das tarifas bonificadas, a venda de energia à rede deixou de ser vantajosa em relação ao consumo da própria. Para regular esta nova forma de fluxo de energia, o Decreto Lei nº 153/2014 de 20 de outubro formula o regime jurídico para

a instalação de UPAC e UPP. As UPAC são concebidas para consumir aquilo que produzem *in situ* e comprar à rede o déficit, ao contrário das UPP que injetam na rede tudo o que produzem, e compram à rede toda a energia elétrica que necessitam [7].

Para o correto dimensionamento de uma UPAC deixou de ser preciso saber apenas a potência contratada do consumidor e a área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, mas passou a ser essencial conhecer o perfil de consumo do consumidor, de modo a evitar um sobredimensionamento que injetasse um excedente fotovoltaico demasiado importante na rede.

As principais vantagens que atraem os potenciais investidores são a redução da fatura energética, traduzida numa poupança económica no final do mês, e a rentabilidade financeira desse investimento, no tempo de vida dos painéis fotovoltaicos. Mas para que este proveito seja refletido no final do projeto, há que dimensionar corretamente a UPAC. A adição de sistemas de armazenamento que apoiem este autoconsumo é o tema central desta dissertação.

F.M. Camilo et al. chegou à conclusão de que, devido ao atual quadro legal em Portugal, novos sistemas fotovoltaicos que não incluam autoconsumo não são economicamente atrativos e que por isso o autoconsumo é encorajado [8].

Quoilin et al. determinou que o autoconsumo não é linear e é quase assintoticamente horizontal em função do dimensionamento fotovoltaico e de armazenamento. Atingir 100% de autoconsumo não é uma opção realista, visto que seria necessário um sobredimensionamento dos kits fotovoltaicos. Para uma habitação europeia típica, o valor de autossuficiência sem recurso a sistemas de armazenamento varia entre 30% e 37%, sendo ligeiramente superior nos países do Sul. Adicionar baterias ao sistema produtor PV apenas seria economicamente vantajoso se o seu preço ficasse abaixo dos 214€/kWh, valor que não corresponde ao atual preço atualidade de mercado [9].

O correto dimensionamento das baterias é importante não só pela sua capacidade de armazenamento, mas também pelo reduzido tempo de vida que baterias mais pequenas apresentam devido ao maior stress energético imposto pelo sistema. Uma bateria com maior capacidade irá precisar de uma menor profundidade de descarga, aumentando o seu tempo de vida [10].

Toda a literatura converge para a mesma conclusão: sistemas de autoconsumo, se bem dimensionados, podem trazer vantagens económicas ao consumidor diminuindo a sua fatura energética e a sua dependência da rede. No entanto, se se recorrer a sistemas de armazenamento, apesar de se elevar a sua taxa de autoconsumo e autossuficiência, os atuais preços das baterias não permitem que o investimento seja amortizado no tempo de vida dos equipamentos.

## 1.2 Objetivos e Descrição

Esta dissertação foi feita no contexto de um estágio profissional realizado na Muon Electric, Lda.

A Muon Electric pretende agilizar o processo de resposta a clientes interessados na transição para um regime de autoconsumo e autossuficiência, pela aquisição de um kit fotovoltaico. Baseado nos princípios referidos anteriormente, o trabalho desenvolvido nesta dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de um simulador capaz de fazer uma aproximação do perfil de consumo do potencial cliente e da exposição solar que este teria caso instalasse um sistema fotovoltaico. Após a determinação dessas variáveis é possível responder às seguintes questões:

- Qual a potência do sistema fotovoltaico a instalar?
- Qual a capacidade do sistema de armazenamento a instalar?
- Qual a tarifa energética que melhor se aplica?
- Qual o custo do investimento inicial?
- Qual a poupança refletida na fatura energética?

Respondendo a estas questões podemos avaliar a viabilidade económica da instalação dos kits fotovoltaicos.

Nesta dissertação está organizada da forma seguinte:

- Capítulo 2 – Metodologia: neste capítulo serão estudados os conceitos necessários à compreensão do funcionamento do simulador e do seu algoritmo, assim como os elementos constituintes dos kits fornecidos pela RCT Power, em parceria com a Muon Electric.
- Capítulo 3 – Casos de Estudo: neste capítulo serão apresentados os resultados para três tipos de instalação, usando propostas reais de potenciais clientes Muon Electric.
- Capítulo 4 – Conclusão e Trabalhos Futuros: neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos e explicada a visão da Muon Electric para este projeto a longo prazo.

## Capítulo 2 - Metodologia

### 2.1 Enquadramento Legal e Económico

#### 2.1.1 Decreto-Lei 153/2014

O Decreto Lei 153/2014, de 20 de outubro, implementou o regime jurídico para as UPP e UPAC, revogando os anteriores existentes para a micro (DL 363/2007) e miniprodução (DL 34/2011), tornando-se atualmente no único regime jurídico que regula a produção descentralizada em Portugal. É sob esta lei que é regulada a atividade de produção de energia, renovável ou não renovável, desde que previamente registada no Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP).[11]

Esta dissertação incide apenas sobre as UPAC pelo que apenas estas serão aprofundadas em termos legislativos, sendo os seus requisitos legais resumidos na Tabela 2.1:

Potência de Ligação	< 200 W	200 W – 1500 W	1.5 kW – 1 MW	>1 MW
Registo	–	Mera comunicação prévia	Cert. Exploração	Licença Exploração
Taxas de Registo	–	–	Sim	Sim
Contagem	–	–	Telecontagem	Telecontagem
Remuneração do excedente	Só se existir registo	Só se existir registo	Sim	A ser definido com contraparte
Compensação	–	–	Sim	Sim
Seguro Resp. Civil	–	–	Sim	Sim

Tabela 2.1 - Requisitos das UPAC sem injeção na RESP, em função da potência de ligação. [11]

A potência de ligação define-se como sendo a potência máxima que o produtor pode injetar na RESP e terá de ser igual ou inferior à potência contratada. A potência instalada não poderá ser superior ao dobro da potência de ligação à RESP.

Para potências inferiores a 200W, o consumidor está isento de qualquer controlo prévio e para potências entre 200W e 1,5kW apenas terá de fazer uma mera comunicação prévia à Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), caso pretenda estar ligado à RESP e não vender o excedente fotovoltaico. Se houver fornecimento de energia não consumida à RESP, é necessário um registo prévio da instalação e um certificado de exploração, mediante a celebração de um contrato com o Comercializador de Último Recurso (CUR), entidade a que é vendida essa energia. Se a UPAC tiver uma potência superior a 1,5kW é obrigatória a instalação de um contador de energia elétrica. [12]

A energia produzida é injetada preferencialmente na instalação de consumo, mas caso haja excedente de produção instantânea, este pode ser injetado na RESP, apesar de se pretender que a capacidade de produção da unidade esteja adequada ao consumo da habitação, para minimizar essa injeção, visto não ser economicamente vantajoso.

## 2.1.2 Taxas de Registo

Como previamente indicado, qualquer instalação, com potência igual ou superior a 200W, está sujeita a registo no SERUP e a este registo está associado o pagamento de uma taxa. Após a instalação da unidade de produção e a sua aprovação segundo os padrões legais é emitido o certificado de exploração e requerido o pagamento segundo a Tabela 2.2:

Potência Instalada	Taxa sem injeção na RESP	Taxa com injeção na RESP
<1.5 kW	–	30 €
1.5 – 5 kW	70 €	100 €
5 – 100 kW	175 €	250 €
100 – 250 kW	300 €	500 €
250 kW – 1 MW	500 €	750 €

Tabela 2.2 - Taxas de registo das unidades de produção. [13]

## 2.1.3 Remuneração do Excedente Energético Vendido à Rede

À produção fotovoltaica para autoconsumo está inerente um excedente energético, maior durante os meses de Verão, devido à maior exposição solar, excetuando, claro, um sistema subdimensionado. Para evitar desperdícios energéticos, este excedente pode ser vendido à RESP.

O valor de compra desta energia está dependente das tarifas estabelecidas mensalmente pelo Operador de Mercado Ibérico (OMIE), para Portugal. Essa remuneração é descrita pela equação seguinte:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (2.1)$$

- $R_{UPAC,m}$  - Remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês “m” [€];
- $E_{fornecida,m}$  - Energia fornecida no mês “m” [kWh];
- $OMIE_m$  - Valor proveniente da média aritmética simples dos preços de fecho do OMIE para Portugal (mercado diário), relativos ao mês “m” [€/kWh];
- 0.9 - 90% do valor é remunerado. 10% do valor  $OMIE_m$  é para cobrir os custos de injeção;
- m - Mês a que se refere a contagem elétrica fornecida à RESP

Para os valores do mercado ibérico de energia foram considerados, relativamente a 2018, os seguintes valores:

Mês	OMIE (€/MWh)
janeiro	51,63
fevereiro	54,98
março	37,75
abril	42,66
maio	55,08
junho	58,48
julho	61,84
agosto	64,29
setembro	71,3
outubro	65,38
novembro	62,01
dezembro	61,87

Tabela 2.3 - Preço mensal médio do mercado diário para Portugal [14]

As UPAC estão isentas de qualquer taxa de compensação mensal, isenção que desaparecerá quando a potência instalada em UPAC for superior a 1% da potência instalada no Sistema Elétrico Nacional (SEN). Ao contrário das UPP, não existe quota anual para instalação de UPAC.

## 2.1.4 Investimento Inicial e Custo de Substituição

O preço final do kit fotovoltaico é dado pelos seguintes constituintes:

$C_{\text{painéis}}$  – preço dos painéis fotovoltaicos

$C_{\text{PowerStorageDC}}$  – preço do Power Storage DC

$C_{\text{PowerStorageAC}}$  – preço do Power Storage AC

$C_{\text{sensor}}$  – preço do RCT Power Sensor

$C_{\text{baterias}} = n * C_{\text{MóduloBateria}} + C_{\text{BMS}}$

$n$  – número de módulos da bateria

$C_{\text{MóduloBateria}}$  – preço de cada módulo

$C_{\text{BMS}}$  – preço do Battery Management System

O investimento inicial depende do sistema que vai ser instalado. Assim, são considerados três custos dos kits: Nova Instalação ( $C_{nova}$ ), Expansão da Instalação ( $C_{exp}$ ) e Apenas Armazenamento ( $C_{arm}$ ), dados por:

$$C_{nova} = C_{painéis} + C_{PowerStorageDC} + C_{baterias} + C_{sensor} \quad (2.2)$$

$$C_{exp} = C_{painéis} + C_{PowerStorageAC} + C_{baterias} + C_{sensor} \quad (2.3)$$

$$C_{arm} = C_{PowerStorageAC} + C_{baterias} + C_{sensor} \quad (2.4)$$

A estes custos ainda é necessário adicionar custos de instalação e estrutura de apoio para os painéis, caso necessária. Estes valores são variáveis de instalação para instalação, pelo que no simulador é deixado para preencher de acordo com o negociado com o instalador.

Os painéis fotovoltaicos têm um tempo de vida de aproximadamente 25 anos [Anexo A1], superior ao do sistema de armazenamento, que tem garantia de 10 anos, mas estima-se que dure até aproximadamente os 12 anos com uma capacidade de 80% (valor divulgado pela RCT Power). Apesar de ser possível trocar o sistema de armazenamento e os Power Storage quando estes chegam ao seu fim de vida, por questões práticas, não foi considerado o preço de troca, visto que um dos principais objetivos do simulador é certificar que o tempo de vida do sistema completo é superior ao período de retorno do investimento.

## 2.1.5 CF (Cash Flow) e TIR (Taxa Interna de Retorno)

A TIR definida pela equação 2.5 avalia a rentabilidade de um dado projeto. A TIR considera o *cash flow* de cada ano ( $i$ ), até ao fim do tempo de vida dos equipamentos. Nesta dissertação, considera-se o período máximo de análise 25 anos, sendo o tempo de vida dos equipamentos com maior longevidade, ou seja, os painéis fotovoltaicos.

$$0 = \sum_{j=0}^{25} \frac{CF_j}{(1+TIR)^j} \quad (2.5)$$

Esta equação é resolvida pela ferramenta Excel, sendo que o primeiro *cash flow* corresponde ao investimento inicial, ou seja, um valor negativo.

## 2.1.6 Período de Retorno

O período de retorno corresponde ao intervalo de tempo que o consumidor demora a amortizar o seu investimento inicial, neste caso, através da redução da fatura energética. Durante a simulação é necessário manter este valor o mais reduzido possível, pois um elevado período de retorno torna a venda destes sistemas difícil.

$$\text{Período de Retorno} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Cashflow por período}} \quad (2.6)$$

Visto que o preço dos sistemas de armazenamento provavelmente não cairá drasticamente a curto/médio prazo, a estratégia da Muon Electric é tentar igualar o período de retorno com o tempo médio de vida do sistema RCT Power, e vender o produto como um sistema de autossuficiência aliado à diminuição da pegada ecológica.

---

## 2.2 Modelos Tarifários

Em Portugal, diferentes potências contratadas e diferentes consumos anuais levam a diferentes tipos de contrato de eletricidade, que podem ser classificados por: Baixa Tensão Normal (BTN), Baixa Tensão Especial (BTE), Média Tensão (MT), Alta Tensão (AT) e Muito Alta Tensão (MAT). Como a Muon Electric pretende apenas focar-se no sector doméstico e pequenos negócios, apenas será aprofundada a BTN, cuja potência contratada é inferior a 41.4 kVA e que ainda pode ser dividida em três subgrupos, como indicado na Tabela 4:

	Potência Contratada	Consumo Anual
BTN A	> 13,8 kVA	-
BTN B	<= 13,8 kVA	> 7140 kWh
BTN C	<= 13,8 kVA	<= 7140 kWh

Tabela 2.4 - Classificação Baixa Tensão Normal

No que diz respeito aos tarifários, nos vários tipos de contrato, é de salientar que os pequenos consumidores, BTN e BTE são aqueles onde a energia é mais dispendiosa, principalmente durante o período diurno (que inclui período de cheias e de ponta e acrescenta-se o valor da potência em horas de ponta). Já nos consumidores em MT, AT e MAT os preços são mais competitivos, dado ao elevado consumo e à grande potência instalada [35].

A Muon Electric, sendo também uma comercializadora de energia, tem controlo sobre a forma como pretende cobrar a energia consumida a partir da rede, energia esta de origem 100% renovável.

Para além dos modelos clássicos que dividem o dia em diferentes períodos horários com preços de energia respetivamente diferentes: “Simples”, “Bi-horário” e “Tri-horário”, a Muon Electric criou também modelos de pré-pagamento mensal, trimestral, semestral e anual, que se baseiam numa estimativa do consumo para esses períodos. Os preços variam consoante o plano escolhido. No entanto, quando o cliente opta pela aquisição de um kit RCT Power através da Muon Electric, passa a ter acesso às tarifas do plano pré-pago anual, que podem ser consultadas na Figura 38, no Anexo H.

O consumidor ao comprar energia sobre a forma de pré-pagamento compromete-se, de certa maneira, a fixar o seu consumo, trazendo estabilidade à rede. Esta estabilidade reflete-se em preços energéticos mais reduzidos, e sendo a Muon Electric pioneira neste modelo de pagamento consegue preços muito competitivos no mercado liberalizado.

Ao adquirir o kit fotovoltaico com armazenamento, o cliente passa a ter acesso à tarifa anteriormente exclusiva para clientes de pré-pagamento anual, mas em regime normal de pagamento. Ou seja, o défice energético que o cliente terá de comprar à rede será cobrado no final do mês à tarifa do pré-pagamento anual. Assim, para além da poupança inerente ao autoconsumo e ao armazenamento, o cliente passa ainda a poupar com acesso a uma tarifa energética exclusiva e mais barata.

Analisando a ficha normalizada do pré-pagamento anual, Anexo H, percebemos que apenas estão definidos preços para potências contratadas entre 3,45kVA e 20,7kVA e não está incluído o regime tri-horário. Para as situações em que não estão definidos preços base seriam estudados os consumos anuais do cliente e definidos preços personalizados.

## 2.3 Constituição do Kit Fotovoltaico

Os componentes mais comuns de um sistema fotovoltaico são os módulos fotovoltaicos e os respetivos inversores. No entanto, como o kit RCT Power apresenta a opção de armazenamento, com gestão inteligente do consumo, são adicionados um gestor de carga, um sensor de potência e as baterias. A RCT Power substitui o típico inversor pela Power Storage que é um inversor com um gestor de carga incorporado e que, consoante o design do sistema, pode acoplar os painéis e as baterias do lado CC (Power Storage DC) ou funcionar como um inversor normal (Power Storage AC).

- Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos escolhidos para a simulação foram os anteriormente usados pelo grupo empresarial em instalações de UPP. Os painéis fotovoltaicos policristalinos têm uma potência de 260W e uma área de aproximadamente 1,64m<sup>2</sup> e a sua ficha técnica pode ser consultada nos Anexo A e Anexo A1. Caso sejam escolhidos outros modelos com diferentes preços, potências e áreas, o simulador permite efetuar essa alteração. A degradação anual dos módulos foi considerada em 1%.

