



UNIVERSIDADE DE  
**COIMBRA**

Diogo José Lino Vieira Fernandes

**INTEGRAÇÃO DE RENOVÁVEIS EM EDIFÍCIOS: SOLUÇÕES  
PARA AUMENTAR A AUTOSSUFICIÊNCIA DE ENERGIA**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Ramo de Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Coimbra, 2020





FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
**COIMBRA**

# INTEGRAÇÃO DE RENOVÁVEIS EM EDIFÍCIOS: SOLUÇÕES PARA AUMENTAR A AUTOSSUFICIÊNCIA DE ENERGIA

Diogo José Lino Vieira Fernandes

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Ramo de Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Presidente do Júri – Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Vogal – Professor Doutor Tony Richard de Oliveira de Almeida

Coimbra, 2020



# Agradecimentos

---

Em primeiro lugar, quero deixar um agradecimento especial à minha família, em particular aos meus pais, por todo o apoio que me deram para poder alcançar esta fase da minha vida.

Um agradecimento ao orientador responsável da presente dissertação, Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, que conseguiu acompanhar e ajudar no desenvolvimento deste trabalho final, devido ao seu conhecimento e experiência.

Tendo em conta o meu percurso académico na instituição da Universidade de Coimbra, quero deixar um agradecimento a todos os professores e colaboradores desta instituição que me ajudaram ao longo destes anos a adquirir conhecimentos.

Por fim, um agradecimento a todos os meus amigos e colegas que me acompanharam neste percurso académico, que me ajudaram a atravessar os obstáculos e me deixaram momentos e lembranças que não me irei esquecer.



# Resumo

---

O tema da presente Dissertação tem como objetivo avaliar quais as possíveis soluções para aumentar a autossuficiência de uma instalação, tendo em conta a necessidade de fazer uso de recursos de energia mais sustentáveis, através do uso de fontes renováveis. Foi usado o edifício do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e Computadores (DEEC), como estudo de caso.

As energias renováveis têm vindo a ser uma das maiores estratégias adotadas globalmente no combate às alterações climáticas, como também no desenvolvimento da economia, com menores gastos com e energia bem como na criação de empregos neste setor. Esta preocupação tem vindo a incentivar muitos países para o desenvolvimento de estratégias no sentido da diminuição das necessidades energéticas dos edifícios, em especial os Membros da União Europeia, com a imposição da obrigatoriedade de promover necessidades energéticas quase nulas nos edifícios entre 2018-2020, segundo a Diretiva Europeia do Desempenho Energético dos Edifícios. Desta forma tem-se sentido o aumento gradual do uso de energias renováveis nos edifícios ao longo dos últimos anos.

Os problemas de energia são encarados de forma global, sendo nesse sentido que cada vez mais se desenvolvam políticas adequadas à redução da dependência energética e, conseqüentemente, redução dos custos com a energia tanto para o setor residencial como para as empresas. A evolução do conhecimento, da tecnologia, tem conduzido ao uso dos recursos renováveis e ao domínio de novas soluções, que permitem uma melhoria em todos os sentidos na resolução dos problemas com o fornecimento de energia.

O tema proposto tem como principal objetivo o desenvolvimento de soluções para o aumento da autossuficiência do edifício, utilizando fontes renováveis na integração dos edifícios, assegurando um alto valor de autoconsumo da energia produzida através de fontes renováveis. Neste contexto é realizado um enquadramento teórico sobre os métodos mais eficientes na construção de edifícios com necessidades energéticas próximas do zero ou autossuficientes, bem como a eficiência energética, o controlo da carga e o armazenamento dessa energia.

## Palavras-chave

Energias renováveis; fontes renováveis; autoconsumo; sistemas de armazenamento.





# Abstract

---

The theme of the current dissertation has as final objective to evaluate the possible solutions for improving the self-sufficiency of a building, taking into consideration the necessity of using more sustainable energetic methods, through renewable sources. The Department of Electrical and Computer Engineering (DEEC) was used as a case study.

Renewable energies have become one of the major globally adopted strategies in fighting climate changes, as well as in the development of the economy, with less energetic spending and with the creation of more jobs in the sector. This preoccupation has led all countries to develop strategies aiming for a decrease in buildings' energy requirements, especially European Union members, whom have the obligation to promote almost null energetic needs in buildings between 2018-2020, according to the Energy Performance of Buildings Directive. Thus, there has been noticed a gradual increase in the use of renewable energies in buildings over the last years.

Energetic problems are faced globally, therefore, more and more adequate politics are being developed to reduce energetic dependence, and consequently a reduction in costs associated with energy for both the residential sector and companies. The evolution in knowledge, technology, has led to the use of renewable sources and the emergence of new solutions, enabling an across the board improvement in the resolution of problems related with energy supply.

The main objective of the proposed theme is the development of solutions to increase energetic self-sufficiency of the buildings, making use of renewable sources in the integration of the buildings, ensuring a high value of energy self-consumption produced through renewable sources. In this context, it is done a theoretical framework about the most efficient methods in the construction of buildings with energetic requirements close to zero or self-sufficient, as well as energetic efficiency, charge control and the storage of that energy.

## Key words

Renewable energy; renewable sources; self-consumption; storage systems.



# Índice

---

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>i</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Lista de Gráficos</b> .....	<b>xii</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Contextualização e Motivação.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Estrutura da Dissertação.....	2
<b>2. Enquadramento</b> .....	<b>3</b>
2.1. Legislação.....	3
2.1.1. Regulamento do Autoconsumo de Energia Elétrica.....	3
2.1.2. Diretiva de Tarifas de Rede para Autoconsumo.....	3
2.1.3. Direitos e Deveres do Produtor.....	4
2.1.4. Direitos e Deveres do Autoconsumidor.....	5
2.1.5. Fiscalização e Inspeção.....	6
2.2. Integração de Renováveis em Edifícios.....	6
2.2.1. Vantagens e Desvantagens.....	7
2.2.2. Condicionantes da Produção e Flexibilidade de Consumo.....	8
2.2.3. Sistemas de armazenamento de energia.....	9
2.2.4. Autoconsumo.....	10
2.2.5. Tipos de Sistemas.....	14
<b>3. Aplicação e Estudo caso</b> .....	<b>17</b>
3.1. Caracterização do Edifício.....	17
3.2. Análise de Cenários.....	18

3.2.1. Sem Armazenamento.....	18
3.2.2. Com Armazenamento.....	21
<b>4. Conclusão.....</b>	<b>27</b>
4.1. Conclusões .....	27
4.2. Trabalhos Futuros .....	28
<b>Bibliografia.....</b>	<b>29</b>
<b>Anexo A .....</b>	<b>31</b>
<b>Anexo B.....</b>	<b>36</b>
<b>Anexo C .....</b>	<b>43</b>
<b>Anexo D .....</b>	<b>50</b>



# Lista de Figuras

---

Figura 1 - Ajuste dos níveis de consumo (a) [12], e as curvas de produção e consumo de energia (b) [13].....	9
Figura 2 - Modelo de funcionamento de uma UPP e uma UPAC [22] .....	12
Figura 3 - Sistema isolado com uso de painéis fotovoltaicos [25] .....	15
Figura 4 - Sistema com ligação à RESP com uso de painéis fotovoltaicos [26] .....	16