- Bateria

As baterias escolhidas para o sistema de armazenamento foram as RCT Power Battery, baterias modulares de alta tensão desenhadas para servir de suporte a sistemas fotovoltaicos, cuja ficha técnica pode ser consultada no Anexo B.

São baterias com tecnologia de LiFePO<sub>4</sub>, com uma capacidade nominal variável entre 3,8kWh e 11,5kWh, em incrementos de 1,9kWh, e expansíveis nos primeiros 18 meses. Após este prazo os módulos da bateria ficam adaptados a um certo regime de funcionamento e não é aconselhável a sua expansão, pois coloca em risco o correto funcionamento do sistema. Cada módulo da bateria tem capacidade de 1,9kWh, mas como o seu funcionamento ótimo é em alta tensão, são necessários no mínimo dois módulos, para garantir a tensão mínima para a qual o sistema foi desenhado.

Associados aos módulos está ainda um Battery Management System (BMS). O BMS é responsável pela monitorização e controlo de cada módulo da bateria. O tempo de vida de cada módulo depende do número de ciclos de carga/descarga e, por isso, o BMS prioriza o uso de um módulo em relação aos outros, para que o desgaste não seja igualmente distribuído, aumentando o período de vida dos módulos menos utilizados.

Devido aos diferentes SoC dos módulos, os níveis de tensão nominais não são atingidos simultaneamente em todos os módulos. Quanto menor o SoC, mais rapidamente será atingido esse nível. Ao carregar um sistema de baterias ligado em série com apenas um cabo carregador, a tensão em alguns dos módulos pode ser superior à máxima permitida. O BMS iguala a tensão dos módulos desviando corrente de carga de módulos com tensão mais elevada. O sensor de temperatura incorporado protege o circuito de sobreaquecimento devido a esta estabilização passiva.

A capacidade do sistema de armazenamento varia, e quantos mais ciclos de carga/descarga mais esta diferença se acentua. Quando os módulos estão completamente carregados, dependendo da capacidade escolhida, os intervalos de tensão são dados pela seguinte tabela:

Power Battery	3.8	5.7	7.6	9.6	11.5
Parâmetros Eléctricos					
Capacidade Nominal	3,8kWh	5,7kWh	7,6kWh	9,6kWh	11,5kWh
Capacidade Útil (90% DoD)	3,4kWh	5,2kWh	6,9kWh	8,6kWh	10,4kWh
Ciclos de Vida (com capacidade 80%)	5000				
Intervalo de Tensão	120V - 173V	180V - 260V	240V - 346V	300V - 432V	360V - 520V
Tensão Nominal	154V	230V	307V	384V	461V
Potência máxima de carga/descarga	3100W/ 3100W	4600W/ 4600W	6100W/ 6000W	7680W/ 6000W	9220W/ 6000W
Corrente máxima de carga/descarga	20A/20A				
Preço* [€/kWh]	525	483	462	445	437

Tabela 2.5 - Especificações técnicas das diferentes capacidades da Power Battery (\*Preço: os valores foram obtidos por acerto direto com o fornecedor e não incluem IVA, nem a margem referente à Muon Electric)

É importante realçar que os preços indicados são referentes apenas aos módulos da Power Battery juntamente com o BMS. No entanto, as baterias foram desenhadas para funcionar em conjunto com os RCT Power Storage, pelo que, na verdade, o preço por kWh é um valor falacioso, porque tem sempre de ser adicionado o valor dos inversores ao valor total.

- RCT Power Storage AC e RCT Power Storage DC

Os painéis fotovoltaicos produzem energia elétrica em corrente contínua e as baterias armazenam essa energia também em corrente contínua. No entanto, tanto a RESP como as cargas domésticas utilizam corrente alternada, daí ser necessária a intervenção de um inversor para que haja uma correta distribuição de energia por todo o sistema.

A RCT apresenta dois tipos de soluções para este problema: O RCT Power Storage DC e o RCT Power Storage AC, inversores elétricos com gestor de carga incluídos. A diferença entre os dois está na engenharia de construção de cada um.

O RCT Power Storage AC foi desenhado para a instalação de um sistema de armazenamento numa habitação que já possui produção fotovoltaica. Existem dois modelos: um com potência máxima de carga/descarga de 4kW e outro com 6kW, Power Storage 4.0 e Power Storage 6.0, respetivamente. A escolha entre cada um vai depender da potência fotovoltaica instalada. As especificações de cada um podem ser consultadas na Tabela 2.6 e na ficha normalizada presente no Anexo C:

Power Storage AC	4.0	6.0
Entrada Bateria		
Intervalo de tensão CC	120V - 600V	
Corrente máxima de carga / descarga	20A	
Potência máxima de carga/ descarga	4000W	6000W
Saída CA		
Potência CA saída nominal	4000W	6000W
Performance		
Eficiência máxima (bateria-rede)	96,62%	
Eficiência máxima (rede-bateria)	96,41%	
Preço* [€/Wp]	0,41	0,31

Tabela 2.6 - Especificações técnicas dos diferentes modelos de Power Storage AC (\*Preço: os valores foram obtidos por acerto direto com o fornecedor e não incluem IVA, nem a margem referente à Muon Electric)

Como o sistema é *plug&play* aproveita o inversor já existente e faz a ligação às baterias e à rede, como exemplificado na Figura 2:



Figura 1 - Esquema de Instalação de adição de sistema de armazenamento a sistema electroprodutor já existente

Como podemos observar, apesar de os painéis fotovoltaicos produzirem energia em CC e as baterias armazenarem energia também em CC, para se armazenar o excedente fotovoltaico é necessário invertê-lo para CA e novamente para CC. Para evitar esta inversão desnecessária, a RCT Power desenvolveu o Power Storage DC, que acopla a entrada dos painéis fotovoltaicos e da bateria do mesmo lado, fazendo a ligação direta, sendo exemplificado na Figura 3:

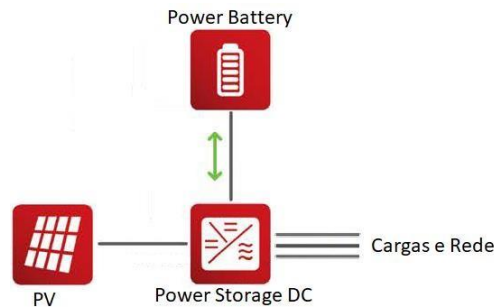


Figura 2 - Esquema Acoplamento CC

O mesmo sistema pode ser utilizado na expansão de um sistema fotovoltaico já existente, no entanto apenas os novos painéis fotovoltaicos poderão ficar acoplados no lado CC do Power Storage DC:

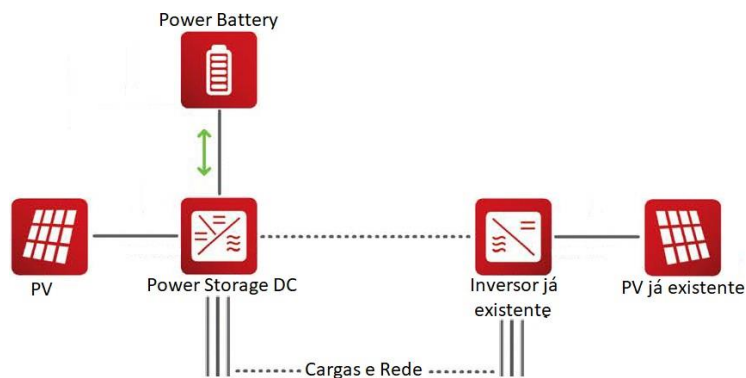


Figura 3 – Esquema Acoplamento CC + Instalação já existente

O Power Storage DC pode ser adquirido em três modelos: Power Storage DC 4.0, Power Storage DC 5.0 e Power Storage DC 6.0, que correspondem a potências máximas de descarga de 4kW, 5kW e 6kW, respetivamente. As especificações podem ser consultadas na Tabela 2.7 e no Anexo D:

Power Storage DC	4.0	5.0	6.0
Entrada CC			
Potência máx. CC recomendada	6600W	8300W	9900W
MPPT	2 (possível em paralelo)		
Entrada da Bateria			
Intervalo de tensão	150 V - 600V		
Corrente máxima de carga/descarga	20A		
Potência máxima de carga	9220W		
Potência máxima de descarga	4000W	5000W	6000W
Saída CA			
Potência CA de saída nominal	4000W	5000W	6000W
Performance			
Eficiência máxima (PV - rede)	98,16%		
Eficiência europeia (PV - rede)	97,60%		
Eficiência máxima (PV - bateria - rede)	94,40%		
Preço* [€/Wp]	0,51	0,43	0,37

Tabela 2.7 - Especificações técnicas dos diferentes modelos de Power Storage DC (\*Preço: os valores foram obtidos por acerto direto com o fornecedor e não incluem IVA, nem a margem referente à Muon Electric)

Devido à sua engenharia de construção, o seu preço é mais elevado, pelo que não compensa a um cliente que queira apenas adicionar armazenamento trocar o seu inversor pelo Power Storage DC.

- RCT POWER SENSOR

Como os RCT Power Storage também são gestores de carga, é necessária a instalação de um sensor de potência no quadro de alimentação que por ligação CAN fornece informação ao Power Storage sobre o fluxo de potência com a rede. Caso esteja a ser fornecida energia à rede, o RCT Power Sensor dá sinal ao Power Storage para este verificar se é possível injetar esse excedente na bateria ou em cargas pré-definidas (veículos elétricos, caldeiras). Caso esteja a ser comprada energia à rede, ou seja, o fluxo de potência é da rede para as cargas, o Power Sensor dá sinal ao Power Storage para este verificar se as baterias têm carga suficiente para suprir as necessidades energéticas e assim evitar essa compra.

- RCT Power Switch

Existe a possibilidade de o cliente se tornar autossuficiente em períodos de apagão. Para isso, instala-se um quadro de alimentação auxiliar, ligado ao quadro geral, para que caso a RESP deixe de poder fornecer energia o Power Switch fecha o circuito e passa a depender apenas da potência produzida pelos painéis e da energia armazenada nas baterias. Sem este dispositivo, o consumidor vai estar sempre dependente da rede.

Na perspetiva comercial da Muon Electric, Lda. a aquisição deste dispositivo não é particularmente interessante, pois o seu objetivo, a longo prazo, é que as habitações funcionem em rede e que não se isolem. Todavia, para clientes que pretendam atingir uma taxa de 100% de autossuficiência, este é um elemento essencial para se poderem desligar da rede.

- RCT Power APP

A RCT Power APP tem como objetivo simplificar o manuseamento do sistema. Por enquanto tem apenas um papel informativo e de configuração inicial do sistema, mostrando em tempo real o fluxo de energia na habitação: o que está a ser produzido, armazenado, comprado e vendido à rede. No entanto, está a ser desenvolvida a possibilidade de ditar quando e para onde é que se deseja carregar/descarregar as baterias, funcionalidade essencial para o modelo que só tem sistema de armazenamento e para os objetivos a longo prazo da Muon Electric, Lda.

Por exemplo, uma família que passe o dia fora de casa tem picos de consumo de manhã e à noite. Pela manhã provavelmente não haverá energia suficiente produzida pelos painéis para suprimir as necessidades energéticas, pelo que será proveitoso mandar as baterias carregar durante a noite, em período de vazio, com energia mais barata, para poderem estar completamente carregadas pela manhã e perfazerem o déficit dos painéis.

Com a aquisição de sensores extra, também é possível desviar o excedente fotovoltaico para caldeiras elétricas, ou para veículos elétricos.

## 2.4 Modelos de Instalação do Kit Fotovoltaico

### 2.4.1 Modelo Só Armazenamento

Este kit é constituído apenas por um sistema de armazenamento sem recurso a produção fotovoltaica. Tem como principal objetivo explorar os diferentes preços da energia elétrica ao longo do dia, ou seja, apenas para clientes que assinem tarifas bi-horárias ou tri-horárias.

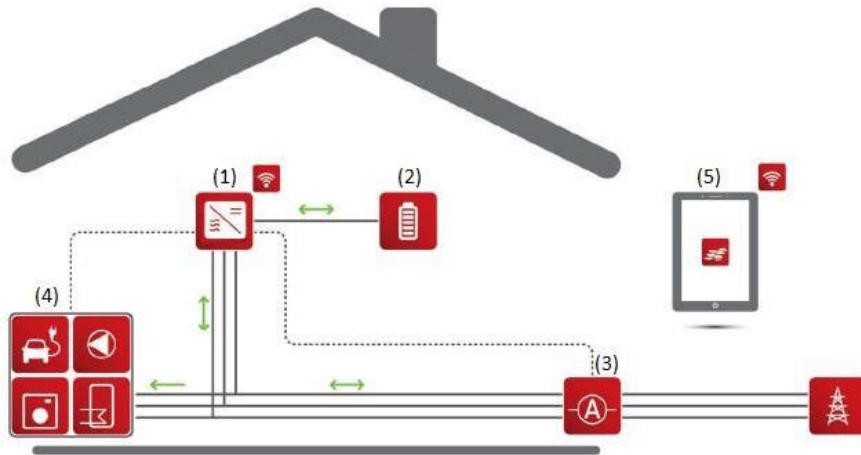


Figura 4 - Sistema de Armazenamento sem Produção: (1) Power Storage AC (2) Power Battery (3) Power Sensor (4) Cargas (5) Power APP

Sendo a energia mais barata durante o período de vazio, o gestor de carga dá o sinal à bateria para esta carregar completamente durante esse período, e depois para descarregar durante as horas fora de vazio, dando prioridade às horas de ponta em relação às horas de cheia, no caso da tarifa tri-horária.

## 2.4.2 Modelo com Produção e Armazenamento

Estes kits dividem-se em dois sistemas: sistema de armazenamento para instalações fotovoltaicas já existentes e sistemas de armazenamento para novas instalações ou para expansão destas, que diferem no uso de Power Storage AC ou Power Storage DC, respetivamente.

Quando a habitação já possui produção fotovoltaica e pretende apenas adicionar sistema de armazenamento, será usado o Power Storage AC, segundo o seguinte esquema:

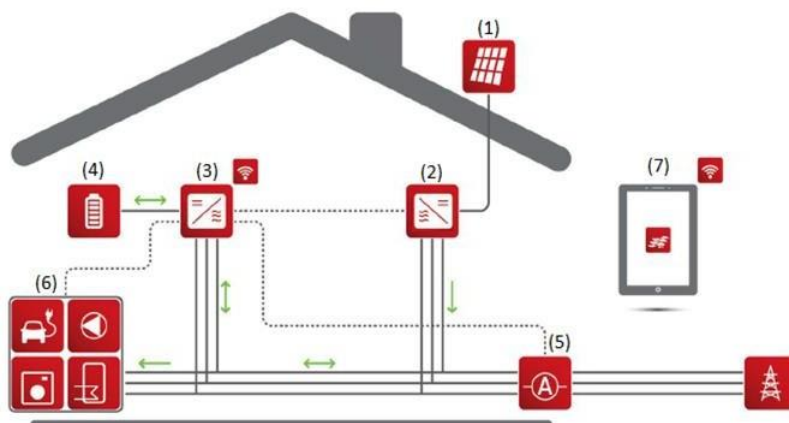


Figura 5 - Sistema de armazenamento CA acoplado para expansão de sistemas fotovoltaicos existentes: (1) Painéis fotovoltaicos já existentes (2) Inversor já existente (3) Power Storage AC (4) Power Battery (5) Power Sensor (6) Cargas (7) Power APP

Este sistema é especialmente vantajoso para clientes que tenham instalado os seus sistemas com o intuito de vender toda a produção à rede, e cujos contratos estejam perto do seu término, compensando-lhes mais armazenar a energia que não é autoconsumida instantaneamente do que vendê-la ao CUR.

Quando o cliente pretende uma nova instalação, o esquema é o seguinte:

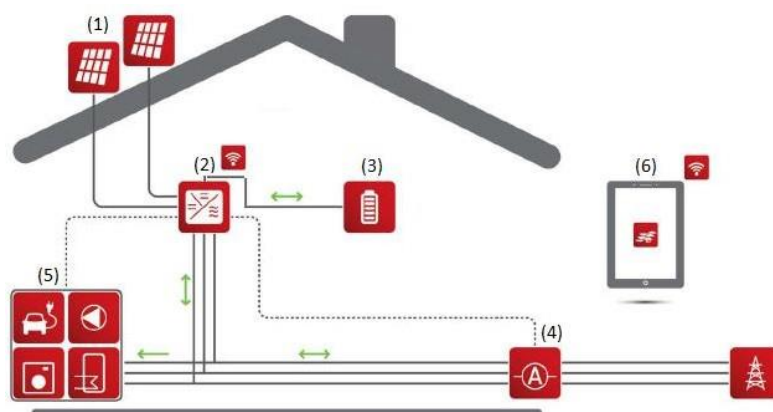


Figura 6 - Sistema de Autoconsumo acoplado CC com armazenamento: (1) Novos Painéis Fotovoltaicos (2) Power Storage DC (3) Power Battery (4) Power Sensor (5) Cargas (6) Power APP

Aproveitando uma instalação de raiz, este modelo usufrui da engenharia de construção do Power Storage DC, aumentando assim a eficiência do sistema.