# Lista de Tabelas

---

Tabela 1 - Características UPAC vs UPP [22].....	12
Tabela 2 - Valores máximos, médios e anuais do consumo, produção e compra .....	18
Tabela 3 - Valores de variação sem armazenamento e análises energéticas e económicas .....	19
Tabela 4 - Valores de variação com armazenamento e análises energéticas e económicas, em baterias de 100kWh ....	22
Tabela 5 - Valores de variação com armazenamento e análises energéticas e económicas, em baterias de 250kWh ....	22
Tabela 6 - Valores de variação com armazenamento e análises energéticas e económicas, em baterias de 500kWh ....	22

# Lista de Gráficos

---

Gráfico 1 - Consumo e Produção, em kW, no ano 2019 .....	18
Gráfico 2 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50% .....	20
Gráfico 3 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300% .....	20
Gráfico 4 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% .....	20
Gráfico 5 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300% .....	21
Gráfico 6 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% e a utilização das baterias de 100kWh .....	23
Gráfico 7 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% e a utilização das baterias de 500kWh .....	23
Gráfico 8 - Valores da utilização das baterias de capacidade de 100kWh, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	24
Gráfico 9 - Comparações de Autoconsumos, com produção adicional de 300% e baterias de 500kWh .....	24
Gráfico 10 - Autoconsumo anual, em percentagem, com o aumento de produção adicional, nas diferentes baterias ....	25
Gráfico 11 - Autoossuficiência anual, em percentagem, com o aumento de produção adicional, nas diferentes baterias	25
Gráfico 12 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100% .....	32
Gráfico 13 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100% .....	32
Gráfico 14 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150% .....	33
Gráfico 15 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150% .....	33
Gráfico 16 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200% .....	34
Gráfico 17 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	34
Gráfico 18 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250% .....	35
Gráfico 19 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250% .....	35
Gráfico 20 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50% .....	37
Gráfico 21 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% .....	37
Gráfico 22 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% .....	37
Gráfico 23 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100% .....	38
Gráfico 24 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100% .....	38
Gráfico 25 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 100% .....	38
Gráfico 26 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150% .....	39
Gráfico 27 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150% .....	39
Gráfico 28 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 150% .....	39
Gráfico 29 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200% .....	40
Gráfico 30 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	40
Gráfico 31 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	40
Gráfico 32 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250% .....	41
Gráfico 33 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250% .....	41



Gráfico 34 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 250% .....	41
Gráfico 35 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300%.....	42
Gráfico 36 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300% .....	42
Gráfico 37 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 300% .....	42
Gráfico 38 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50%.....	44
Gráfico 39 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% .....	44
Gráfico 40 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% .....	44
Gráfico 41 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100%.....	45
Gráfico 42 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100% .....	45
Gráfico 43 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 100% .....	45
Gráfico 44 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150%.....	46
Gráfico 45 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150% .....	46
Gráfico 46 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 150% .....	46
Gráfico 47 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200%.....	47
Gráfico 48 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	47
Gráfico 49 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	47
Gráfico 50 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250%.....	48
Gráfico 51 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250% .....	48
Gráfico 52 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 250% .....	48
Gráfico 53 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300%.....	49
Gráfico 54 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300% .....	49
Gráfico 55 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 300% .....	49
Gráfico 56 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50%.....	51
Gráfico 57 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% .....	51
Gráfico 58 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%.....	51
Gráfico 59 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100%.....	52
Gráfico 60 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100% .....	52
Gráfico 61 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 100% .....	52
Gráfico 62 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150%.....	53
Gráfico 63 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150% .....	53
Gráfico 64 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 150% .....	53
Gráfico 65 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200%.....	54
Gráfico 66 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	54
Gráfico 67 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 200% .....	54
Gráfico 68 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250%.....	55
Gráfico 69 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250% .....	55
Gráfico 70 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 250% .....	55
Gráfico 71 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300%.....	56

Gráfico 72 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300% .....	56
Gráfico 73 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 300% .....	56

# Lista de Abreviaturas

---

## Abreviaturas

CER	Comunidades de Energia Renovável
CIEG	Custos de política energética, de sustentabilidade e de interesse económico geral
CUR	Comercializador de Último Recurso
DC-AC	Conversão de corrente Contínua para Alternada
DEEC	Departamento de Engenharia Eletrotécnica e Computadores
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
GEE	Gases de Efeito de Estufa
IU	Instalação de Utilização de Eletricidade
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
PRI	Período de Recuperação do Investimento
REI	Redes Elétricas Inteligentes
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RTQ	Regulamento Técnico e de Qualidade
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SERUP	Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
UP	Unidades de Produção
UPAC	Unidade de Produção de Autoconsumo
UPP	Unidades de Pequena Produção
VAL	Valor Atual Líquido



# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização e Motivação

A energia elétrica é cada vez mais um bem presente no nosso quotidiano, dado que cada vez mais são usados equipamentos que necessitam de eletricidade para o seu funcionamento, quer a nível residencial quer a nível empresarial. Deste modo, existe um foco constante na inovação do uso da energia, sendo também importante utilizar cada vez mais energias limpas, como energias renováveis, para o bem do ambiente e do bem-estar público. Ao colocar o ambiente e a população em primeiro plano, pretende-se que a utilização da energia cause cada vez menos poluição e seja cada vez mais rentável a nível económico.

A utilização de energias não renováveis é considerada uma das principais causas das emissões de gases com efeito de estufa, o que leva a um aumento do aquecimento global. Pensando no futuro, o ser humano viu no aquecimento global uma deterioração generalizada do planeta Terra e com prejuízo no seu dia-a-dia. Com vista ao seu bem-estar desenvolveu-se uma preocupação ambiental, o que levou ao desenvolvimento de novas tecnologias que permitam proteger o meio ambiente, utilizando recursos provenientes do mesmo, como a radiação solar, o vento e a água.

Dado o difícil acesso às novas tecnologias energéticas para a população em geral, os países e os governos representantes estabeleceram apoios e incentivos para o seu desenvolvimento e integração nos edifícios. O desenvolvimento destas tecnologias a nível mundial depende muito da zona geográfica e das condições climáticas, como por exemplo, Portugal que beneficia das suas condições naturais, com longos períodos de exposição solar, exposição ao vento e ainda uma grande área costeira, bem como diversos rios, permitindo assim aproveitar os recursos obtidos através da Natureza.

O aproveitamento destes recursos e das energias resultantes são de extrema importância para o nosso país, tendo em conta que o setor dos transportes é o que mais necessita de energia primária (32%), seguido dos edifícios (30%, dos quais 16,7% são referentes ao setor doméstico e 13,3% aos serviços), ao contrário dos restantes países da União Europeia [1].

A nível Europeu, o Parlamento Europeu e do Conselho definiu a Diretiva Europeia do Desempenho Energético dos Edifícios (versão atualizada em 2018), que tem como objetivo impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto do edifício, estabelecendo assim estratégias que permitem assegurar a renovação de edifícios existentes, convertendo-os em edifícios descarbonizados e de elevada eficiência energética até 2050, levando a necessidades energéticas quase nulas [1].

## 1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo principal estudar as condições para se atingir níveis de autossuficiência superiores a 50% no edifício do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e Computadores, partindo do sistema fotovoltaico existente para produtor de eletricidade, aumentar a sua

capacidade instalada de produção e considerar o uso de armazenamento da energia. Essa análise é realizada através da observação de indicadores energéticos e económicos para, posteriormente, ser obtida a melhor solução de autossuficiência do edifício.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

A presente Dissertação divide-se em 4 capítulos, sendo que o primeiro é destinado à introdução, em que se realiza a contextualização do trabalho, se define os objetivos do trabalho e se explica a estrutura da mesma.