Quando o cliente já possui painéis fotovoltaicos, mas pretende aumentar a sua capacidade de produção e adicionar sistema de armazenamento, então o sistema segue o seguinte esquema:

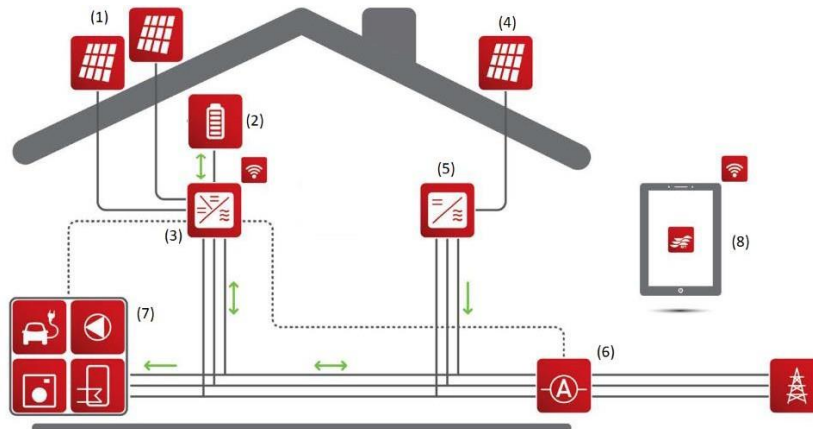


Figura 7 - Sistema de Autoconsumo acoplado CC com armazenamento, com instalação já existente: (1) Novos Painéis Fotovoltaicos (2) Power Battery (3) Power Storage DC (4) Painéis fotovoltaicos já existentes (5) Inversor já existente (6) Power Sensor (7) Cargas (8)

Este modelo permite que a nova instalação de produção fotovoltaica aproveite a engenharia de construção de Power Storage DC, enquanto que a já existente continue segundo a sua configuração inicial. Esta continuará a ter de ser sempre convertida em CA, mesmo que se destine ao armazenamento.

## 2.5 Métodos de Análise

O objetivo desta dissertação é explorar os conceitos de autoconsumo e autossuficiência em sistemas de produção fotovoltaica com recurso a armazenamento, avaliando a sua viabilidade económica.

Autoconsumo define-se como a razão entre a energia consumida *in situ* pelo consumidor e a energia total gerada pelo sistema fotovoltaico. Quer isto dizer que para que o autoconsumo seja absoluto, não pode haver injeção de energia elétrica na rede. Devido ao decrescente preço dos painéis fotovoltaicos e crescentes preços de energia elétrica, quanto mais elevada for a percentagem de autoconsumo, mais rentável se tornará o sistema.

Autossuficiência define-se como a razão entre a energia produzida e consumida pela habitação e o total de energia consumida. Para a autossuficiência não é considerado o excesso fotovoltaico injetado na rede, pois apesar de ser produzido no local, não é nem armazenado nem autoconsumido. Pelo que mesmo que o balanço energético no final do dia seja positivo, isto é, que se tenha produzido mais do que consumido, isto não implica uma taxa de autossuficiência de 100%.

Devido ao desfasamento entre as horas de maior produção fotovoltaica (meio dia) e os normais picos de consumo (manhã e final da tarde/noite), para atingir uma percentagem de autossuficiência elevada é necessária a assistência de um sistema de armazenamento, que permita usufruir dos excessos não aproveitados durante o dia nas horas de maior consumo.

Usando a Figura 1, referente a um dia típico de junho, com uma potência fotovoltaica instalada de 1,8kW e uma capacidade de armazenamento de 3,8kWh, podemos observar que:

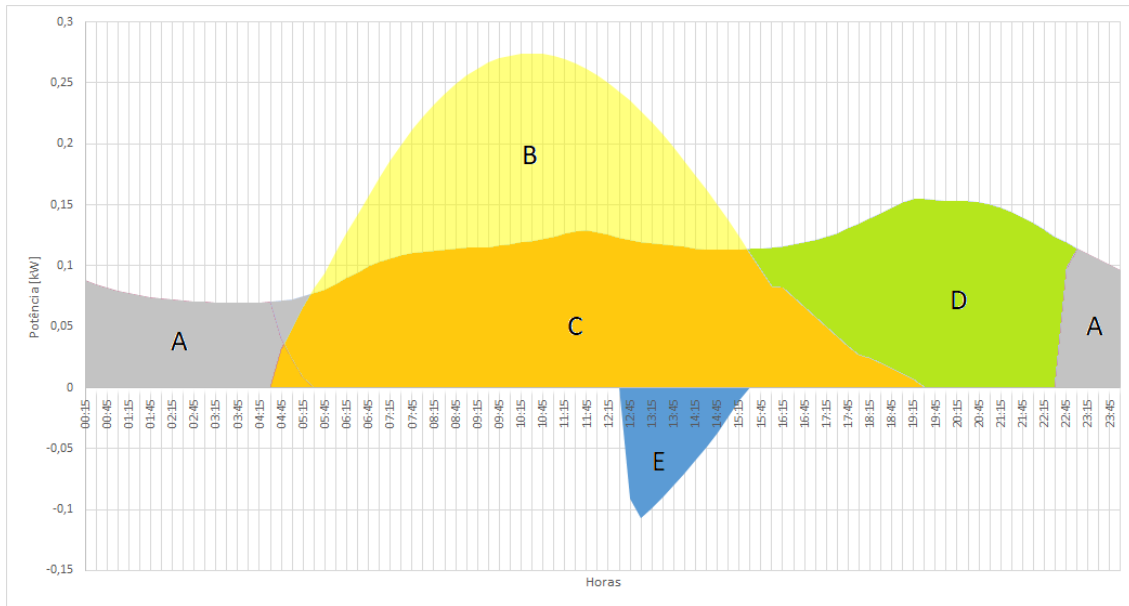


Figura 8 – Divisão do consumo e da produção diária para uma habitação típica durante um mês de Verão em: Consumo energético da habitação (A+C+D), Produção Fotovoltaica (B+C), Autoconsumo absoluto (C+D), Autoconsumo instantâneo (C), Autoconsumo a partir da bateria (D) e Energia Vendida à rede (E).

Assim, a taxa de autoconsumo é definida por:

$$\text{Autoconsumo} = \frac{C}{B+C} \quad (2.7)$$

A taxa de autossuficiência sem armazenamento é definida por:

$$\text{Autossuficiência} = \frac{C}{A+C+D} \quad (2.8)$$

NOTA: Aqui (D) não é considerada como energia armazenada, mas sim um prolongamento da área de (A).

A taxa de autossuficiência com armazenamento é definida por:

$$\text{Autossuficiência} = \frac{C+D}{A+C+D} \quad (2.9)$$

## 2.5.1 Algoritmo

O sistema está desenhado para que a produção fotovoltaica seja prioritariamente descarregada nas cargas, isto é, autoconsumida. Apenas quando há excedente de produção é que este é desviado para o sistema de armazenamento. Caso este esteja completamente carregado, o excedente é então vendido à RESP, segundo as condições celebradas no contrato com a Muon Electric, Lda.

Se a produção fotovoltaica não for suficiente para satisfazer as atuais necessidades energéticas, será pedido às baterias para perfazerem essa necessidade. Se mesmo assim não for suficiente, ou se as baterias estiverem completamente descarregadas, esse déficit será comprado à RESP, segundo também as condições celebradas no contrato com a Muon Electric, Lda.

O estado de carga da bateria (State of Charge, SoC), é definido pela seguinte expressão:

$$SoC_k = SoC_{k-1} + \Delta SoC \quad (2.10)$$

- $SoC_k$  – Estado de Carga da Bateria Atual
- $SoC_{k-1}$  – Estado de Carga da Bateria Anterior
- $\Delta SoC$  – Carregamento/Descarregamento da Bateria

As baterias apresentam valores mínimos e máximos de SoC que asseguram o tempo de vida e o correto funcionamento do sistema. Esses valores dependem da capacidade de descarga da bateria (Depth of Discharge, DoD), considerada 90%, neste caso. No entanto, é possível alterar este valor, utilizando a RCT Power APP. É necessário também considerar as perdas na carga e descarga da bateria. Assim, neste simulador, foi considerado:

$$SoC_{min} = 0 \quad (2.11)$$

$$SoC_{máx} = DoD \times perdas\ carga/descarga \times Capacidade\ da\ bateria \quad (2.12)$$

Estas perdas estão definidas nas Tabela 2.6 e Tabela 2.7, presentes no Capítulo 2.3.

No início da simulação será sempre considerado que as baterias estão descarregadas (SoC = 0).

O simulador irá, através dos dados inseridos, estimar a produção fotovoltaica e o consumo energético da habitação, sendo ambas as variáveis distribuídas em intervalos de 15 minutos para um ano inteiro. Após essa etapa, o simulador seguirá os passos descritos na Figura 9:

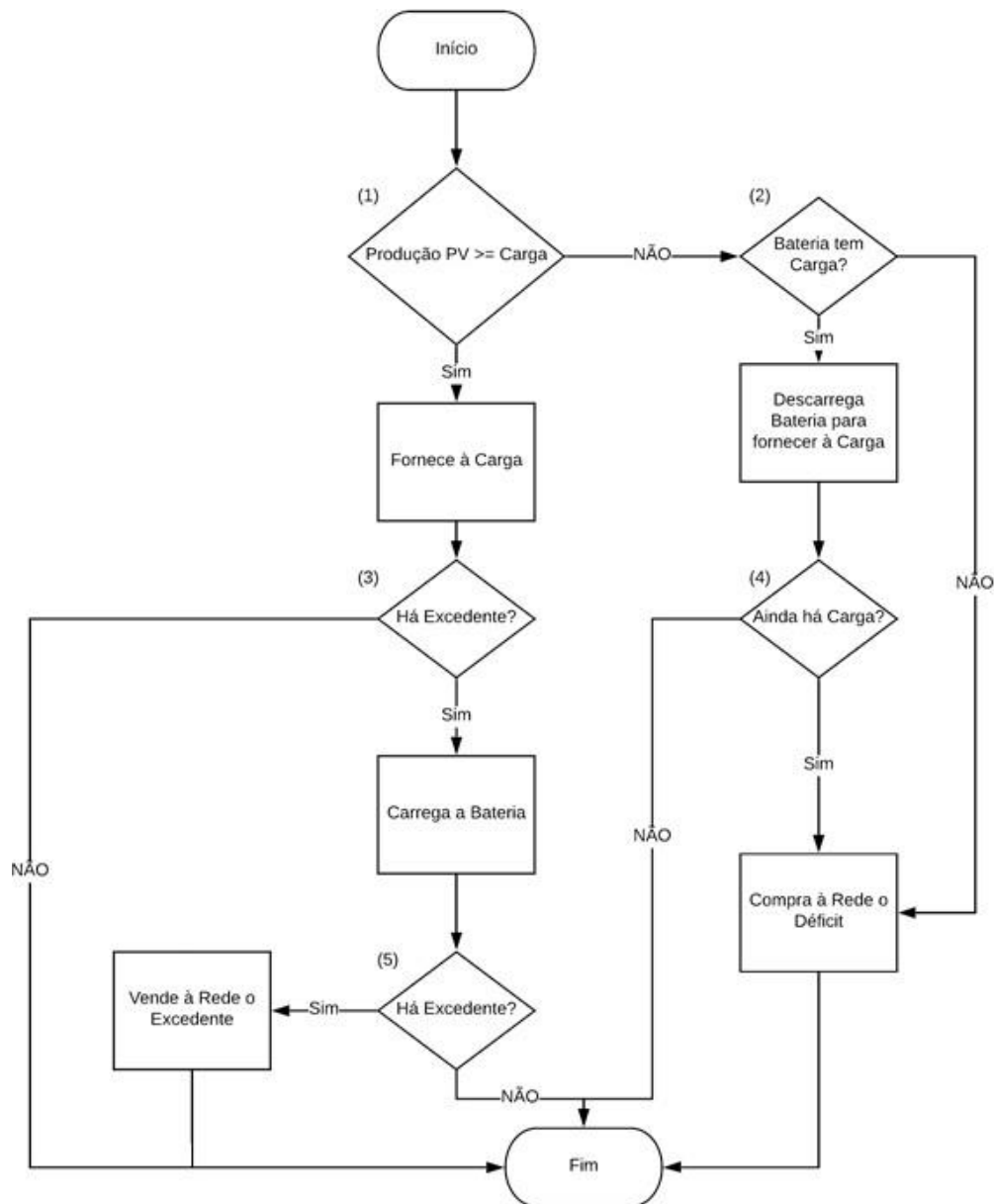


Figura 9 - Fluxograma do algoritmo para sistemas com produção fotovoltaica

- (1) O simulador verifica se a produção fotovoltaica é superior às necessidades energéticas
- (2) O simulador verifica o estado de carga da bateria, determinando se é ou não possível fornecer energia às cargas
- (3) O simulador verifica se após as cargas estarem completamente fornecidas continuar a haver excedente
- (4) O simulador verifica se após o descarregamento da bateria continua a haver necessidades energéticas
- (5) O simulador verifica se após o carregamento da bateria continua a haver excedente

## 2.6 Simulador

### 2.6.1 Simulação da Radiação

Para obter os perfis de produção fotovoltaica recorreu-se à plataforma *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS),

Os valores de radiação estimados para o distrito especificado baseiam-se numa biblioteca de valores retirados da plataforma *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS). [15].

A orientação ideal para os painéis fotovoltaicos é virados a sul, no entanto, devido às possíveis orientações dos diferentes edifícios onde serão instalados, nem sempre será possível instalá-los com essa orientação, pelo que foram retirados os valores com orientação a Sul, Este e Oeste ( $0^\circ$ ,  $-90^\circ$  e  $90^\circ$  respetivamente) para cada capital de distrito, para um dia médio de cada mês, sendo feita uma extrapolação dos valores de radiação associados a cada orientação segundo:

Orientação	Fator da Potência Fotovoltaica, com os painéis orientados a $\phi$
SUL ( $0^\circ$ )	$(\text{COS}(\phi * \pi / 180))^2$
OESTE ( $-90^\circ$ )	$(\text{SEN}(\phi * \pi / 180))^2$
ESTE ( $90^\circ$ )	$(\text{SEN}(\phi * \pi / 180))^2$

Tabela 2.8 - Fator Aplicado à Instalação Fotovoltaica, com painéis orientados a  $\phi$

Após ter sido selecionado o distrito e a orientação da instalação dos painéis fotovoltaicos é simulada a eficiência dos painéis fotovoltaicos sob a radiação solar incidente e feita a correlação entre os valores da biblioteca e a orientação definida.

### 2.6.2 Perfis de Consumo

Apesar dos valores de consumo serem conhecidos, pois constam na fatura energética, não é conhecida a curva de carga, essencial para se estimar o que está a ser autoconsumido, armazenado, vendido ou comprado à rede.

A partir do histórico de consumos e da potência contratada, o simulador determina se o consumidor é do tipo BTN A (Potência Contratada  $> 13,8$  kVA), BTN B (Potência Contratada  $\leq 13,8$  kVA; Consumo Anual  $> 7140$  kWh) ou BTN C (Potência Contratada  $\leq 13,8$  kVA; Consumo Anual  $\leq 7140$  kWh). Estes perfis são dados em intervalos de 15 minutos, pelo que de seguida o simulador determina, segundo a nova tarifa e ciclo selecionados, os períodos a que cada intervalo pertence: Vazio ou Fora Vazio (dividindo este último entre Cheia e Ponta, caso a tarifa seja tri-horária).

As curvas de carga para cada tipo de perfil de consumo são baseadas nas fornecidas anualmente pela ERSE. As Figura 10, Figura 11 e Figura 12 representam os perfis de consumo para uma semana típica de um mês de Inverno (janeiro) e para uma semana típica de um mês de Verão (junho)

- **BTN C**

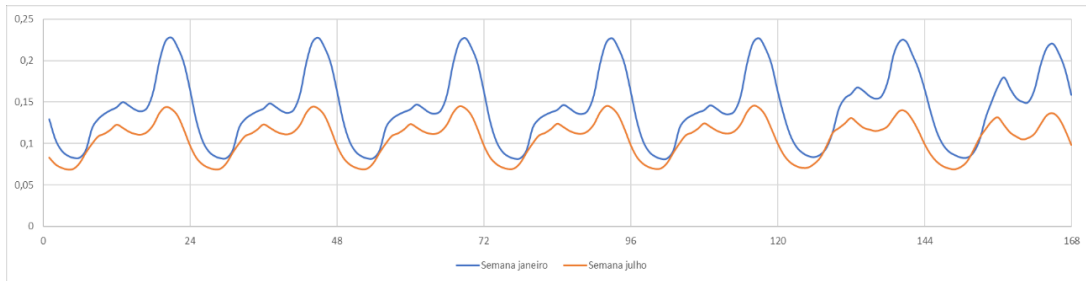


Figura 10 - Perfil de Consumo BTN C para uma semana de janeiro (azul) e uma semana de julho (laranja)

- **BTN B**

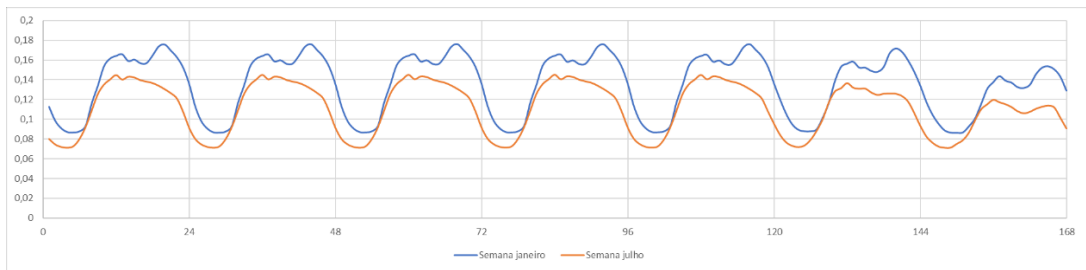


Figura 11 - Perfil de Consumo BTN B para uma semana de janeiro (azul) e uma semana de julho (laranja)

- **BTN A**

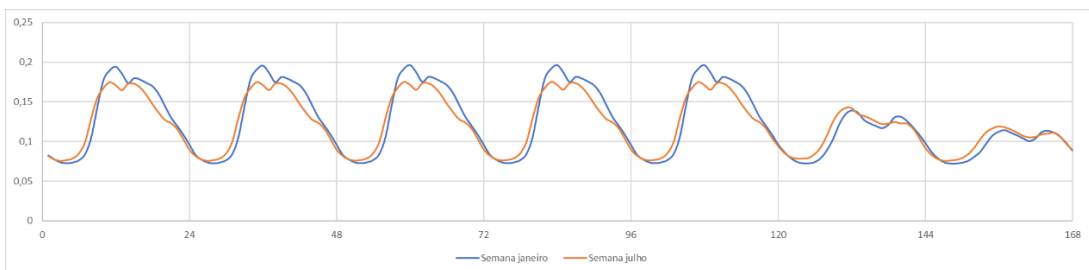


Figura 12 - Perfil de Consumo BTN A para uma semana de janeiro (azul) e uma semana de julho (laranja)

Podemos observar que é importante identificar o tipo de consumidor, devido à diferença entre as horas de maior e menor consumo e do comportamento de cada um durante o fim-de-semana.

Diferentes regimes têm diferentes perfis, pelo que, por exemplo, quando a tarifa é bi-horária, haverá um aumento do consumo noturno e uma diminuição do diurno, face à tarifa simples. Este ajuste é feito automaticamente no simulador, assumindo a proporção de energia consumida em horas fora de vazio e em horas de vazio e fazendo uma transformação direta para os consumos registados. No entanto, poderá acontecer o caso em que o cliente é cobrado em regime simples, mas é-lhe mais vantajoso mudar para regime bi-horário. Não havendo registo dos consumos em vazio e fora de vazio é utilizada a seguinte conversão, baseada no histórico de consumos dos clientes da Muon Electric

Simples	Bi-horário	
	Vazio	Fora Vazio
100%	35%	65%

Tabela 2.9 – Taxa de conversão dos consumos de tarifa Simples para tarifa Bi-horária

Assim o simulador ajusta a curva de carga segundo estes valores. Para efeitos visuais, por vezes, os gráficos assumem subidas ou descidas abruptas, mas para efeitos práticos permite ao simulador ter uma melhor noção da diferença entre a produção fotovoltaica e o consumo energético da habitação, possibilitando uma maior exatidão nos valores de energia autoconsumida, armazenada, vendida e comprada à rede. Os diagramas de carga serão sempre os mesmos, só variando a amplitude de caso para caso.

### 2.6.3 Dados de Entrada

Os dados de entrada no simulador são divididos em duas categorias: estáticas e dinâmicas. As condições estáticas permitem obter as bases para estimar a curva de carga do consumidor e a sua potencial produção fotovoltaica, sendo as seguintes:

- Ciclo (Diário/Semanal)
- Tarifa (Simples/Bi-horário/Tri-horário)
- Histórico Mensal de Consumos
- Potência Contratada
- Preços da Energia (Simples | Vazio / Fora Vazio | Vazio / Cheia / Ponta)
- Localização (distrito)

Indicando o ciclo, a tarifa e a potência contratada em vigor, aliados ao histórico de consumos, é possível prever com maior exatidão as curvas de carga, adaptando-os às mencionadas no Capítulo 2.6.2. A potência contratada permite também estabelecer o limite de potência a instalar segundo as condições do Decreto Lei 153/2014. Os preços da energia permitem saber quanto é que o cliente paga, e quanto é que consequentemente vai poupar assim que assine o contrato com a Muon Electric. Sendo a Muon Electric, Lda. uma comercializadora de energia, tem a capacidade de aplicar regimes de tarifas exclusivos a clientes que adiram aos kits fotovoltaicos. Só esta mudança no regime tarifário já se traduz numa redução da fatura da energia elétrica. A diferença entre os novos preços e os anteriores é também contabilizada na poupança total e na amortização do investimento no sistema. A localização da habitação permite estimar a capacidade de produção fotovoltaica, como indicado no Capítulo 2.6.1.

As condições dinâmicas referem-se àquelas que se vão ajustando para obter os resultados ótimos, nomeadamente, custo de investimento e tempo de amortização menores, sendo as seguintes:

- Potência Fotovoltaica a Instalar
- Possibilidade de Venda do Excedente Fotovoltaico à RESP (Sim/Não)
- Capacidade do Sistema de Armazenamento (3,8kWh/5,7kWh /7,6kWh /9,6kWh /11,5kWh)
- Nova Tarifa Proposta (Simples/Bi-horário/Tri-horário)
- Novo Ciclo Proposto (Diário/Semanal)
- Nova Potência Contratada Proposta
- Orientação dos Painéis Fotovoltaicos

A potência fotovoltaica a instalar permite estimar a produção fotovoltaica. O cliente pode ou não querer vender o excedente fotovoltaico à rede, sendo, no entanto, sempre aconselhado a que o faça, estando definido o preço de venda desse excedente. A capacidade da bateria vai depender da potência fotovoltaica instalada, sendo que o objetivo é que esta complete um ciclo diariamente, caso contrário estaria sobredimensionada o que implicaria custos iniciais de investimento maiores. A proposta de uma nova tarifa, um novo ciclo e uma nova potência contratada vai jogar com o que vai ser comprado à rede após a instalação do kit fotovoltaico, valor significativamente menor que o anterior, sendo sempre escolhidas as que permitem uma fatura energética menor no final do mês.

### **2.6.4 Dados de Saída**

O simulador não tem solução única, daí a necessidade de incluir variáveis dinâmicas nos dados de entrada. É necessário ir ajustando estas variáveis de entrada, de modo a obter os retornos económicos e desempenhos energéticos mais atrativos, que podem ser resumidos aos seguintes:

- Custo de investimento

O custo de investimento é automaticamente calculado, com IVA incluído, consoante seja selecionada, ou não, potência fotovoltaica a instalar e seja definida a capacidade de armazenamento. O valor obtido é referente ao kit que melhor se adequa às condições selecionadas e inclui a sua instalação.

- Período de Retorno

Assim que o investimento inicial é calculado, é apresentado o tempo que demoraria a amortizá-lo com a poupança obtida pela instalação do sistema. No atual contexto socioeconómico português, este é o valor mais valorizado pelos potenciais clientes, sendo, por isso, prioridade mantê-lo o mais reduzido possível.

- Redução percentual da fatura energética anual

É calculada a redução média anual da fatura energética após a instalação do sistema.

- Produção PV

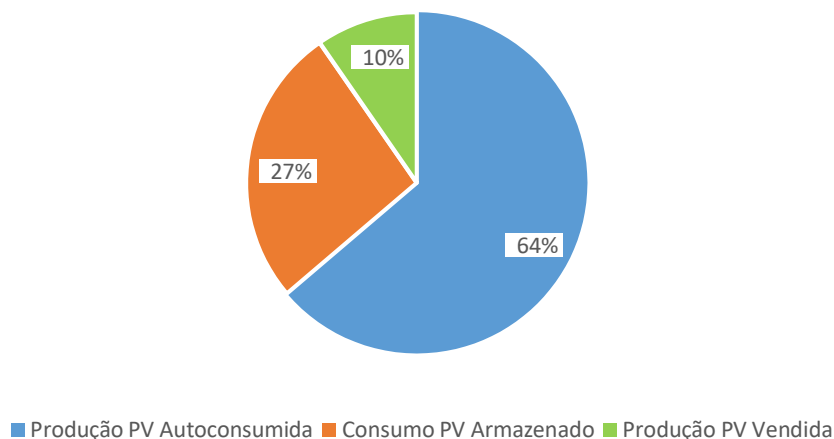


Figura 13 - Exemplo da divisão da Produção Fotovoltaica obtida pelo simulador

Para otimizar o dimensionamento do sistema é necessário, em relação à produção fotovoltaica, maximizar o autoconsumo e minimizar a energia vendida, que, idealmente não deve ser superior a 12% (este limite foi determinado com base na experiência da instalação de várias UPACs sem recurso a armazenamento pelo grupo empresarial a que a Muon Electric pertence).

- Consumo Energético

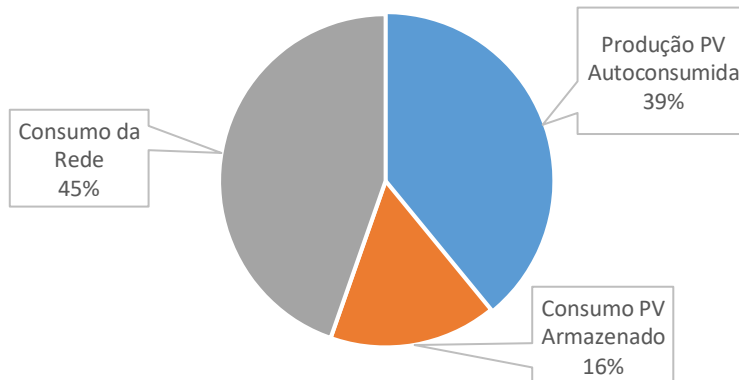


Figura 14 - Exemplo da divisão dos Consumos obtida pelo simulador

Em simultâneo com o dimensionamento fotovoltaico é também preciso verificar a percentagem de autossuficiência, tentando minimizar o consumo da rede.

## Capítulo 3 – Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados três casos práticos reais. Tanto o Caso de Estudo 1 como o Caso de Estudo 2, apenas passaram pela fase de simulação, não tendo sido implementado o sistema durante a duração do estágio curricular, pelo que não foi possível comprovar a fiabilidade do simulador. Para o Caso de Estudo 3, como será demonstrado mais à frente, o sistema ainda tem algumas limitações técnicas, pelo que foram abordadas a simulação do sistema teórico e do real.

### 3.1 Caso de Estudo 1

Este caso retrata uma nova instalação, numa vivenda com as seguintes características:

Potência Contratada	13,8 kVA
Preço Potência Contratada	0,6902 €/dia
Tarifa	Bi-horária
Ciclo	Diário
Preço Vazio	0,0971 €/kWh
Preço Fora Vazio	0,203 €/kWh

Tabela 3.1 - Características da Habitação Caso de Estudo 1

O consumo anual da vivenda corresponde a cerca de 4100 kWh. Apesar de ter uma potência contratada superior à recomendada, e que com a instalação de painéis fotovoltaicos ainda poderia ser mais reduzida, o cliente especificou que gosta de fazer festas regularmente, pelo que tem picos de consumo fora do normal, principalmente durante o período noturno, e quer a garantia da rede para assegurar a continuidade do fornecimento de energia. Assim, a potência contratada não será alterada neste caso de estudo.

A habitação situa-se no distrito do Porto e o seu telhado está quase na direção Este-Oeste, como mostra a Figura 15, pelo que serão necessárias estruturas de apoio aos painéis fotovoltaicos para estes ficarem orientados a Sul. Por vezes, mesmo que o telhado não esteja completamente orientado a Sul, não compensa a instalação de apoios, ficando os painéis ligeiramente desviados para Este ou Oeste., situação que não é refletida neste caso.



Figura 15 - Vivenda Caso Estudo 1

Segundo as faturas elétricas do cliente, os consumos registados foram:

HISTÓRICO DE CONSUMOS (kWh)		
	Fora Vazio	Vazio
Janeiro	295	164
Fevereiro	287	143
Março	237	119
Abril	186	89
Maio	200	96
Junho	211	115
Julho	198	106
Agosto	145	74
Setembro	180	98
Outubro	210	111
Novembro	233	125
Dezembro	326	163

Tabela 3.2 - Histórico de Consumos do Caso Estudo 1

Trata-se, portanto, de uma BTN C (Potência Contratada  $\leq 13,8$  kVA; Consumo Anual  $< 7140$  kWh), e após a inserção dos dados no simulador foram obtidos os seguintes resultados:

Nova Potência Contratada	13,8 kVA
Novo Preço Potência Contratada	0,6331 €/dia
Nova Tarifa	Bi-horária
Novo Ciclo	Diário
Novo Preço Vazio	0,085 €/kWh
Novo Preço Fora Vazio	0,185 €/kWh

Tabela 3.3 - Novas tarifas Caso Estudo 1

A mudança de tarifa para a Muon Electric corresponde a uma poupança de cerca 10% da fatura anual do consumidor.

Antes da instalação do Kit Fotovoltaico MUON, a distribuição do consumo da rede de 4100kWh anuais do cliente é dada pela Figura 16:



Figura 16 - Distribuição do Consumo antes da instalação do kit fotovoltaico (Tarifa Bi-horária) (Caso de Estudo 1)

Após a instalação do Kit Fotovoltaico RCT Power, o consumo da rede decresce para cerca de 1600kWh (39% do consumo pré-instalação do kit) e é dado pela Figura 17:



Figura 17 - Distribuição do Consumo da Rede depois da instalação do Kit Fotovoltaico (Tarifa Bi-horária) (Caso de Estudo 1)

É possível observar que não só o consumo diminuiu, como também inverteu a sua distribuição, sendo agora a maioria da energia consumida durante o período de Vazio. Esta alteração reflete-se numa redução significativa da fatura de energia elétrica.

Analisando o desempenho energético do sistema, para um dia típico de janeiro (mês que reflete o comportamento do sistema durante o período de Inverno), podemos observar que a produção fotovoltaica é quase toda autoconsumida, sendo apenas uma pequena parte armazenada e não havendo qualquer tipo de venda à rede.

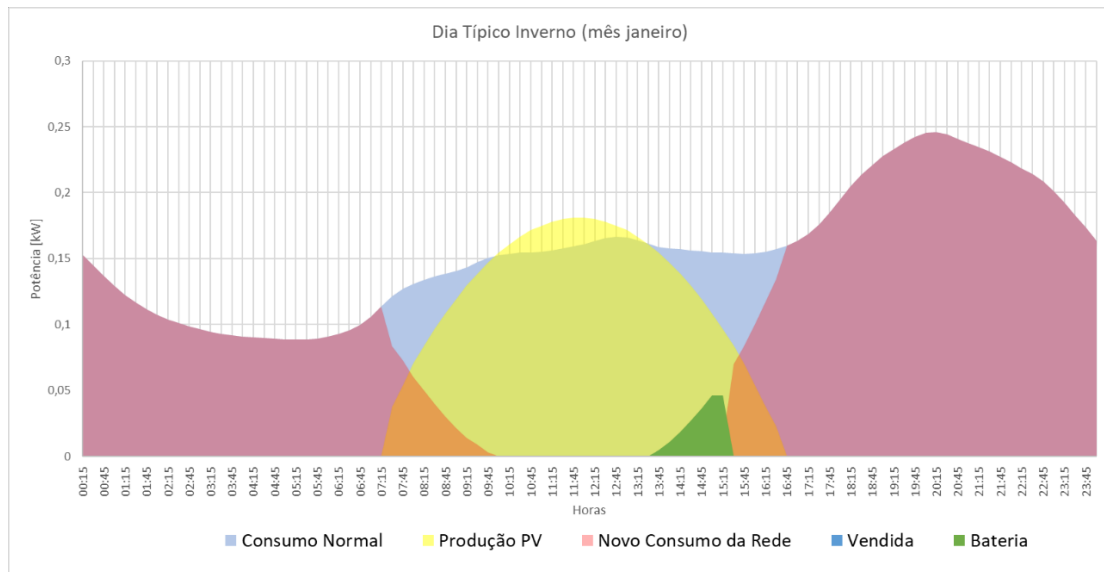


Figura 18 - Desempenho Energético do Sistema para um dia típico de Inverno (Caso de Estudo 1)

Este resultado deve-se à menor exposição solar dos painéis fotovoltaicos, que reflete uma menor produção de energia elétrica, associada a um consumo mais elevado por parte do cliente (ex: aquecedores, iluminação, etc).