No segundo capítulo pretende-se enquadrar o trabalho através da legislação adequada ao autoconsumo, ao consumidor e ao produtor, e abordar o tema da integração de renováveis nos edifícios através da descrição das suas vantagens e desvantagens, dos seus problemas e problemáticas, dos sistemas de armazenamento, do autoconsumo e os tipos de sistemas existentes.

O terceiro capítulo é destinado à aplicação do estudo caso onde, sinteticamente, apresenta uma metodologia do trabalho, referindo as ferramentas utilizadas e os princípios aplicados, seguido de uma caracterização do edifício a níveis de consumo e produção de energia, neste caso o DEEC, terminando com uma análise de cenários relativamente à autossuficiência e ao autoconsumo, com e sem armazenamento.

No capítulo quatro, e último, são apresentadas as conclusões finais da dissertação, tendo em conta a análise de resultados obtidos nos cenários desenvolvidos anteriormente, e também as sugestões de trabalhos futuros.

## 2. Enquadramento

### 2.1. Legislação

#### 2.1.1. Regulamento do Autoconsumo de Energia Elétrica

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) tem como objetivo “a regulação, em todo o território nacional, dos setores da eletricidade, do gás natural e do gás de petróleo liquefeito em todas as suas categorias, dos combustíveis derivados do petróleo e dos biocombustíveis, e da atividade de gestão de operações da rede de mobilidade elétrica.” [2].

O autoconsumo de energia elétrica rege-se pelo regulamento nº 266/2020 estabelecido pela ERSE, publicado no Diário da República 2.ª Série, n.º 57/2020, de 20 de março de 2020. Este regulamento baseia-se no Decreto-Lei nº162/2019 de 25 de outubro, em que se estabelecem normas para que os autoconsumidores de energia renovável possam usufruir de encargos equilibrados desde o início da produção de energia, consumo, armazenamento e partilha, até à sua possível venda [3].

O Decreto-Lei acima referido prevê ainda que qualquer projeto singular ou coletivo de autoconsumo deve apresentar um sistema de contagem inteligente e que este seja instalado no mesmo nível de tensão.

Segundo o Artigo 6º, do Regulamento do Autoconsumo de Energia Elétrica, distinguem-se duas modalidades de autoconsumo, o autoconsumo individual e o autoconsumo coletivo. O individual refere-se à produção de energia renovável com o intuito do consumo ser feito na própria instalação de utilização, tendo em conta que, quer a unidade de produção quer a instalação, pertencem ao mesmo titular. O autoconsumo coletivo diz respeito à produção de energia renovável de uma ou mais instalações, tendo sempre que estar ligadas a mais que uma instalação de utilização, através de uma rede interna ou da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

As tarifas relativas ao uso da rede de transporte são aplicadas aos valores em excessos de produção, segundo o artigo 40º do regulamento [4]. Estas tarifas, de acordo com o artigo 38º do regulamento, são compostas pelos preços de potência em hora de ponta, sendo estes definidos em Euros por kW por mês, e os preços de energia ativa, definidos em Euros por kWh.

#### 2.1.2. Diretiva de Tarifas de Rede para Autoconsumo

Quando se aborda o tema das tarifas de rede, é fundamental perceber que as Comunidades de Energia Renovável (CER) e a modalidade de autoconsumo coletivo são definidas através da revisão do regime jurídico do autoconsumo pelo Decreto-Lei nº 162/2019 de 25 de outubro. Este Decreto-Lei, prevê que a partir do dia 1 de janeiro de 2020, qualquer projeto singular de autoconsumo, coletivo de autoconsumo ou CER apresentem, simultaneamente, um sistema de contagem inteligente e que este seja instalado no

mesmo nível de tensão.

O conselho de Administração da ERSE, ao considerar o parecer do Conselho Tarifário do Setor Elétrico das providências acordadas nos Estatutos da ERSE no nº1 do artigo 9º, no nº1 do artigo 11º alínea a), no artigo 12º e no nº2 do artigo 31º alínea c) e e), assim como no Regulamento do Autoconsumo de Energia Elétrica da ERSE no artigos 38º e 39º, este tendo sido aprovado no dia 6 de março de 2020, e do Decreto-Lei nº162/2019 no artigo 18º, define a aprovação das tarifas de acesso às redes que serão aplicadas ao autoconsumo de energia elétrica a entrar em vigor em 2020 e a diretiva presente entra em ação no dia após a sua publicação [5].

### 2.1.3. Direitos e Deveres do Produtor

São direitos do produtor [6]:

- Estabelecer uma Unidade de Produção de Autoconsumo (UPAC) por cada instalação elétrica de utilização, recorrendo a qualquer uma fonte de energia, renovável ou não renovável, e respetivas tecnologias de produção associadas;
- Ligar a UPAC à instalação elétrica de utilização após a emissão do correspondente certificado de exploração definitivo;
- Consumir a energia gerada pela UPAC e exportar eventuais excedentes para a RESP;
- Celebrar contrato de venda da eletricidade proveniente da UPAC não consumida na instalação elétrica de utilização de eletricidade, quando aplicável;
- Solicitar a emissão de garantias de origem, à Entidade Emissora de Garantias de Origem, relativas à eletricidade produzida na UPAC e autoconsumida, proveniente de fontes renováveis.

São deveres do produtor [6]:

- Suportar os custos das alterações da ligação da instalação elétrica de utilização à RESP e o custo associado aos contadores que medem o total da eletricidade produzida pela UPAC, bem como o total da eletricidade injetada na RESP;
- Pagar a compensação devida pela UPAC;
- Dimensionar a UPAC de forma a garantir a aproximação, sempre que possível, da energia elétrica produzida com a quantidade da energia elétrica consumida;
- Prestar à Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) todas as informações e dados técnicos da instalação e facilitar o acesso do pessoal técnico, ao Comercializador de Último Recurso (CUR) e ao operador da rede;
- Celebrar um seguro de responsabilidade civil, cujo capital seguro mínimo e condições mínimas são definidas em Portaria do Governo;
- Assegurar que os equipamentos se encontram certificados.



## 2.1.4. Direitos e Deveres do Autoconsumidor

São direitos do Autoconsumidor [7]:

- Assegurar ao consumidor final de energia elétrica o direito de se tornar autoconsumidor;
- Instalar uma UPAC para produzir eletricidade para consumo próprio, recorrendo a uma qualquer fonte de energia renovável e respetivas tecnologias de produção associadas;
- Estabelecer e operar linhas diretas, quando não exista acesso à rede pública, e estabelecer e operar redes internas;
- Consumir, na Instalação de Utilização de Eletricidade (IU) associada à UPAC, a eletricidade produzida ou armazenada em instalações próprias, e entregar a produção excedente a terceiros ou à RESP;
- Produzir eletricidade na UPAC associada à IU, para consumo próprio, armazenar e transacionar a produção excedentária de eletricidade, nomeadamente através de contratos de aquisição de eletricidade, de comercializadores de eletricidade ou de regimes de comercialização entre pares;
- Instalar e operar sistemas de armazenamento de eletricidade, combinados com instalações que produzam eletricidade renovável para autoconsumo, sem serem sujeitos a qualquer duplicação de encargos, incluindo encargos de acesso à rede para a eletricidade armazenada que se circunscreve às suas instalações;
- Solicitar a emissão de garantias de origem à Entidade Emissora de Garantias de Origem, relativamente à eletricidade excedente produzida por UPAC e injetada na rede;
- Manter os seus direitos e obrigações enquanto consumidor final de eletricidade;
- Aceder à informação disponibilizada na área do Portal reservada ao autoconsumidor de energia renovável para controlo do seu perfil de produção e consumo de energia;
- Cessar a atividade de autoconsumidor, nos termos previstos na lei em acordos eventualmente celebrados com terceiros ou demais autoconsumidores, no caso do autoconsumo coletivo.