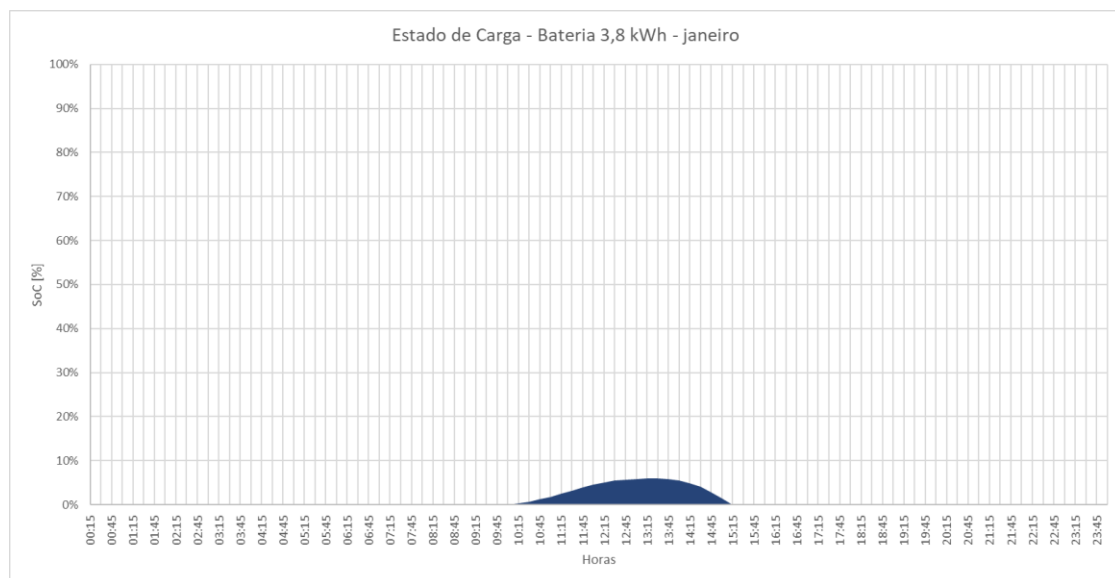


Figura 19 - Estado de Carga para um dia típico de Inverno (Caso de Estudo 1)

Usando o mês de janeiro como referência, podemos concluir que durante os meses de inverno a bateria terá um uso bastante reduzido, pelo que se fosse sempre assim, não seria vantajosa a sua instalação.

No entanto, para os meses de Verão, a situação inverte-se, como podemos observar na Figura 20:

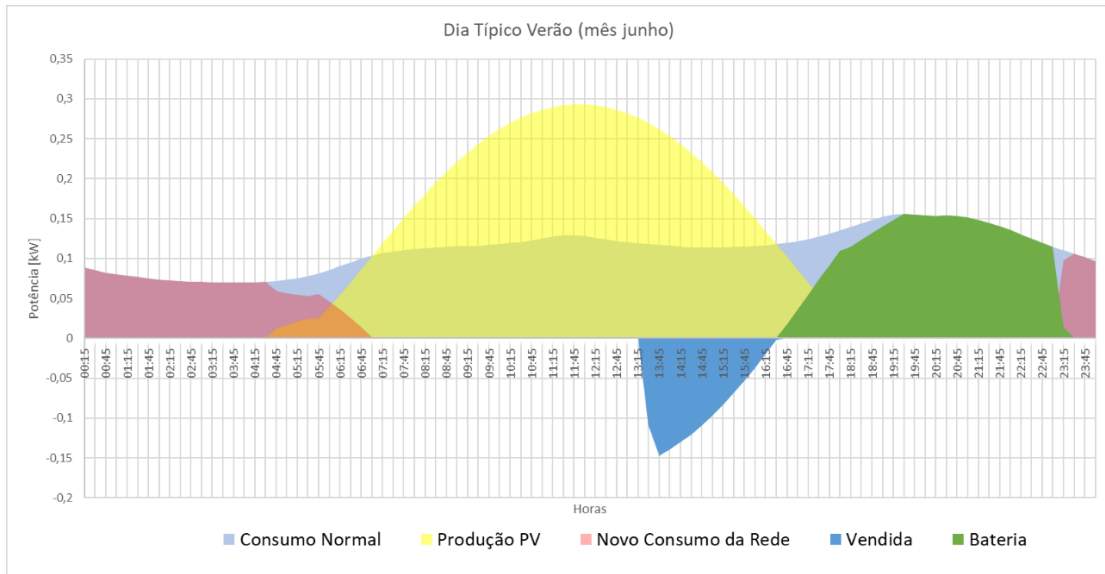


Figura 20 - Desempenho Energético do Sistema para um dia típico de Verão (Caso de Estudo 1)

No mês de junho (mês que reflete o comportamento típico do sistema durante o Verão), é possível observar que o sistema fotovoltaico se encontra sobredimensionado, tendo ainda sido vendido excedente à rede, situação que se tenta evitar. Havendo uma maior exposição solar dos painéis fotovoltaicos e um menor consumo em geral por parte do cliente, a bateria rapidamente fica carregada, sendo apenas descarregada cerca de 4h após o seu carregamento total, período durante o qual toda produção fotovoltaica ou foi consumida ou vendida. Aproximadamente entre as 07:00 e as 23:15, o que significa que durante 16h15min o cliente foi autossuficiente.

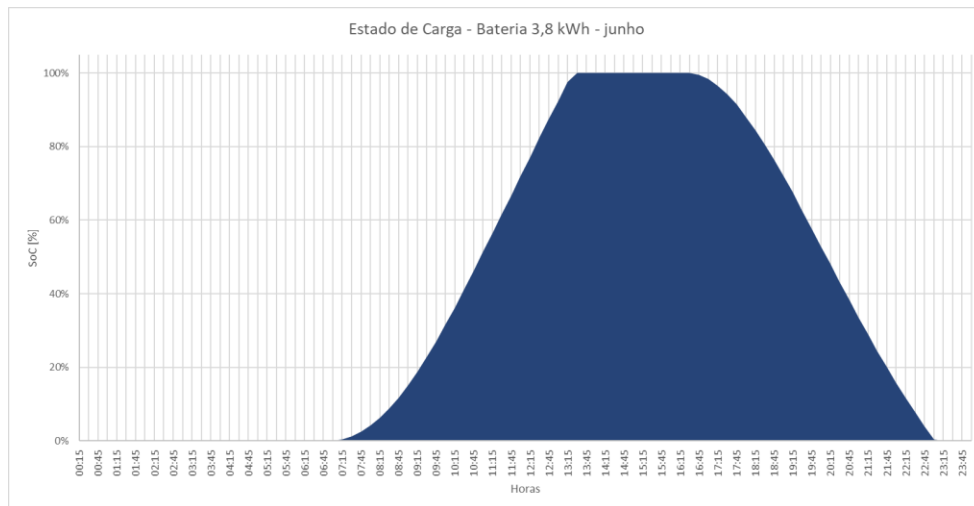


Figura 21 - Estado de Carga para um dia típico de Verão (Caso de Estudo 1)

Para os meses de Verão a bateria está subdimensionada, atingindo regularmente a sua capacidade máxima e por isso não conseguindo rentabilizar a energia fotovoltaica produzida de forma ótima.

Devido variabilidade do consumo do cliente entre os meses de Verão e os meses de Inverno, não será possível dimensionar um sistema que nunca produza excedente fotovoltaico, com efeitos de venda à rede, ou um sistema de armazenamento que complete sempre um ciclo por dia.

O novo consumo anual do cliente é dado por:

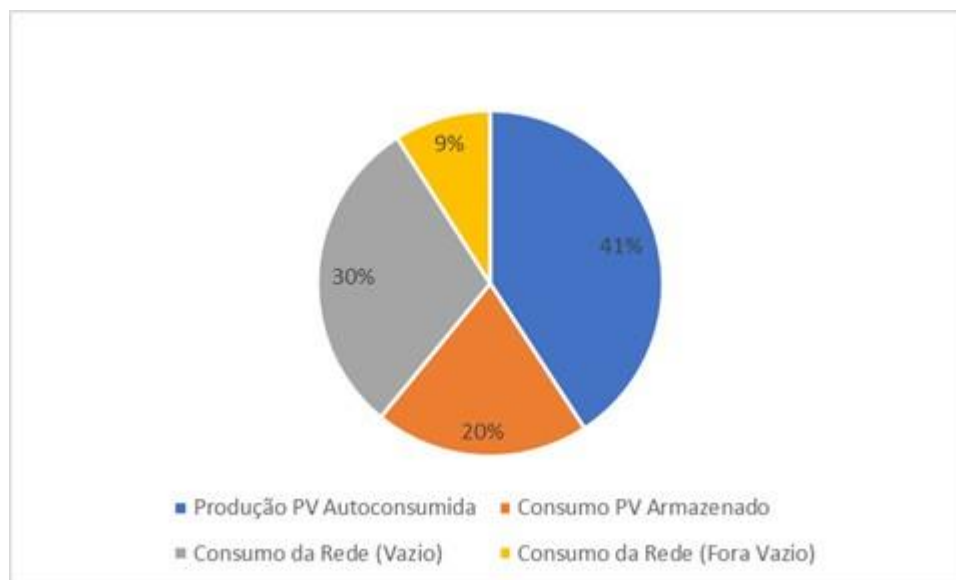


Figura 22 - Distribuição do Consumo (Caso de Estudo 1)

A maioria da energia consumida na habitação é proveniente, direta ou indiretamente, dos painéis fotovoltaicos (61%), e apenas 9% da sua totalidade é consumida durante o período Fora de Vazio, situação bastante atrativa do ponto de vista económico. O consumo a partir da rede foi reduzido a 39% do seu valor inicial.

A distribuição da produção fotovoltaica é dada pela Figura 23:

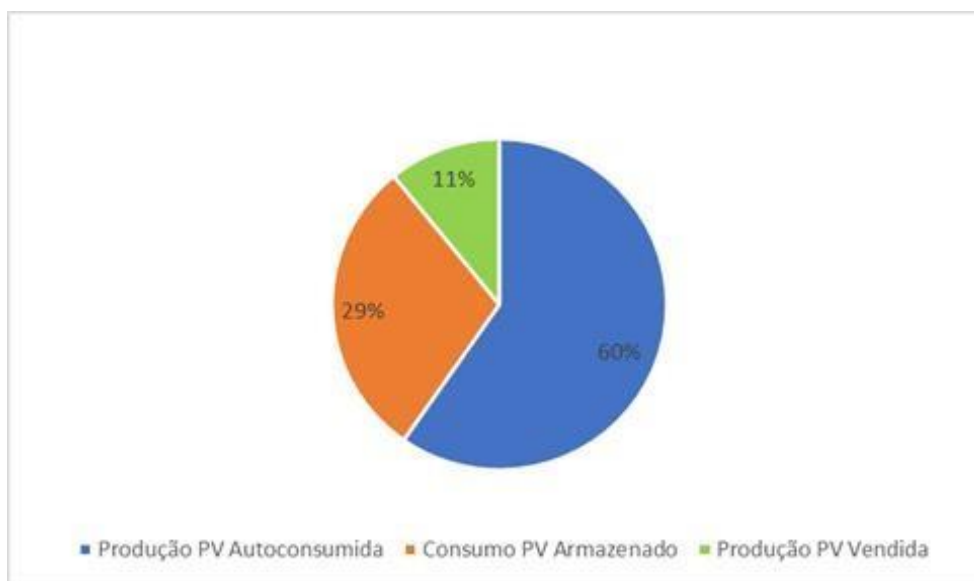


Figura 23 - Distribuição da Produção Fotovoltaica (Caso de Estudo 1)

Apenas 11% da energia produzida foi vendida à rede, valor que se encontra dentro do padrão ideal estabelecido pela MUON. Para reduzir este valor seria necessário aumentar a capacidade da bateria, ação que aumentaria significativamente o custo de investimento e tornaria a rentabilidade do sistema um objetivo ainda mais distante.

Os resultados obtidos para o dimensionamento do sistema estão resumidos na Tabela 3.4:

Potência a Instalar	1,82 kW
Capacidade Baterias	3,8 kWh
Custo de Investimento	8 246 €
Período de Retorno	14,22 anos
Poupança Anual	57%

Tabela 3.4 - Resultados Caso Estudo 1

Apesar da poupança anual ser significativa, face ao investimento inicial, não permite amortizar o custo do sistema durante o período de vida útil dos seus componentes, à exceção dos painéis fotovoltaicos.

É possível analisar mais aprofundadamente a análise económica do Caso de Estudo 1 na Tabela 5.1, presente no Anexo F.

## 3.2 Caso de Estudo 2

Este caso representa um consumidor que já possui sistema de produção fotovoltaica com 1,5kW (6 painéis de 250W) de potência instalada e pretende adicionar sistema de armazenamento, sem expansão da produção fotovoltaica.



Figura 24 - Habitação do Caso de Estudo 2

A habitação situa-se Porto e como demonstra a Figura 24, os painéis estão um pouco desviados para Oeste, cerca de 7°, valor que é inserido no simulador. A Tabela 3.5 indica a tarifa e o regime anterior do consumidor:

Potência Contratada	6,9 kVA
Preço Potência Contratada	0,3118 €/dia
Tarifa	Bi-horária
Ciclo	Diário
Preço Vazio	0,1024 €/kWh
Preço Fora Vazio	0,1875 €/kWh

Tabela 3.5 - Características da Habitação Caso de Estudo 2

Os painéis existentes não estão em regime de autoconsumo, sendo injetada na rede toda a produção fotovoltaica. O novo regime de funcionamento dos painéis, que passarão para regime de autoconsumo, permitirá diminuir a potência contratada de 6,9kVA para 5,75kVA. Não foi possível o acesso aos valores da produção fotovoltaica, tendo sido apenas disponibilizado os consumos para os meses de outubro, novembro e dezembro. Com base no histórico de clientes Muon Electric, foram extrapolados, a partir destes valores, os consumos para os restantes meses, obtendo-se um consumo anual de cerca de 4800 kWh. A condição dos painéis é desconhecida, pelo que, no simulador, foram considerados como novos, apesar de estes terem cerca de 8 anos.

HISTÓRICO DE CONSUMOS (kWh)		
	Fora Vazio	Vazio
Janeiro	400	215
Fevereiro	341	184
Março	204	110
Abril	244	132
Maio	265	143
Junho	211	114
Julho	240	129
Agosto	237	127
Setembro	221	119
Outubro	219	118
Novembro	225	121
Dezembro	313	168

Tabela 3.6 - Histórico de Consumos do Caso Estudo 1

Trata-se, portanto, de uma BTN C (Potência Contratada  $\leq 13,8$  kVA; Consumo Anual  $< 7140$  kWh), e após a inserção dos dados no simulador foram obtidos os seguintes resultados:

Nova Potência Contratada	5,75 kVA
Novo Preço Potência Contratada	0,283 €/dia
Nova Tarifa	Bi-horária
Novo Ciclo	Diário
Novo Preço Vazio	0,085 €/kWh
Novo Preço Fora Vazio	0,185 €/kWh

Tabela 3.7 - Novas tarifas Caso Estudo 2

A mudança de tarifa para a Muon Electric corresponde a uma poupança de cerca 5.5% da fatura anual do consumidor.

Antes da instalação do Kit Fotovoltaico MUON, a distribuição do consumo da rede de 4800kWh anuais do cliente é dada pelo seguinte Figura 25:



Figura 25 - Distribuição do Consumo antes da instalação do kit fotovoltaico (Tarifa Bi-horária) (Caso de Estudo 2)

Após a instalação do Kit Fotovoltaico RCT Power, o consumo da rede decresce para cerca de 2500kWh (52% do consumo pré-instalação do kit) e é dado pelo seguinte gráfico:



Figura 26 - Distribuição do Consumo da Rede depois da instalação do Kit Fotovoltaico (Caso de Estudo 2)

Assim como no Caso de Estudo 1, não só o consumo diminuiu, como também inverteu a sua distribuição, sendo agora a maioria da energia consumida durante o período de Vazio.

Analisando a Figura 27, para um dia típico de janeiro, podemos observar que a produção fotovoltaica é toda autoconsumida, nunca sobrando energia destinada para armazenamento, muito menos para venda à RESP. Durante os meses de Inverno, para este caso, poder-se-ia estudar a possibilidade de a bateria funcionar segundo o modelo de Só Armazenamento, demonstrado no Caso de Estudo 3 (Capítulo 3.3). No entanto, como será referido no capítulo posterior, ainda não é tecnicamente possível, pelo que essa opção não foi considerada, visto que estes resultados foram apresentados ao cliente.