São deveres do autoconsumidor [7]:

- Suportar o custo das alterações da ligação de IU à RESP, nos termos da regulamentação da ERSE;
- Suportar os encargos de ligação de UPAC à RESP, nos termos da regulamentação da ERSE;
- Suportar o custo associado aos contadores;
- Suportar as tarifas definidas pela ERSE sempre que haja utilização da RESP;
- Dimensionar a UPAC de forma a garantir a maior aproximação possível da energia elétrica produzida à quantidade de energia elétrica consumida na IU;
- Prestar à DGEG, ou à entidade legalmente incumbida da fiscalização da atividade de produção em autoconsumo, todas as informações e dados técnicos, designadamente os dados relativos à

eletricidade produzida por uma UPAC, que lhe sejam solicitadas e no tempo que seja fixado para o efeito;

- Permitir e facilitar o acesso às UPAC do pessoal técnico das entidades referidas na alínea anterior, do agregador independente ou comercializador que agrega produção, do participante de mercado e do operador de rede, no âmbito e para o exercício das respetivas atribuições, competências, ou direitos consagrados contratualmente;
- Assegurar que os equipamentos de produção instalados se encontram certificados;
- Adotar os procedimentos necessários para a desativação e remoção da UPAC e demais instalações auxiliares, quando existam, após cessação da atividade.

### 2.1.5. Fiscalização e Inspeção

Conforme estabelecido no Artigo 38º, do capítulo VI – Fiscalização e regime sancionatório, do Decreto-Lei 153/2014, a fiscalização das Unidades de Produção (UP) pressupõe que estas sejam verificadas e que se mantenham em conformidade com o disposto no respetivo Decreto-Lei e no Regulamento Técnico e de Qualidade (RTQ) de 2019. A competência para a fiscalização do cumprimento das obrigações previstas no Decreto-Lei pertence à DGEG, que podem solicitar apoio de técnicos especializados sempre que o considerem necessário.

Relativamente ao Artigo 39º do Decreto-Lei acima referido, aborda-se o tema da inspeção periódica, no qual as UP com potência instalada superior a 1,5 kW se encontram concomitantemente sujeitas a inspeções periódicas, as quais são realizadas com uma periodicidade de dez anos, quando a potência da UP for inferior a 1 MW, ou seis anos, nos restantes casos. As regras e orientações metodológicas são definidas por despacho do diretor-geral da DGEG e objeto de publicação no Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP), anualmente [6] [8].

## 2.2. Integração de Renováveis em Edifícios

O uso de fontes de energia renováveis é cada vez mais uma necessidade no que concerne à redução do impacto ambiental. A utilização das mesmas é um ponto estratégico para o crescimento económico, para a segurança do abastecimento e para a redução da dependência de fontes fósseis.

Nos edifícios, as tecnologias para produção de energia a partir de fontes renováveis podem ser facilmente integradas e de forma eficiente, principalmente se estas forem consideradas na fase do projeto. As fontes de energia renováveis que podem ser utilizadas nos edifícios dividem-se em energia solar térmica, energia solar fotovoltaica, energia eólica, energia da biomassa e energia geotérmica.

### **Energia Solar Térmica**

A integração de tecnologias para produzir a energia solar térmica foca-se particularmente em

painéis solares, podendo estes apresentarem diversas formas, consoante as características dos edifícios, a área disponível e a necessidade destes sistemas.

A instalação dos coletores para a produção desta energia pode ser realizada em fachadas, sobre um telhado inclinado, ou até mesmo adaptados para telhados planos ou para superfícies planas. As várias opções têm as suas vantagens e desvantagens, sendo que, no caso dos coletores que são instalados em telhados inclinados ou em fachadas, já apresentam o seu alinhamento e inclinação, maioritariamente, pré-definidos. Por outro lado, num telhado plano ou numa superfície permite mais facilmente obter uma orientação a Sul e um ângulo de inclinação mais adequado às necessidades.

### **Energia Solar Fotovoltaica**

A nível das tecnologias para produção de energia solar fotovoltaica, estas também podem ser adaptadas de diversas formas nos edifícios. As opções com um uso mais frequente são em edifícios residenciais ou em centrais solares, mas também existe a possibilidade da sua integração em grandes edifícios, combinando assim os sistemas fotovoltaicos com a arquitetura do edifício para obter uma mistura mais elegante no *design*, economia e ecologia, pelo que são integrados em coberturas ou em fachadas.

Estas tecnologias podem ser integradas tanto horizontalmente, como verticalmente, ou então com um ângulo de interesse, sendo ainda possível a sua produção nas medidas específicas eleitas pelo cliente. Os conjuntos de células e o seu posicionamento podem ser adaptados, dependendo da sua transparência, dimensões, intensidade da luz e a quantidade de sombra previstas no local.

### **Energia Eólica**

A produção da energia eólica depende de tecnologias que têm como solução, a nível estético e construtivo, o uso de turbinas com eixo vertical.

Um dos inconvenientes da aplicação em massa desses equipamentos é a inconstância do vento característica do ambiente urbano, bem como o seu elevado custo de manutenção. O êxito desta energia dependerá de uma avaliação correta da disponibilidade do recurso, da escolha da turbina e da sua instalação.

A combinação da utilização de um sistema eólico e de um sistema fotovoltaico culmina num sistema híbrido com dois recursos distintos, permitindo uma maior independência a nível energético. Em contrapartida, a energia eólica tem uma produção mais elevada durante o período noturno, na altura do vazio, o que leva a uma necessidade de aumentar os sistemas de armazenamento, diminuindo a sua rentabilidade.

## **2.2.1. Vantagens e Desvantagens**

Como todas as energias renováveis ou não renováveis, a sua integração em edifícios pressupõe o debate em torno das vantagens e desvantagens da utilização das mesmas. Dado que as energias renováveis são consideradas uma nova tecnologia, o debate em torno das vantagens e desvantagens da sua integração em edifícios é crucial para a sua utilização. Relativamente às vantagens da sua integração, consideram-se

os seguintes aspetos [9]:

- São energias inesgotáveis, comparadas às energias provenientes das fontes fósseis;
- Reduzem o impacto ambiental, tendo em conta que a combustão dos combustíveis fósseis produz Gases de Efeito de Estufa (GEE);
- Os riscos associados a estas fontes de energia são menores que os riscos da energia nuclear;
- Reduz a utilização e importação de combustíveis fósseis;
- Reduz as emissões de CO<sub>2</sub> ou outros GEE, permitindo a melhoria da qualidade do ar.

Em contrapartida, as desvantagens da integração de renováveis em edifícios são as seguintes:

- Apresentam um elevado custo inicial;
- Necessitam de infraestruturas adequadas;
- Nos sistemas de produção de energia da biomassa, a sua combustão não é considerada limpa;
- Os sistemas hidroelétricos causam erosão dos solos, o que pode levar a impactos negativos na vegetação envolvente;
- Nos sistemas eólicos, as turbinas apresentam um elevado custo de compra e são ruidosas em funcionamento.

### 2.2.2. Condicionantes da Produção e Flexibilidade de Consumo

Diversas sistemas de armazenamento de energia estão presentes no nosso dia-a-dia, como por exemplo em *smartphones*, em computadores portáteis ou em *powerbanks*, e com isto é plausível a perceção da importância do armazenamento de energia existente nas nossas vidas. Contudo, o armazenamento de energia elétrica ao nível de rede elétrica tem também um papel fundamental nos dias atuais, pois em cada momento a produção de energia deve igualar o consumo de energia. Com a introdução de fontes intermitentes no sistema elétrico tem existido um aumento contínuo nas necessidades de armazenamento.

Um dos fatores essenciais para o avanço dos estudos e a procura de soluções baseadas em sistemas de armazenamento de energia, corresponde ao grande crescimento do consumo energético. A este crescimento deve-se a motivação da substituição de redes elétricas tradicionais para as *smart grids* (redes elétricas inteligentes - REI). Sendo assim, como o consumo de energia aumentou, também existiu a necessidade de aumentar a produção de energia através de fontes renováveis, mais especificamente de energia solar fotovoltaica e eólica, que porventura têm um carácter inconstante na produção de energia [10] [11].

Com a integração de sistemas de armazenamento de energia elétrica, a energia armazenada pode ser usada para ajustar os níveis de consumo (Figura 1a), ou seja, utilizar essa energia em períodos em que há pouca, ou nenhuma, produção de energia, possibilitando um equilíbrio entre o consumo e a produção de energia, da mesma forma mantendo-se a qualidade da energia. Outro fator a ponderar é a gestão dos diagramas de cargas (Figura 1b), dado que se pode usar essa energia armazenada, que é produzida durante o dia, para ser usada em horas de ponta ou cheia. Por exemplo, se for utilizada ao final do dia ou à noite,

em vez das ditas horas de vazio, possibilita a redução do congestionamento nas linhas de transporte e distribuição de energia elétrica.

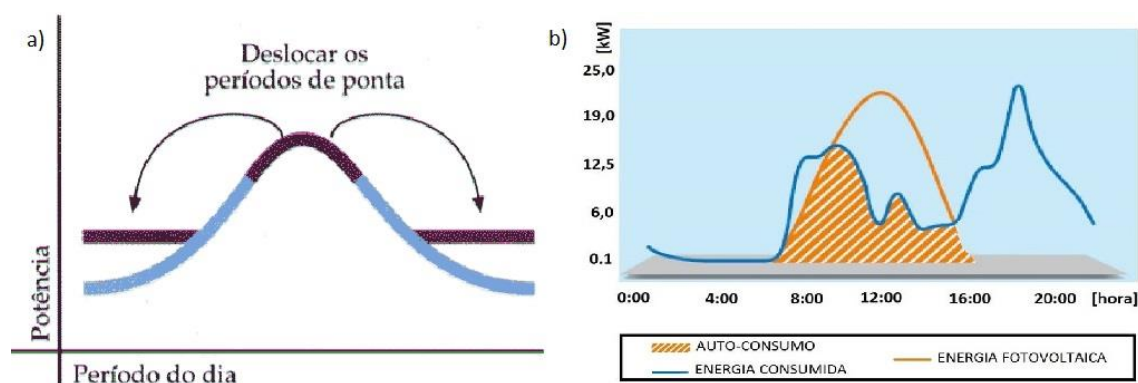


Figura 1 - Ajuste dos níveis de consumo (a) [12], e as curvas de produção e consumo de energia (b) [13]

Os sistemas de armazenamento de energia elétrica são sistemas cada vez mais suscetíveis à flexibilidade, no entanto enfrentam alguns desafios, como a sua eficácia de armazenamento, os custos elevados, o espaço que requerem, o desgaste dos mesmos ou o dimensionamento da potência e energia dependente das funcionalidades do sistema [14] [15].

Por largos períodos de tempo, o armazenamento de energia não era reconhecido como uma prioridade, tendo em vista que certas tecnologias não eram economicamente aceitáveis e os seus benefícios não eram tão valorizados como nos sistemas centralizados de combustível fóssil. Esta situação encontra-se em constante mudança devido à redução do custo dessas tecnologias de armazenamento de energia e também pela política de descarbonização. De acordo com o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), sendo o principal instrumento de política energética e climática, a descarbonização é uma das cinco dimensões abordadas no Regulamento, dado que o objetivo desta é atingir a Neutralidade Carbônica até 2050, constituindo uma estratégia de desenvolvimento a longo prazo com baixas emissões de GEE [11] [15].

### 2.2.3. Sistemas de armazenamento de energia

Os sistemas de armazenamento de energia apresentam um enorme papel na integração de energias renováveis nos edifícios. Estes sistemas armazenam energia produzida através das energias renováveis, que neste caso, a produção de energia realiza-se através de um sistema fotovoltaico. O objetivo principal do armazenamento de energia para uso posterior é integrar maior nível de produção no consumo de energia dos edifícios, reduzindo assim a compra de energia à RESP.

Os sistemas de armazenamento de energia podem ser separados em cinco categorias, sendo essas, elétricas, eletroquímicas, químicas, mecânicas e térmicas.

Dentro dos sistemas de armazenamento de energia elétricos existem os supercondensadores e os supercondutores magnéticos. Os sistemas eletroquímicos incluem as baterias de diversos materiais, como

chumbo-ácido, íões de lítio, níquel-cádmio e sódio-enxofre. No que diz respeito aos sistemas de armazenamento químicos encontram-se as células de combustível. Referente à categoria dos sistemas mecânicos tem-se os sistemas de armazenamento de energia pelo bombeamento de água, *flywheel* e os armazenamentos de energia a ar comprimido. Relativamente aos sistemas térmicos, estes dividem-se no armazenamento de calor, seja ele sensível ou latente [16].

No estudo de caso usado, o edifício do DEEC, com capacidade instalada para produção de eletricidade através de um sistema fotovoltaico, a utilização do sistema de armazenamento mais adequados passa pelo uso de baterias.

#### 2.2.3.1. Baterias

Na abordagem ao tema das baterias como armazenamento da energia excedente da produção, deve-se apresentar as suas vantagens e desvantagens. As vantagens da sua utilização e investimento enumeram-se pelos seguintes pontos [17]:

- Servem de apoio, isto é, evitam que a energia excedente da produção seja enviada para a rede, sendo armazenada para utilização em período em que a produção não seja suficiente para compensar o consumo;
- Aumentam a independência energética, ou seja, aumentam o autoconsumo, levando a uma redução da fatura de energia;
- Reduzem a pegada ecológica, tendo em conta que se consome energia proveniente de uma fonte renovável e evita-se a utilização de energias provenientes dos combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> e dos GEE.

Relativamente às suas desvantagens assume-se que apresentam as seguintes características:

- Custo elevado, tendo em conta que é uma tecnologia em desenvolvimento, apesar de que os seus custos têm vindo a reduzir ao longo do tempo;
- Nível de complexidade na instalação do sistema de armazenamento, devendo a sua implementação ser dimensionada consoante as necessidades do consumidor;
- Manutenção elevada, como as baterias de chumbo-ácido, em contrapartida, as baterias de íões de lítio não necessitam de tanta manutenção, mas têm um custo mais elevado;
- Tempo de vida útil limitado, com necessidade de substituições recorrentes, sendo que o modo de utilização das baterias influencia a sua duração e viabilidade.