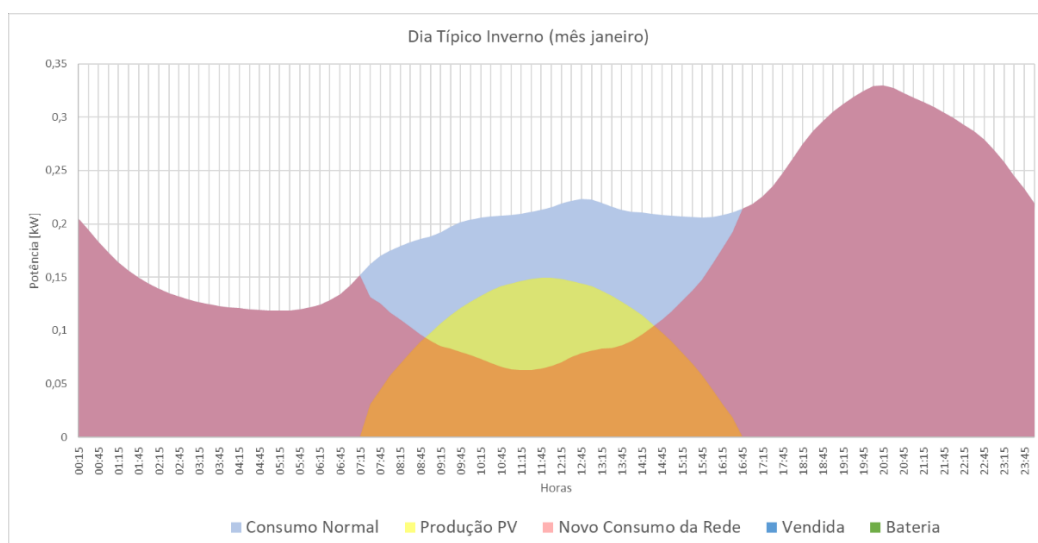


Figura 27 - Desempenho Energético do Sistema para um dia típico de Inverno (Caso de Estudo 2)

O estado de carga da bateria para um mês típico de Inverno, ao contrário do Caso de Estudo 1, nem sequer é apresentado, visto ser nulo durante este período.

Para os meses de Verão, a situação pode ser resumida pelas Figuras 28 e 29:

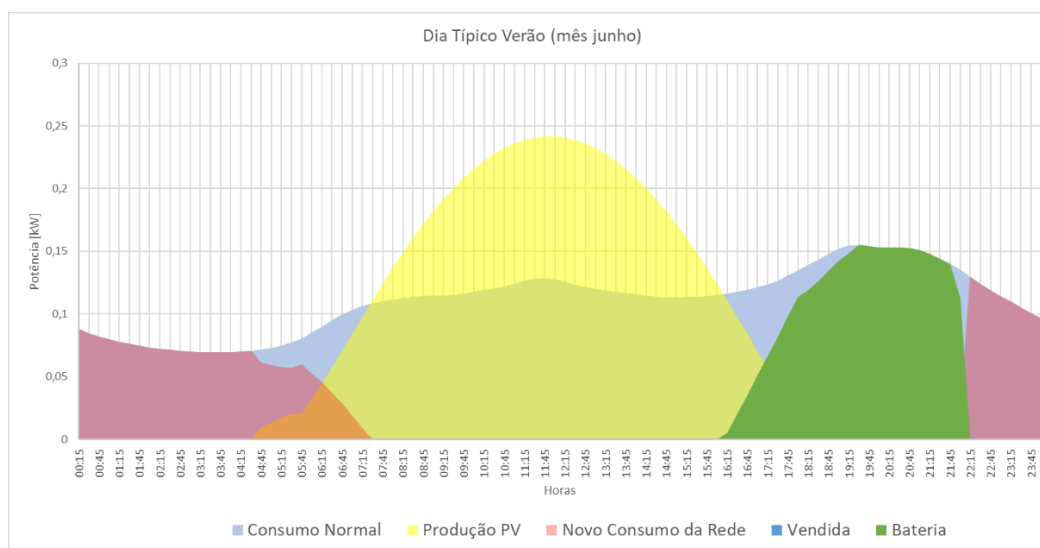


Figura 28 - Desempenho Energético do Sistema para um dia típico de Verão (Caso de Estudo 2)

No mês de junho, é possível observar que a produção fotovoltaica foi toda autoconsumida instantaneamente ou armazenada nas baterias. O cliente foi autossuficiente entre aproximadamente as 07:15 e as 22:15, ou seja, um período de 15h.

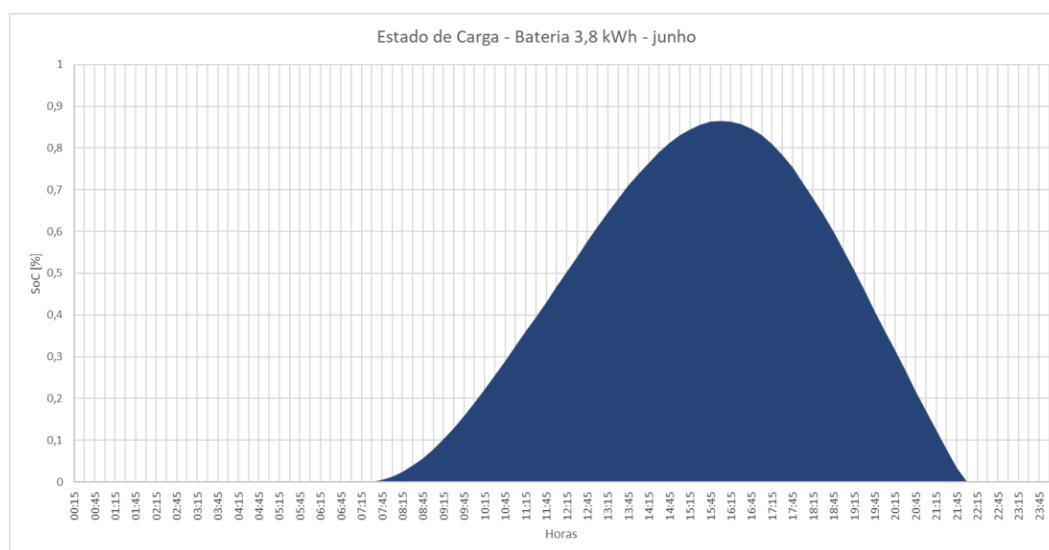


Figura 29 - Estado de Carga para um dia típico de Verão (Caso de Estudo 2)

Observando a Figura 29, podemos concluir que 3,8kWh corresponde a um sobredimensionamento do sistema de armazenamento, visto que esta nunca fica totalmente carregada. No entanto, como este é apresentado em valores discretos, e foi escolhido o menor valor possível para a capacidade das baterias, não há como contornar esta situação, excetuando a instalação de mais painéis fotovoltaicos. Analisando as situações correspondentes aos períodos de Inverno e de Verão, foi proposto ao cliente que aumentasse a sua capacidade electroprodutora, proposta esta que foi rejeitada.

O novo consumo anual do cliente é dado pela seguinte distribuição:

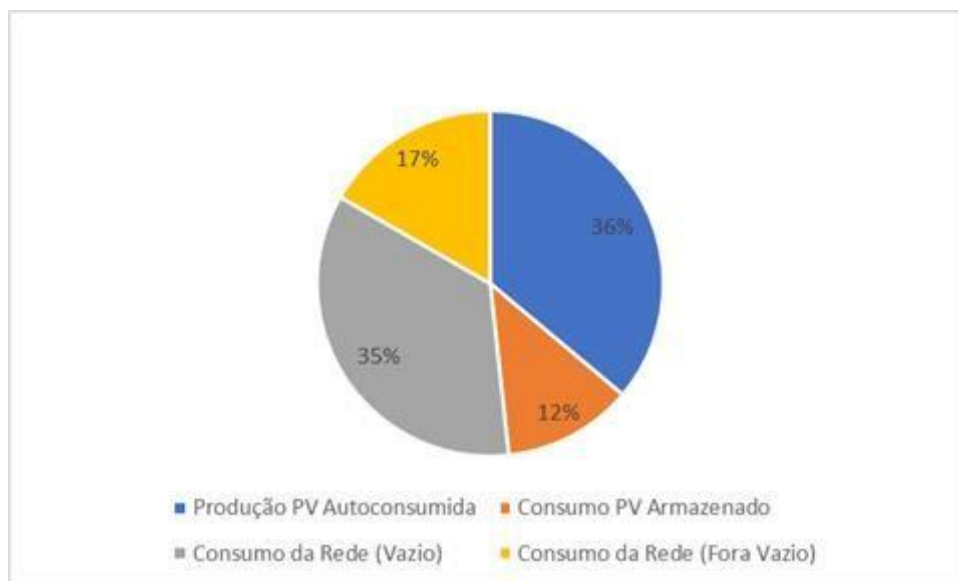


Figura 30 - Distribuição do Consumo (Caso de Estudo 2)

A maioria da energia consumida na habitação é proveniente, direta ou indiretamente, dos painéis fotovoltaicos (53%), e apenas 12% da sua totalidade é consumida durante o período Fora de Vazio, situação bastante atrativa do ponto de vista económico. O consumo a partir da rede foi reduzido a 52% do seu valor inicial.

A distribuição da produção fotovoltaica é dada pela Figura 31:

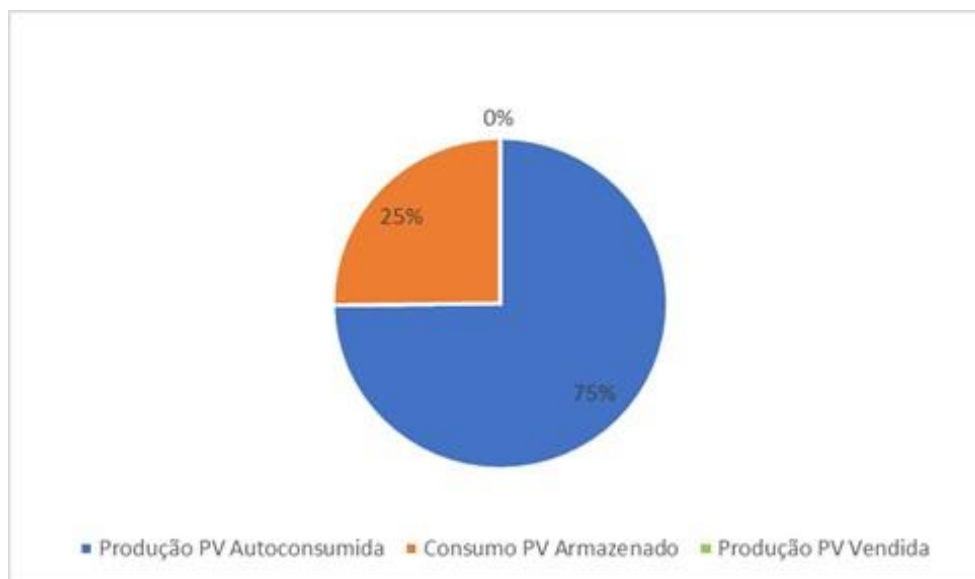


Figura 31 - Distribuição da Produção PV (Caso de Estudo 2)

Para o Caso de Estudo 2, nunca foi vendida energia à rede.

Os resultados obtidos para o dimensionamento do sistema estão resumidos na Tabela 3.8:

Potência a Instalar	0 kW
Capacidade Baterias	3,8 kWh
Custo de Investimento	4 745 €
Período de Retorno	Superior a 25 anos
Poupança Anual	18%

Tabela 3.8 - Resultados Caso Estudo 2

Não é apresentado o valor específico para o Período de Retorno, visto ser superior ao tempo de vida dos equipamentos com maior longevidade, os painéis fotovoltaicos, e por isso, irrelevante.

A poupança anual é relativamente pequena, quando comparada com o Caso de Estudo 1, porque é apenas contabilizado o valor da energia produzida em excesso que foi armazenada e consumida posteriormente, sendo excluído da equação o valor da energia autoconsumida instantaneamente. Isto porque uma vez que os painéis já estão instalados, é uma poupança que o cliente vai ter, quer adquira ou não o kit RCT Power.

É possível analisar mais aprofundadamente a análise económica do Caso de Estudo 2 na Tabela 5.2, presente no Anexo G.

### 3.3 Caso de Estudo 3

O modelo que dispõe apenas de sistema de armazenamento ainda está em desenvolvimento. A RCT Power APP ainda não permite definir o período de descarregamento, sendo apenas possível programar a bateria para que esta comece a carregar a uma determinada hora. No entanto, a partir do momento em que esta se encontra completamente carregada, descarrega sempre que houver qualquer tipo de carga.

Até à data apenas foi instalada uma bateria com capacidade de 3,8 kWh na sede da Muon Electric. O regime tarifário do edifício é tetra-horário, sendo o que o intervalo de tempo com energia mais barata é das 2h da manhã às 6h da manhã, denominado “Super Vazio”. A solução temporária encontrada foi: sabendo a potência de carga, a capacidade de armazenamento e a hora a que a bateria deve estar completamente carregada (fim do período super vazio, ou seja, 6h da manhã), é possível determinar a hora a que a bateria deve iniciar o seu carregamento.

$$Hora_{inicial} = Hora_{final} - \frac{Capacidade\ da\ Bateria}{Potência\ de\ Carga} \quad (3.1)$$

Contudo, sendo um edifício com dimensões relativamente grandes, mesmo durante o período de vazio, o consumo energético do edifício é grande o suficiente para descarregar completamente a bateria, que tem uma capacidade reduzida, não permitindo que este descarregamento se estenda até período de ponta, onde a poupança seria maximizada. Para além de que 3,8 kWh é um valor residual do consumo diário do edifício, pelo que mesmo que em funcionamento ótimo nunca se observaria uma poupança significativa com esta capacidade da bateria. Esta instalação serviu como teste piloto do sistema com recurso apenas a armazenamento.

Os resultados obtidos são dados pela Figura 32, havendo simplesmente um *load shift* do período de super vazio para o de vazio.



Figura 32 - Histórico de Consumo RCT Power APP

Não sendo este o comportamento desejado para o sistema, o simulador foi desenvolvido de acordo com o que deveria ser esperado do sistema, pelo que, por exemplo, para um cliente com um consumo de aproximadamente 300kWh durante o mês de janeiro, usando uma bateria com capacidade de 3,8kWh, o novo diagrama de carga seria dado por:

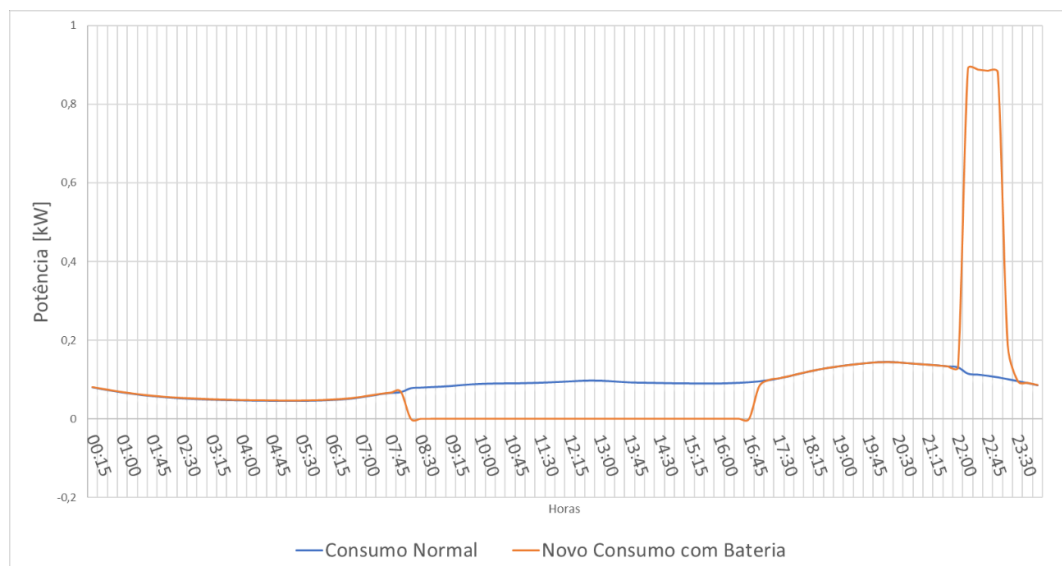


Figura 33 – Exemplo do Diagrama de Carga

Para o mês de janeiro, ou seja, horário de Inverno, ciclo diário, tarifa bi-horária, as horas fora de vazio iniciam às 8h da manhã. Podemos observar que a bateria satisfaz todas as necessidades energéticas durante aproximadamente as 8h seguintes. A poupança económica reflete-se no facto de que durante essas 8h, no período fora de vazio, ter sido consumida energia ao preço do período de vazio, sendo tidas em conta as eficiências da carga e descarga da bateria e do inversor. Esta poupança corresponde a cerca de 20% da fatura mensal.

O pico de consumo entre as 22h e as 23h30 pode ser achatado definindo uma potência de carga das baterias mais reduzida, tendo sempre em conta que é preciso que a bateria consiga carregar totalmente no período de vazio.

O investimento neste sistema, com capacidade de armazenamento de 3,8 kWh, corresponde a cerca de 4750€. É um valor muito elevado para esperar retorno no período de vida das baterias, usando apenas a diferença de preço entre o vazio e o fora de vazio.

Apesar de ainda estar em desenvolvimento, mesmo corrigindo a RCT Power APP, este modelo dificilmente se tornará economicamente vantajoso. No entanto, é uma opção viável para edifícios antigos que têm uma potência contratada limitada pelas condições de fornecimento de energia. Tendo, por vezes, picos de consumo, que provocam apagões, é possível criar um sistema *off grid*, em que o fornecimento de energia provém da bateria enquanto a ligação à rede não é reposta. Aqui, o retorno não seria monetário, mas seria a estabilidade do fornecimento de energia e, consequentemente o conforto.