#### 2.2.4. Autoconsumo

Quando se está em regime de autoconsumo, a produção de energia elétrica na instalação é usada essencialmente para consumo próprio, conduzindo a diversas vantagens, a redução de custos na sua fatura

de energia para o consumidor, com produção de energia limpa que contribui para a redução das emissões de GEE [18].

A produção para autoconsumo proveniente de energias renováveis apresenta períodos de retorno de investimento atrativos, em média, entre os 4 e os 8 anos, nos sectores comercial e industrial. Apesar do investimento inicial, a implementação dos sistemas de autoconsumo permite uma rentabilização das coberturas e dos telhados das empresas, fazendo com que estas sejam distinguidas como empresas sustentáveis a nível energético[18].

#### 2.2.4.1. Unidades de Pequena Produção (UPP) vs Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC)

As UPP, como o nome indica, são unidades de pequena produção de energia, exclusivamente, através da produção de energias renováveis, em que só existe uma tecnologia de produção de energia (Figura 2) [19].

Por outro lado, as UPAC são unidades de produção de eletricidade, destinada ao consumo próprio na instalação onde essa energia é produzida, existindo ou não ligação à RESP. A energia produzida pode ser obtida a partir de tecnologias com origem em fontes renováveis ou não renováveis (Figura 2) [19].

As unidades mencionadas podem distinguir-se através de diversas características numeradas de seguida (Tabela 1).

Principais características de uma UPP [20] [21]:

- A totalidade da energia produzida será injetada na RESP;
- A instalação de consumo agregada recebe toda a eletricidade da RESP;
- A instalação desta unidade é feita no local de consumo;
- A potência de ligação da UPP tem de ser menor que a potência contratada na instalação de consumo, não podendo ser maior que 250kW;
- A energia produzida pela UPP tem de ser menor ou igual ao dobro da eletricidade consumida na própria instalação de consumo;
- Este modelo é idêntico ao atual regime de Miniprodução.

Principais características de uma UPAC [20] [21]:

- Estas unidades de produção têm como objetivo produzir energia para atender às necessidades do consumo;
- A energia produzida é diretamente inserida nas instalações de consumo;
- O excedente da energia produzida pode ser injetado na RESP;
- A potência de ligação da UPAC tem de ser menor que a potência contratada para as instalações de consumo;
- A potência da UPAC tem de ser igual ou inferior a 2 vezes a potência de ligação.

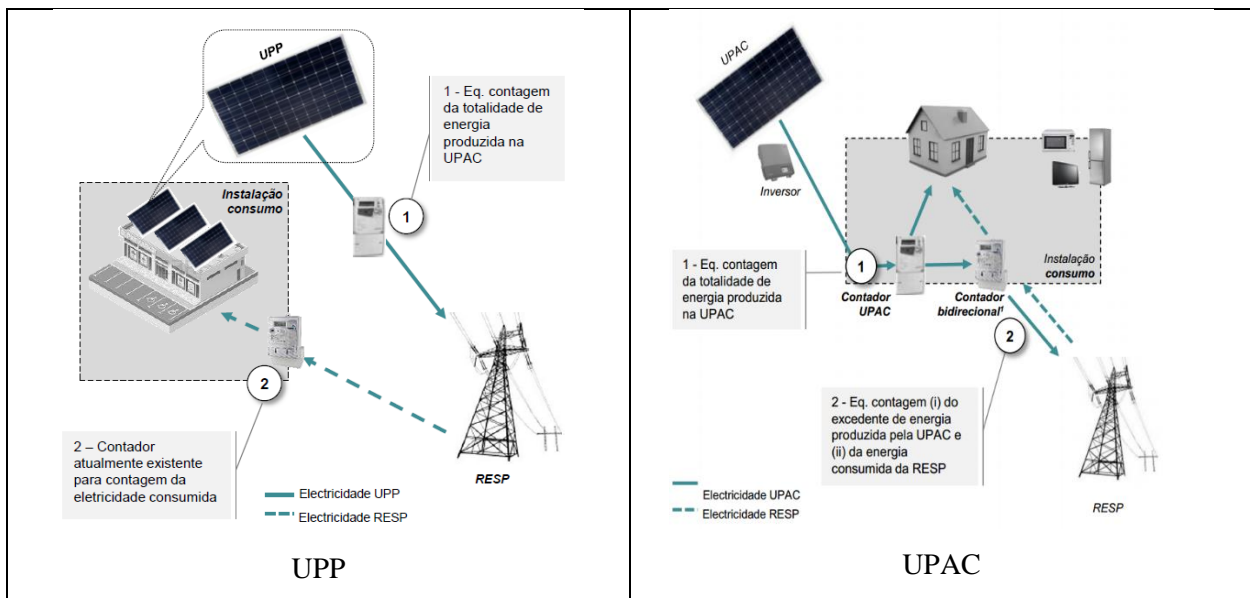


Figura 2 - Modelo de funcionamento de uma UPP e uma UPAC [22]

Tabela 1 - Características UPAC vs UPP [22]

	UPAC	UPP
<b>Fonte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renovável;</li> <li>• Não Renovável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renovável.</li> </ul>
<b>Limite Potência</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência de ligação &lt;100% da potência contratada na instalação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência de ligação &lt;100% da potência contratada de consumo;</li> <li>• Potência de ligação até 250kW.</li> </ul>
<b>Requisitos de Produção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo;</li> <li>• Venda do excedente instantâneo ao CUR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção anual &lt; 2 vezes o consumo da instalação;</li> <li>• Venda da totalidade de energia ao CUR.</li> </ul>
<b>Renumeração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor da pool para excedentes instantâneo de produção, deduzidos de custos;</li> <li>• Numa base anual, o excedente produzido face às necessidades de consumo não é remunerado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifa obtida em leilão para totalidade da produção;</li> <li>• Numa base anual, o excedente produzido face ao requisito de 2 vezes consumo da instalação não é remunerado.</li> </ul>
<b>Compensação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 30% e 50% do respetivo valor dos Custos de política energética, de sustentabilidade e de interesse económico geral (CIEG) quando a potência acumulada de unidades de autoconsumo exceda 1% da potência instalada no Sistema Elétrico Nacional (SEN).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n.a.</li> </ul>
<b>Contagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contagem obrigatória para potências ligadas à RESP superiores a 1,5 kW.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obrigatória para todas as potências, como elemento chave na faturação.</li> </ul>
<b>Processo Licenciamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo gerido via plataforma eletrónica;</li> <li>• Mera comunicação prévia: Entre 200W – 1,5 kW;</li> <li>• Registo mais certificado de exploração: Entre 1,5 kW e 1MW;</li> <li>• Licença de produção mais exploração: &gt;1MW.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo gerido via plataforma eletrónica;</li> <li>• Registo mais certificado de exploração;</li> <li>• Inspeções obrigatórias.</li> </ul>
<b>Outros aspetos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não existe quota de atribuição.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quota máxima anual de potência atribuída (p.e. 20 MW atribuídos por ano).</li> </ul>

Uma vez que as UPAC produzem para suprir as necessidades de consumo de energia da instalação, a instalação existente no DEEC de painéis fotovoltaicos enquadra-se numa UPAC.



#### 2.2.4.2.Planeamento e Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

A presente dissertação visa estudar a integração de energias renováveis nos edifícios, mais especificamente a energia solar fotovoltaica aplicando uma metodologia dividida em 4 etapas fundamentais relacionadas com o dimensionamento do projeto [23].