## Capítulo 4 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O objetivo desta dissertação era avaliar a viabilidade económica e o desempenho energético de um sistema electroprodutor com recurso a armazenamento. Em parceria com a Muon Electric foram criados dois modelos pela RCT Power: Modelo Só Armazenamento, que apenas dispõe de um conjunto de baterias e um inversor ligados à RESP e o Modelo com Produção e Armazenamento que adiciona um sistema de painéis fotovoltaicos ao primeiro. Estes modelos foram criados para simplificar, ao cliente, a transição do sistema convencional de consumo para um mais sustentável, associado a um ganho económico.

A hipótese de que os sistemas fotovoltaicos com recurso a armazenamento seriam uma opção economicamente viável, isto é, que a poupança associada ao autoconsumo imediato e ao armazenamento do excedente fotovoltaico para consumo posterior fosse um investimento rentável, é contrariada pelos resultados obtidos nesta dissertação. Modelos que não incluam produção fotovoltaica estão ainda mais distantes do ponto de rentabilidade.

O custo de armazenamento, 525€/kwh para a Power Battery 3.8, contabilizando apenas os módulos das baterias e o BMS, simplesmente não permite qualquer tipo de retorno financeiro do investimento.}

Fazendo uma análise puramente económica, o sistema de armazenamento só se tornaria um investimento viável, quando a energia que é armazenada, ou seja, excluindo a que é autoconsumida instantaneamente, conseguisse capitalizar o elevado investimento inicial durante o período de vida útil do equipamento. Esta hipótese está ainda mais distante da realidade do que a primeira. Os valores atualmente praticados na venda de baterias são demasiado elevados. O período de retorno varia consoante o tipo de instalação, mas para todos os casos é superior ao tempo de vida útil dos equipamentos, nunca permitindo reaver a quantia inicialmente investida. Os valores mais baixos estão situados entre os 12 e os 14 anos, para novas instalações, incluindo o autoconsumo instantâneo fornecido pelos painéis fotovoltaicos e podem mesmo ser superiores a 25 anos (Caso de Estudo 2 e 3). Por norma, períodos de retorno superiores a 25 anos são descartados, visto ser o tempo de vida dos painéis (equipamento com maior longevidade),

No entanto, o retorno não precisa de ser unicamente económico. A humanidade está cada vez mais consciente do seu impacto ambiental, e medidas mitigadoras como a transição para soluções energéticas mais sustentáveis são cada vez mais aceites, mesmo que a um custo elevado.

Uma alternativa para a redução do preço dos sistemas de armazenamento é a sua produção em massa. Mas para isso acontecer é necessário que indivíduos com mais posses monetárias tomem o primeiro passo e adquiram as baterias enquanto elas estão acima das possibilidades da maioria, de modo a que o mercado as torne acessíveis a todas as classes.

Sem o sistema de armazenamento, a instalação de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo já se revelou atrativa, mas com menor taxa de autossuficiência.

Não havendo retorno financeiro, a venda deste produto passa pelo conforto e pela consciência ecológica associados à autossuficiência. Clientes com maior poder de compra são o atual alvo da Muon Electric.

A crescente penetração da produção fotovoltaica no SEN, devido ao seu desfasamento com o consumo, introduz um excesso de energia que provoca instabilidade na rede. Os painéis fotovoltaicos,

no hemisfério norte, produzem mais energia se estiverem orientados a sul, mas isto faz com que o pico de energia seja por volta do meio dia, período com menor consumo

O estudo presente é alvo de certas limitações. A maioria dos valores utilizados são extrapolados de bibliotecas inexatas de produção fotovoltaica ou do consumo generalizado para o típico consumidor português. Porém, o objetivo do simulador é poder ser aplicado a uma panóplia diferenciada de casos, sacrificando a exatidão de certo caso em prol da possibilidade da sua aplicação a um conjunto maior de casos.

Concluindo, os kits fotovoltaicos não são uma opção economicamente viável, mas têm potencial para o ser num futuro a curto/médio prazo.

## 4.1 Desenvolvimentos Futuros

Esta dissertação provou que os kits fotovoltaicos com recurso a armazenamento conduzem a uma poupança efetiva na fatura energética e num aumento consequente da autossuficiência. No entanto, o preço ainda elevado dos sistemas de armazenamento afasta clientes financeiramente menos capazes. Como já foi referido, o objetivo da Muon Electric a longo prazo é nulificar a fatura energética. Para isso seria necessário a venda em massa dos sistemas RCT Power de modo a conseguir um preço mais competitivo.

Os modelos que não apresentam produção fotovoltaica não são de todo rentáveis e apesar de poderem ter algumas vantagens práticas, cingem-se a um nicho muito pequeno dos potenciais compradores. Para este modelo, o objetivo da Muon Electric, não é a venda de baterias para poupança económica, mas sim para uma agregação virtual de sistemas de armazenamento, criando uma “bateria dispersa” que usa a RESP como intermediário.

A Muon Electric, Lda. vê neste modelo a possibilidade de habitações sem hipótese de instalação de painéis fotovoltaicos poderem fazer parte de uma rede de armazenamento. Neste caso, a Muon teria controlo sobre a carga e descarga da bateria, via a RCT Power APP e poderia fazer uma troca de energia entre o excedente fotovoltaico de uma habitação e a capacidade de armazenamento de outra, usando a RESP como intermediário. A RCT Power APP ainda não o permite fazer, mas está a ser estudada essa possibilidade.

Uma das grandes dificuldades da produção de energia é a irregularidade. Um agregado de baterias controlado pela Muon Electric permitiria algum controlo sobre os picos de produção fotovoltaica, desfasados das horas de maior consumo, e a respetiva compensação em períodos de ponta. A Muon Electric pretende que todo o excesso de energia fotovoltaica injetada na rede seja contabilizado num saldo energético, em vez da sua normal remuneração, e, assim, também o déficit será associado a esse balanço, não sendo cobrado se for inferior.

Esta abordagem ainda é teórica e apresenta restringimentos legais e técnicos ainda por ultrapassar. A RCT Power APP teria de ser programada de modo a que um só utilizador, a Muon Electric, tivesse controlo sobre todas as baterias ligadas à RESP. Isto ainda não é tecnicamente possível, e mesmo que o fosse, ainda não existe legislação que permita e regule este tipo de controlo.

## Referências Bibliográficas

- [1] Eurostat - Statistics Explained, “Renewable energy statistics, Accessed 03.08.2019,” *Stat. Explain.*, pp. 1–15, 2019.
- [2] P. do E. do Ambiente, “No Title.” [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/energias-renováveis>.
- [3] K. R. Khalilpour and A. Vassallo, “Technoeconomic parametric analysis of PV-battery systems,” *Renew. Energy*, vol. 97, pp. 757–768, 2016.
- [4] IEA, “Technology Roadmap Solar PV Energy,” 2014.
- [5] A. Nourai, R. Sastry, and T. Walker, *A vision & strategy for deployment of energy storage in electric utilities*. 2010.
- [6] “No Title.” [Online]. Available: <https://observador.pt/2018/05/30/portugal-tem-a-energia-mais-cara-da-europa-face-ao-nivel-de-vida-o-preco-real-so-e-mais-alto-na-alemanha/>.
- [7] MAOTE, “Decreto de Lei 153/2014 (in Portuguese),” pp. 1–22, 2014.
- [8] F. M. Camilo, R. Castro, M. E. Almeida, and V. F. Pires, “Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal,” *Sol. Energy*, vol. 150, pp. 353–362, 2017.
- [9] S. Quoilin, K. Kavvadias, A. Mercier, I. Pappone, and A. Zucker, “Quantifying self-consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment,” *Appl. Energy*, vol. 182, pp. 58–67, 2016.
- [10] R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson, and J. Palm, “Photovoltaic self-consumption in buildings: A review,” *Appl. Energy*, vol. 142, pp. 80–94, 2015.
- [11] MINISTÉRIO DO AMBIENTE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA, *Produção de Energia Distribuída: Decreto de Lei 153/2014*. 2014.
- [12] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e da Energia, “Portaria n.º 15/2015,” *Diário da República*, pp. 531–532, 2015.
- [13] M. do A. O. do T. e da Energia, *Portaria n.º 14/2015*. 2015, pp. 524–531.
- [14] “OMIE.” [Online]. Available: [http://m.omie.es/reports/index.php?m=yes&report\\_id=311#](http://m.omie.es/reports/index.php?m=yes&report_id=311#). [Accessed: 13-Jun-2019].
- [15] PVGIS, “No Title.” [Online]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html).
- [16] Q. Wang *et al.*, “Environmental Impact Analysis and Process Optimization of Batteries Based on Life Cycle Assessment,” *J. Clean. Prod.*, 2017.
- [17] G. M. Katherine Tweed, “GreenTech Media: Are Solar Panels Facing the Wrong Direction?,” 2013. [Online]. Available: <https://www.pecanstreet.org/2013/11/are-solar-panels-facing-the-wrong-direction/>.

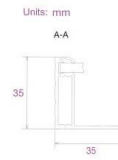
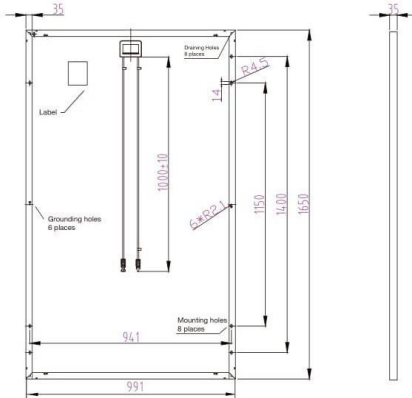
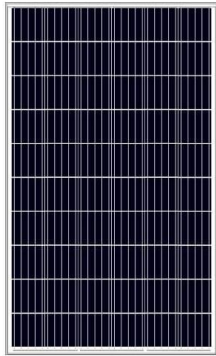
## Capítulo 5 - Anexos

### 5.1 Anexo A: Ficha Técnica Painel Solar JAP60S01-260W

# JAP60S01 260-280/SC **JA SOLAR**

1000V Cypress Series

#### MECHANICAL DIAGRAMS



#### SPECIFICATIONS

Cell	Poly
Weight	18.2kg±3%
Dimensions	1650x991x35mm
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup>
No. of Cells	60 (6x10)
Junction Box	IP67, 3 diodes
Connector	MC4 Compatible
Packaging Configuration	30 Per Pallet

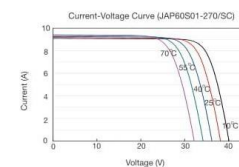
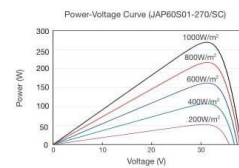
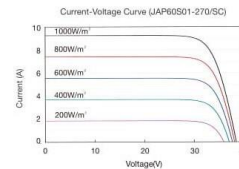
#### OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1000V DC (IEC)
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load, Front Maximum Static Load, Back	5400Pa 2400Pa
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

#### ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAP60S01 -260/SC	JAP60S01 -265/SC	JAP60S01 -270/SC	JAP60S01 -275/SC	JAP60S01 -280/SC
Rated Maximum Power (Pmax) [W]	260	265	270	275	280
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	37.74	37.95	38.17	38.38	38.65
Maximum Power Voltage (Vmp) [V]	30.71	30.92	31.13	31.34	31.61
Short Circuit Current (Isc) [A]	9.04	9.11	9.18	9.29	9.37
Maximum Power Current (Imp) [A]	8.47	8.57	8.67	8.77	8.86
Module Efficiency [%]	15.9	16.2	16.5	16.8	17.1
Power Tolerance	-0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc (α <sub>Isc</sub> )	+0.058%/°C				
Temperature Coefficient of Voc (β <sub>Voc</sub> )	-0.330%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax (γ <sub>Pmp</sub> )	-0.410%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM 1.5G				

#### CHARACTERISTICS



#### ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAP60S01 -260/SC	JAP60S01 -265/SC	JAP60S01 -270/SC	JAP60S01 -275/SC	JAP60S01 -280/SC
Rated Max Power (Pmax) [W]	192	196	200	204	207
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	35.70	35.94	36.25	36.56	36.85
Max Power Voltage (Vmp) [V]	28.87	29.09	29.29	29.48	29.69
Short Circuit Current (Isc) [A]	7.20	7.23	7.27	7.33	7.40
Max Power Current (Imp) [A]	6.66	6.74	6.82	6.90	6.98
NOCT	Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM 1.5G				

Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

Global\_EN\_20180111A

Figura 34 - Ficha Técnica JAP60S01-260W

## 5.2 Anexo A1: Ficha Técnica Pannel Solar JAP60S01-260W



**JA Solar Holdings Co., Ltd.**

JA Solar Holdings Co., Ltd. is a world-leading manufacturer of high-performance photovoltaic products that convert sunlight into electricity for residential, commercial, and utility-scale power generation. The company was founded on May 18, 2005, and was publicly listed on NASDAQ on February 7, 2007. JA Solar is one of the world's largest producers of solar cells and modules. Its standard and high-efficiency product offerings are among the most powerful and cost-effective in the industry.

Address: NO.36, Jiang Chang San Road, Zhabei, Shanghai 200436, China  
 Tel: +86 21 6095 5888 / +86 21 6095 5999  
 Fax: +86 21 6095 5858 / +86 21 6095 5959  
 Email: sales@jasolar.com market@jasolar.com

**Superior Warranty**

- 10-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



www.jasolar.com

**JA SOLAR**

**JAP6**

60/240-260/3BB

MULTICRYSTALLINE SILICON MODULE

### Key Features



Multicrystalline modules designed for residential commercial and utility applications, rooftop or ground mount



High output, 15.90% highest conversion efficiency



Designed for UL 600V or ETL 1000V, IEC 1000V applications



Anti-reflective and self-cleaning surface reduces power loss from dirt and dust



Outstanding performance in low-light irradiance environments



Excellent mechanical load resistance: Certified to withstand high wind loads (2400Pa) and snow loads (5400Pa)



High salt and ammonia resistance certified by TÜV NORD

### Reliable Quality

- Positive power tolerance: 0~+5W
- 100% EL double-inspection ensures modules are defects free
- Modules binned by current to improve system performance
- Potential Induced Degradation (PID) Resistant

### Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL1703, CEC Listed, MCS and CE
- ISO 9001: 2008: Quality management systems
- ISO 14001: 2004: Environmental management systems
- BS OHSAS 18001: 2007: Occupational health and safety management systems
- Environmental policy: The first solar company in China to complete Intertek's carbon footprint evaluation program and receive green leaf mark verification for our products



Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.

Figura 35 - Ficha Técnica JAP60S01-260W (cont.)

## 5.2 Anexo B: Ficha Técnica - RCT Power Battery

Bateria	3.8	5.7	7.6	9.6	11.5
<b>PARÂMETROS ELÉTRICOS</b>					
Capacidade nominal	3,84 kWh	5,76 kWh	7,68 kWh	9,60 kWh	11,52 kWh
Capacidade útil (90% DoD)	3,46 kWh	5,18 kWh	6,91 kWh	8,64 kWh	10,37 kWh
Ciclo de vida (com capacidade 80%)	5000				
Intervalo de tensão	120 V...173 V	180 V ... 260 V	240 V ... 346 V	300 V ... 432 V	360 V ... 520 V
Tensão nominal	154 V	230 V	307 V	384 V	461 V
Potência máxima de carga / descarga	3100W/3100W	4600W/4600W	6100W/6000W	7680W/6000W	9220W/6000W
Corrente máxima de carga / descarga	20 A / 20 A	20 A / 20 A	20 A / 20 A	20 A / 20 A	20 A / 20 A
Consumo em stand-by	< 5 W				
<b>INTERFACES</b>					
Interface com o inversor	CAN				
<b>GERAL</b>					
Tecnologia da bateria	LiFePO4				
Dimensões (alt. x largura x comprimento)	0,62x0,34x0,34m	0,87x0,34x0,34m	1,12x0,34x0,34m	1,36x0,34x0,34m	1,61x0,34x0,34m
Peso (cada módulo 24kg)	54 kg	78 kg	102 kg	126 kg	150 kg
Número de unidades de baterias	2	3	4	5	6
Grau de proteção IP	IP42				
Tipo de instalação	Interior / Suporte de chão				
Intervalo operacional de temperatura	+5°C ... +40°C				
Tipo de conexão	Weidmüller PV-Stick (compatível com MC4)				
<b>SEGURANÇA / NORMAS</b>					
Classe de segurança	1				
Certificados	CE, UN 38-3, IEC 62619, IEC 62133, Sicherheitsleitfaden BVES für Batteriespeicher				
EMC	EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3				
Segurança					
<b>DIAGRAM DE BLOCOS</b>					

© RCT Power GmbH ▪ sujeito a alterações técnicas ▪ versão 10/2018

Figura 36 - Ficha Técnica RCT Power Battery

## 5.3 Anexo C: Ficha Técnica - RCT Power Power Storage DC

Inversor CC	4.0	5.0	6.0
Número de ordem	IHP040N1AE0	IHP050N1AE0	IHP060N1AE0
<b>ENTRADA CC</b>			
Potência CC máx. recomendada	6600 W	8300 W	9900 W
MPPT	2 (possível em paralelo)		
Entradas por MPPT	1		
Corrente máxima CC por MPPT	12 A (24 A em paralelo)		
Tensão CC nominal	700 V		
Tensão / potência CC inicial	150 V / 40 W		
Intervalo de tensão CC	140 V ... 1000 V		
Intervalo de tensão para MPP	265 V ... 800 V		
Tensão CC máx.	1000 V		
Tipo de conector	Weidmüller PV-Stick (compatível com MC4)		
<b>ENTRADA DA BATERIA</b>			
Intervalo de tensão CC	150 V ... 600 V		
Corrente máxima de carga / descarga	20 A / 20 A		
Potência máxima de carga / descarga	9220 W / 4000 W	9220 W / 5000 W	9220 W / 6000 W
Tipo de conector	Weidmüller PV-Stick (MC4 compatible)		
<b>SAÍDA CA (MODO REDE)</b>			
Potência CA de saída nominal	4000 W	5000 W	6000 W
Máximo de potência ativa	4000 W	5000 W	6000 W
Máximo de potência aparente	6300 VA	6300 VA	6300 VA
Corrente CA nominal por fase	5,8 A	7,3 A	8,7 A
Corrente CA máxima por fase	9,1 A	9,1 A	9,1 A
Frequência nominal	50 Hz / 60 Hz		
Intervalo de frequência	45 Hz ... 65 Hz		
Corrente máxima switch-on	13 A, 0,1ms		
Corrente de defeito máxima	285 mA		
Tensão CA nominal	230V / 400 V (L1, L2, L3, N, PE)		
Intervalo de tensão CA	180V ... 270V		
Distorção harmónica total	< 2% à potência nominal		
Factor de potência reativa (cos phi)	1 (intervalo ajustável 0,8 cap...0,8 ind )		
Operações anti-isolamento	Sim		
Protecção ligação à terra	Disjuntor diferencial		
Injeção de corrente CC	< 0,5% In		
Fases necessárias, ligações à rede	3 (L1, L2, L3, N, PE)		
Número de fases de alimentação	3		
Monitorização da tensão de rede	Trifásico		
Tipo de ligação CA	Prensa de molas		
<b>PERFORMANCE</b>			
Consumo em stand-by	< 4,0 W		
Eficiência máxima ( PV - rede )	98,16%		
Eficiência europeia ( PV - rede )	97,6%	97,7%	97,7%
Eficiência máxima ( PV - bateria - rede )	94,4%		
Topologia	Sem transformadores		
<b>DIVERSOS</b>			
Interruptor PV - CC	Integrado		
Protecção sobretensão CC	Tipo II		
Protecção sobretensão CA	Tipo III		
Interface de dados	WIFI, LAN, RS485, Contacto seco multifuncional, 4 x digital in, 2 x digital in/out		
Display	Matriz de pontos LCD 128 x 64 retroiluminada		
Arrefecimento	Convecção		
Grau de protecção IP	IP 42		
Altitude máx. de operação	2000 m		
Humidade máx. relativa	4 - 100% (sem condensação)		
Ruído típico	< 35 dB		
Intervalo de temperatura de operação	-25°C ... 60°C (40° a carga máxima)		
Tipo de instalação	Montagem na parede		
Dimensões (altura x largura x comprimento)	570 x 585 x 200 mm		
Peso	26 kg		
<b>SEGURANÇA / NORMAS</b>			
Classe de segurança	1		
Comportamento em sobrecarga	Ajuste de Ponto de Operação		
Certificados	CE, VDE-AR-N 4105:2011-08, EN 50438		
EMC	EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3		
Segurança	EN/IEC62109-1, EN/IEC62109-2		

© RCT Power GmbH ■ sujeito a alterações técnicas ■ Versão 10/2018

Figura 37 - Ficha Técnica RCT Power Storage DC

## 5.4 Anexo D: Ficha Técnica - RCT Power Storage AC

Power Storage AC	4.0	6.0
Número de ordem	IAP040N1AE0	IAP060N1AE0
<b>ENTRADA DA BATERIA</b>		
Intervalo de tensão CC	120 V ... 600 V	
Corrente máxima de carga / descarga	20 A / 20 A	
Potência máxima de carga / descarga	4000 W	6000 W
Tipo de conector	Weidmüller PV-Stick (compatível com MC4)	
<b>SAÍDA CA</b>		
Potência CA de saída nominal	4000 W	6000 W
Máximo de potência activa	4000 W	6000 W
Máximo de potência aparente	6300 VA	6300 VA
Corrente CA nominal por fase	5,8 A	8,7 A
Corrente CA máxima por fase	9,1 A	9,1 A
Frequência nominal	50 Hz / 60 Hz	
Intervalo de frequência	45 Hz ... 65 Hz	
Corrente max. switch-on	13 A, 0,1 ms	
Corrente de falha máxima (RMS)	285 mA	
Tensão CA nominal	230 V / 400 V (L1, L2, L3, N, PE)	
Intervalo de tensão CA	180 V ... 270 V	
Distorção Harmónica Total	< 2% à potência nominal	
Fator de potência reativa (cos phi)	1 (intervalo ajustável 0,8 cap...0,8 ind.)	
Operações anti-isolamento	Sim	
Proteção ligação à terra	Disjuntor Diferencial	
Injeção de corrente CC	< 0,5% In	
Fases necessárias, ligações à rede	3 (L1, L2, L3, N, PE)	
Número de fases de alimentação	3	
Monitorização da tensão de rede	Trifásico	
Tipo de ligação CA	Prensa de molas	
<b>PERFORMANCE</b>		
Consumo em stand-by	< 4,0 W	
Eficiência máxima (bateria-rede)	96,62%	
Eficiência máxima (rede-bateria)	96,41%	
Topologia	Sem transformador	
<b>DIVERSOS</b>		
Protecção sobretensão CC	Tipo II	
Protecção sobretensão CA	Tipo III	
Interface de dados	WIFI, LAN, RS485, Contacto seco multifuncional, 4 x digital in, 2 x digital in/out	
Display	Matriz de pontos LCD 128 x 64 retroiluminada	
Arrefecimento	Convecção	
Grado de protecção IP	IP65	
Altitude máx. de operação	2000 m	
Humidade máx. relativa	4 - 100% (sem condensação)	
Ruído típico	< 35 dB	
Intervalo de temperatura de operação	-25°C ... 60°C (40° a carga máxima)	
Tipo de instalação	Montagem na parede	
Dimensões (altura x largura x comprimento)	570 x 440 x 200 mm	
Peso	22 kg	
<b>SEGURANÇA / NORMAS</b>		
Classe de segurança	1	
Certificados	CE, VDE-AR-N 4105:2011-08, EN 50438	
EMC	EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3	
Segurança	EN/IEC62109-1, EN/IEC62109-2	

© RCT Power GmbH ■ sujeito a alterações técnicas ■ Versão 10/2018

Figura 38 - Ficha Técnica RCT Power Storage DC

## 5.5 Anexo E: Ficha Técnica - RCT Power Sensor

PT



### POWER SENSOR 50 | 100

MEDIÇÃO DO CONSUMO DOMÉSTICO PARA  
SISTEMAS COM ARMAZENAMENTO EM  
BATERIAS RCT POWER



#### FÁCIL E PRECISO

- Instalação fácil
- Precisão elevada

#### Sensor de Potência

50

100

#### GERAL

Corrente máxima	3 x 50 A	3 x 100 A
Precisão	1,5 %	
Dimensão unidade de avaliação (A x L x C)	91 x 72 x 44 mm	
Dimensão do sensor (A x L x C)	41 x 26 x 26 mm	67 x 51 x 41 mm
Comprimento do cabo solar	1 m	
Diâmetro máx. do cabo do sensor	10 mm	24 mm
Grau de proteção IP	IP20	
Tipo de instalação	Trilho DIN / split core	
Intervalo operacional de temperatura	+5°C ... +40°C	

#### INTERFACE

Interface	Loop de corrente
-----------	------------------

© RCT Power GmbH ■ sujeito a alterações técnicas ■ versão 10/2018



#### DISTRIBUIDOR LOCAL

Muon Electric Lda.  
Rua Aleixo da Mota, nº 86 R/C  
P - 4150-044 Porto

Tel: +351 223205904  
info@muon.pt  
www.muon.pt

#### INFORMAÇÃO & DISTRIBUIÇÃO

RCT Power GmbH  
Line-Eid-Str. 1  
D- 78467 Konstanz

Tel: +49 7531 99677 0  
info@rct-power.com  
www.rct-power.com

Figura 39 - Ficha Técnica - RCT Power Sensor

## 5.6 Anexo F: Resultados Económicos Caso de Estudo 1

ANO	PRODUÇÃO PV [kWh]	POUPANÇA NA FATURA	RECEITA DO EXCEDENTE	INVESTIMENTO	CASH FLOW	CASH FLOW ACTUALIZADO	CASH FLOW ACUMULADO	AMORTIZAÇÃO
0				-8 246,49 €	-8 246,49 €	-8 246,49 €	-8 246,49 €	
1	2811,90	637,04 €	8,59 €	0,00 €	645,62 €	639,23 €	-7 607,25 €	
2	2727,54	633,85 €	8,54 €	0,00 €	642,40 €	629,74 €	-6 977,51 €	
3	2645,72	630,68 €	8,50 €	0,00 €	639,18 €	620,39 €	-6 357,13 €	
4	2566,34	627,53 €	8,46 €	0,00 €	635,99 €	611,17 €	-5 745,95 €	
5	2489,35	624,39 €	8,42 €	0,00 €	632,81 €	602,10 €	-5 143,86 €	
6	2414,67	621,27 €	8,37 €	0,00 €	629,64 €	593,15 €	-4 550,70 €	
7	2342,23	618,16 €	8,33 €	0,00 €	626,50 €	584,34 €	-3 966,36 €	
8	2271,97	615,07 €	8,29 €	0,00 €	623,36 €	575,67 €	-3 390,69 €	
9	2203,81	612,00 €	8,25 €	0,00 €	620,25 €	567,12 €	-2 823,58 €	
10	2137,69	608,94 €	8,21 €	0,00 €	617,15 €	558,69 €	-2 264,88 €	
11	2073,56	605,89 €	8,17 €	0,00 €	614,06 €	550,40 €	-1 714,48 €	
12	2011,36	602,86 €	8,13 €	0,00 €	610,99 €	542,22 €	-1 172,26 €	
13	1951,02	599,85 €	8,09 €	0,00 €	607,94 €	534,17 €	-638,09 €	
14	1892,48	596,85 €	8,05 €	0,00 €	604,90 €	526,24 €	-111,85 €	
15	1835,71	593,87 €	8,00 €	0,00 €	601,87 €	518,42 €	406,57 €	14,21576005
16	1780,64	590,90 €	7,96 €	0,00 €	598,86 €	510,72 €	917,29 €	
17	1727,22	587,94 €	7,92 €	0,00 €	595,87 €	503,14 €	1 420,43 €	
18	1675,40	585,00 €	7,89 €	0,00 €	592,89 €	495,66 €	1 916,09 €	
19	1625,14	582,08 €	7,85 €	0,00 €	589,92 €	488,30 €	2 404,39 €	
20	1576,39	579,17 €	7,81 €	0,00 €	586,97 €	481,05 €	2 885,45 €	
21	1529,10	576,27 €	7,77 €	0,00 €	584,04 €	473,91 €	3 359,35 €	
22	1483,22	573,39 €	7,73 €	0,00 €	581,12 €	466,87 €	3 826,22 €	
23	1438,73	570,52 €	7,69 €	0,00 €	578,21 €	459,94 €	4 286,16 €	
24	1395,56	567,67 €	7,65 €	0,00 €	575,32 €	453,10 €	4 739,26 €	
25	1353,70	564,83 €	7,61 €	0,00 €	572,45 €	446,38 €	5 185,64 €	

Tabela 5.1 - Resultados Económicos Caso de Estudo 1

## 5.7 Anexo G: Resultados Económicos Caso de Estudo 2

ANO	PRODUÇÃO PV [kWh]	POUPANÇA NA FATURA	RECEITA DO EXCEDENTE	INVESTIMENTO	CASH FLOW	CASH FLOW ACT	CASH FLOW ACUM	AMORTIZAÇÃO
0				-4 745,14 €	-4 745,14 €	-4 745,14 €	-4 745,14 €	
1	2304,07	171,34 €	0,00 €	0,00 €	171,34 €	169,64 €	-4 575,50 €	
2	2234,94	170,48 €	0,00 €	0,00 €	170,48 €	167,12 €	-4 408,37 €	
3	2167,90	169,63 €	0,00 €	0,00 €	169,63 €	164,64 €	-4 243,74 €	
4	2102,86	168,78 €	0,00 €	0,00 €	168,78 €	162,19 €	-4 081,54 €	
5	2039,77	167,94 €	0,00 €	0,00 €	167,94 €	159,78 €	-3 921,76 €	
6	1978,58	167,10 €	0,00 €	0,00 €	167,10 €	157,41 €	-3 764,35 €	
7	1919,22	166,26 €	0,00 €	0,00 €	166,26 €	155,07 €	-3 609,27 €	
8	1861,65	165,43 €	0,00 €	0,00 €	165,43 €	152,77 €	-3 456,50 €	
9	1805,80	164,60 €	0,00 €	0,00 €	164,60 €	150,50 €	-3 306,00 €	
10	1751,62	163,78 €	0,00 €	0,00 €	163,78 €	148,27 €	-3 157,73 €	
11	1699,07	162,96 €	0,00 €	0,00 €	162,96 €	146,06 €	-3 011,67 €	
12	1648,10	162,14 €	0,00 €	0,00 €	162,14 €	143,90 €	-2 867,77 €	
13	1598,66	161,33 €	0,00 €	0,00 €	161,33 €	141,76 €	-2 726,02 €	
14	1550,70	160,53 €	0,00 €	0,00 €	160,53 €	139,65 €	-2 586,36 €	
15	1504,18	159,72 €	0,00 €	0,00 €	159,72 €	137,58 €	-2 448,78 €	
16	1459,05	158,93 €	0,00 €	0,00 €	158,93 €	135,54 €	-2 313,25 €	
17	1415,28	158,13 €	0,00 €	0,00 €	158,13 €	133,52 €	-2 179,73 €	
18	1372,82	157,34 €	0,00 €	0,00 €	157,34 €	131,54 €	-2 048,19 €	
19	1331,64	156,55 €	0,00 €	0,00 €	156,55 €	129,59 €	-1 918,60 €	
20	1291,69	155,77 €	0,00 €	0,00 €	155,77 €	127,66 €	-1 790,94 €	
21	1252,94	154,99 €	0,00 €	0,00 €	154,99 €	125,77 €	-1 665,17 €	
22	1215,35	154,22 €	0,00 €	0,00 €	154,22 €	123,90 €	-1 541,28 €	
23	1178,89	153,45 €	0,00 €	0,00 €	153,45 €	122,06 €	-1 419,22 €	
24	1143,52	152,68 €	0,00 €	0,00 €	152,68 €	120,25 €	-1 298,97 €	
25	1109,22	151,92 €	0,00 €	0,00 €	151,92 €	118,46 €	-1 180,51 €	

Tabela 5.2 – Resultados Económicos Caso de Estudo 2

## Anexo H: Tarifas Pré-pago Anual Muon Electric



### ELETRICIDADE

POTÊNCIA		SIMPLES		BI-HORÁRIO		
POTÊNCIA CONTRATADA (kVA)	POTÊNCIA (€/DIA)	SIMPLES (€/kWh)	PREÇO TOTAL POR 100kWh	FORA VAZIO (€/kWh)	VAZIO (€/kWh)	PREÇO TOTAL POR 100kWh
1,15						
2,3						
3,45	0,1659	0,1480	19,85	0,1800	0,0850	19,25
4,6	0,2163		19,09			18,49
5,75	0,2683		19,92			19,32
6,9	0,3200		21,18			20,58
10,35	0,4780	0,1480	24,92	0,1800	0,0850	24,32
13,8	0,6330		30,58			29,98
17,25	0,7878		38,89			38,29
20,7	0,9420		51,43			50,83
27,6						
34,5						
41,4						

### CONDIÇÕES:

- O contrato tem um período inicial de 12 meses, renovando-se automaticamente por iguais e sucessivos períodos, caso não seja denunciado por nenhuma das partes nos termos gerais das condições gerais.
- Não existe um período de fidelização.
- Os valores apresentados têm como base as tarifas de acesso às redes reguladas pela ERSE para 2018. Qualquer alteração a esses custos importará uma atualização das tarifas ao Cliente.
- A contratação do presente plano tarifário obriga à adesão da fatura eletrónica e ao pagamento por débito direto em conta.
- O plano tarifário destina-se a consumidores domésticos
- Aos valores apresentados acresce IVA à taxa legal em vigor, assim como outros custos ou taxas obrigatórias que integram a fatura de eletricidade.
- O plano tarifário tem a validade do corrente ano para a eletricidade

1/3

Figura 40 - Tarifa Pré-Pago Anual Muon Electric