Como primeira etapa pretende-se estudar o meio envolvente, a economia, a legalidade e a geografia. Para uma continuidade do projeto existem fatores decisivos, como as características do local da integração e os regimes legais que estão em vigor para esse tipo de exploração;

A segunda etapa está associada ao dimensionamento dos componentes que irão fazer parte do sistema, concentrando-se assim na seleção dos equipamentos que mais se adequam ao projeto, quer seja a própria conceção do sistema, o dimensionamento dos inversores ou os cabos de ligação;

Numa terceira etapa procura-se analisar que tipo de ligação à RESP se pretende, tendo em atenção a potência instalada e o modelo de interligação do sistema de produção de energia elétrica com a RESP. Decisões como estas têm como base os níveis de energia que serão injetados na RESP (baixa ou média tensão) e que recursos serão necessários para que as condições tarifárias e de segurança sejam respeitadas.

A última etapa procede de cálculos para analisar a viabilidade económica, derivados de estudos do desempenho do sistema que averiguam a rentabilidade financeira que o projeto poderá trazer. Com base na quantidade de energia injetada na RESP, durante a vida útil do sistema, é possível avaliar a viabilidade económica do mesmo, calculando o tempo de retorno do investimento.

#### 2.2.4.3.Visita e levantamento das características do local da instalação

Na existência de um bom planeamento, após decisão do dimensionamento e dos gastos pretendidos pelo cliente para um sistema fotovoltaico, há que ter em conta o local onde será instalado esse sistema. Uma visita prévia ao local permite avaliar as condições existentes, que poderá dar uma indicação favorável sobre a instalação do sistema.

Como primeiro passo, pretende-se a realização do reconhecimento do edifício onde será feita a instalação para perceber se será adequada a sua implementação, bem como nomear locais alternativos onde essa instalação poderá ser feita. Esta inspeção inicial é fundamental para evitar erros de planeamento, tanto a nível de produção como de consumo de energia, e para determinar os custos totais da instalação do sistema. Alguns dos exemplos desse planeamento são os trabalhos que serão necessários para a instalação dos painéis fotovoltaicos, a identificação de possíveis espaços para colocar o inversor, o esboço da rede de cabos e os eventuais trabalhos de modificação da caixa do contador.

Levantamento de algumas questões com impacto na decisão de instalação numa UPAC. Exemplos de algumas dessas questões são as seguintes:

- Qual a disponibilidade da área do telhado, das fachadas ou de outras superfícies envolventes?
- Qual a inclinação e orientação das estruturas disponíveis para a instalação do sistema?
- Qual a configuração do telhado, as propriedades da cobertura, da estrutura e subestrutura?

- Que aberturas são utilizadas no telhado?
- Quais os dados sobre os sombreamentos?
- Onde está instalado a caixa do contador e que espaços poderão existir para a colocação de um contador extra?
- Quais os acessos disponíveis, caso exista necessidade de equipamento extra e específico para a instalação do sistema?
- Qual é a produção energética que deseja consoante a potência fotovoltaica a instalar?
- Qual o enquadramento financeiro, considerando as respetivas condições de atribuição de subsídios?

Para complementar os dados obtidos, deve-se fazer uso de documentos facilitadores de interpretação, como por exemplo os planos de localização do edifício, as informações sobre o edifício e ainda o seu projeto e fotografias. Estes documentos poderão vir a ser necessários para a divulgação de candidaturas a subsídios e para o registo da empresa que opera a RESP [23].

#### 2.2.4.4. Indicadores económicos

Os investimentos realizados, quer sejam feitos por empresas ou particulares, devem ser analisados consoante uma rentabilidade financeira. Os principais indicadores para determinar o potencial económico de uma UPAC definem-se como [24]:

- Período de Recuperação do Investimento (PRI), isto é, o período de tempo que um investimento demora a gerar lucros que igualam os gastos que foram investidos para a concretização do mesmo.
- Valor Atual Líquido (VAL), que tem como objetivo a avaliação da viabilidade de um investimento através do cálculo do valor atual de todos os seus fluxos de caixa, que designam o saldo entre entradas e saídas de capital de uma empresa, durante um determinado período de tempo. Se o VAL for positivo, então significa que a rentabilidade do projeto é positiva.
- Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), que representa a rentabilidade gerada por um determinado investimento. Quando conhecido esse valor de rentabilidade dos projetos de investimentos, o critério de decisão tem por base os projetos que apresentem valores de TIR mais elevados.

### 2.2.5. Tipos de Sistemas

#### 2.2.5.1. Sistemas isolados

Os sistemas isolados são sistemas que se encontram desligados da RESP. Estes sistemas são usados, geralmente, em habitações em locais remotos, onde a rede elétrica de baixa tensão não está disponível ou

os custos de ligação são demasiado elevados. A produção de energia destes sistemas isolados é obtida através de fontes de energia fósseis ou energias renováveis. O uso de fontes de energia renováveis requer sempre recursos de armazenamento, maioritariamente baterias, enquanto que o uso de fontes de energia fósseis torna os custos de exploração mais dispendiosos e mais poluentes.

Em sistemas isolados, com uso de painéis fotovoltaicos (Figura 3), deve-se ter em consideração os diagramas de carga para que se possa fazer o seu dimensionamento, tanto dos painéis como das baterias, bem elaborado.



Figura 3 - Sistema isolado com uso de painéis fotovoltaicos [25]

#### 2.2.5.2. Sistemas com ligação à RESP

Em relação aos sistemas com ligação à RESP (Figura 4), quando a energia necessária para o consumo não é suficiente através da produção, a energia do sistema de autoconsumo tem de ser comprada à rede. No entanto, quando ocorre o inverso, em que a produção de energia excede a energia necessária para o consumo, essa energia excedente é injetada na rede, podendo essa energia injetada ser remunerada.

Para um bom aproveitamento da UPAC, o cliente pode comprar um sistema de armazenamento de energia, normalmente baterias, para que o excedente da energia produzida seja armazenado e utilizado em momentos que a produção não chega para satisfazer o consumo. Desta forma, o cliente não necessita de comprar energia à RESP, trazendo vantagens em termos de autonomia e de custos. Apesar do benefício da compra dos sistemas de armazenamento a longo prazo, o cliente deve ter em conta o elevado preço inicial, comparando aos restantes elementos de uma instalação fotovoltaica. No caso de um sistema elétrico com armazenamento, quando as baterias estão quase, ou até mesmo no limite do seu armazenamento, esse excedente de produção de energia pode ser vendido à RESP ou, no caso inverso, quando a energia armazenada não chega para satisfazer a energia necessária para o consumo, a diferença terá de ser comprada.

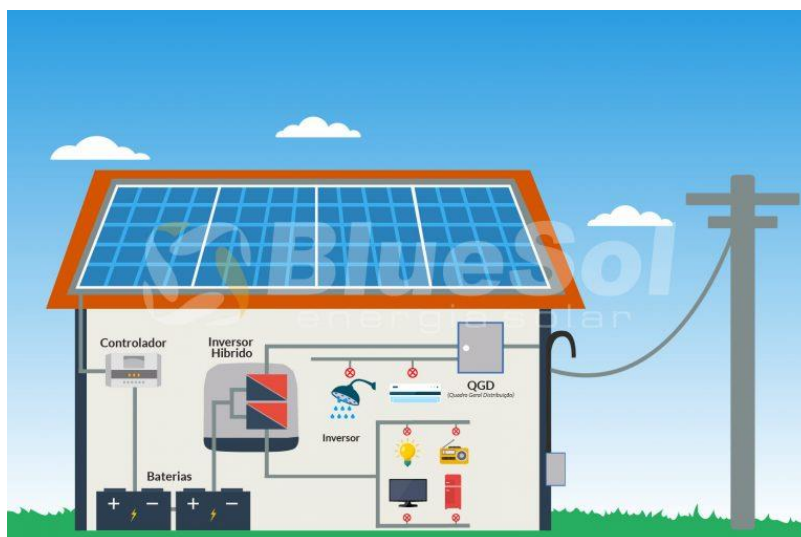


Figura 4 - Sistema com ligação à RESP com uso de painéis fotovoltaicos [26]

### 2.2.5.3. Componentes de um sistema de autoconsumo

Os sistemas de autoconsumo englobam vários componentes no seu todo, variando apenas com o tipo de sistema em questão. Apesar das diferenças entre sistemas, pode destacar-se os componentes mais relevantes, como por exemplo [27] [28] [29]:

- Os painéis fotovoltaicos, que são considerados os componentes mais importantes de todo o sistema, pois estes são os responsáveis pela produção de energia;
- O sistema de armazenamento, com a função de armazenamento da energia, para que esta possa ser usada posteriormente na instalação quando os níveis de produção são baixos relativamente ao consumo, ou até mesmo quando há pouca, ou nenhuma, produção de energia, como por exemplo, à noite;
- O controlador ou regulador de carga que permite gerir as baterias, ou seja, fazer um controlo dos níveis de carga nas mesmas, prolongando o seu tempo de vida útil;
- O inversor, que tem como função realizar a conversão da energia DC em AC.

## 3. Aplicação e Estudo caso

Na realização deste trabalho foram usados dados relativos à compra e produção de energia do DEEC correspondentes ao ano 2019.

O presente estudo de caso tem por base dois objetivos essenciais, sendo eles a análise de cenários, quer energético quer económico, para as situações com e sem armazenamento em baterias.

Neste trabalho, usando o Excel como ferramenta de trabalho, foi considerado um aumento percentual da potência de produção instalada, inicialmente sem baterias, avaliando os níveis de autoconsumo, e posteriormente considerando a existência de armazenamento em baterias. Os resultados das simulações foram analisados através de gráficos e tabelas, obtendo-se as conclusões necessárias para a realização de análises energéticas e económicas.

### 3.1. Caracterização do Edifício

O DEEC é um dos edifícios situados no Pólo II da Universidade de Coimbra, com início de atividade em 1996.

Este edifício apresenta uma estrutura dividida em cinco torres, nomeadamente a torre A, B, R, S e T, todas estas com elevadores: a torre A é destinada a anfiteatros, a torre B é destinada a locais comuns, como o bar e a biblioteca. Os laboratórios didáticos e de investigação estão situados quase em exclusivo nas torres R, S e na T estão localizadas as salas de aulas [30] [31].

O edifício tem instalado uma produção fotovoltaica para autoconsumo individual, segundo o Regulamento de Autoconsumo de Energia Elétrica, com uma capacidade instalada de 70 kW.

A potência instalada no posto de transformação do edifício é de 630 kVA, e a potência contratada é 292,5 kW.

Relativamente ao consumo no edifício do DEEC durante o ano de 2019, este apresenta um maior nível de consumo no Inverno, já a produção de energia proveniente da instalação fotovoltaica apresenta, como é natural, maior nível de produção no Verão, tal como é demonstrado no gráfico a baixo (Gráfico 1). Ao avaliar os dados apresentados, conclui-se que a produção de energia é muito insuficiente para satisfazer os níveis de consumo durante o ano, contribuindo já para uma redução dos custos anuais com a compra de eletricidade em cerca 15%.

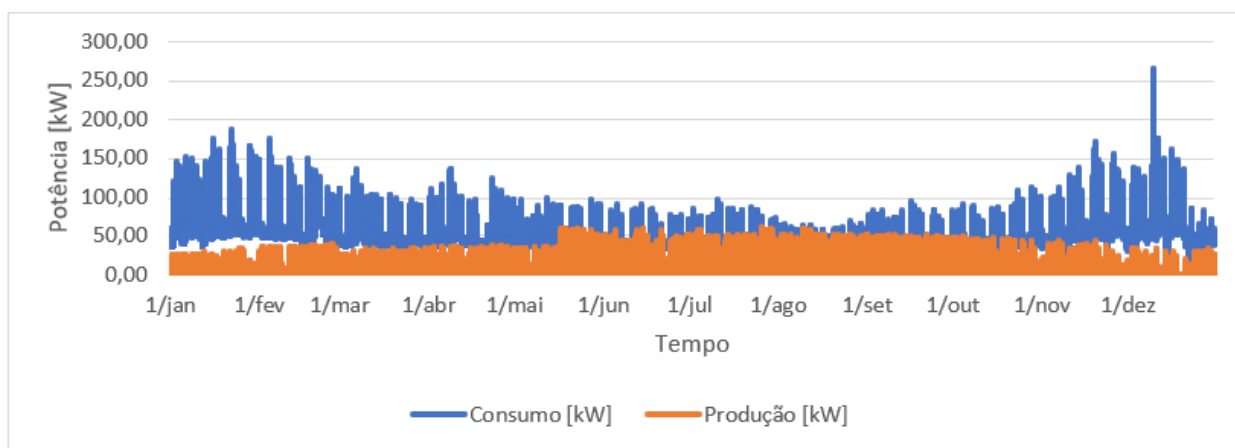


Gráfico 1 - Consumo e Produção, em kW, no ano 2019

Ao analisar os dados de consumo e produção durante o tempo, verifica-se que o consumo de energia no ano de 2019 foi de 490768kWh e a produção de eletricidade foi 73752kWh, correspondendo ainda a uma necessidade de comprar à RESP 417016kWh de energia, tal como se verifica na tabela descrita em baixo (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores máximos, médios e anuais do consumo, produção e compra

	Consumo [kW]	Produção [kW]	Compra [kW]
Máxima [15minutos]	264,0	59,9	264,0
Média [15minutos]	56,0	8,4	47,6
	Consumo [kWh]	Produção [kWh]	Compra [kWh]
Média [diário]	1345	202	1143
<b>Total [anual]</b>	<b>490768</b>	<b>73752</b>	<b>417016</b>

## 3.2. Análise de Cenários

Tendo como objetivo obter um nível de autossuficiência superior a 50%, usando produção própria com a integração de energias renováveis no DEEC, foi realizado um estudo com base análise de cenários de produção para suprir parte do consumo até ao nível de autossuficiência desejado. Desta forma, analisaram-se diversos cenários com cálculo do nível de autoconsumo e de autossuficiência para o edifício, com ou sem a utilização de armazenamento. Com a associação armazenamento de energia, através do uso de baterias, há que ter em conta o tipo de controlo da carga e descarga das baterias, de modo a que seja maximizado o autoconsumo e assim obter um maior nível de autossuficiência, para a mesma potência instalada.

### 3.2.1. Sem Armazenamento

Numa fase inicial do estudo de caso considerou-se a não existência de sistema de armazenamento, o que pressupõe que a energia produzida que, em cada momento, exceda o consumo é injetada RESP.

Como primeira etapa deste estudo, pretendeu-se um aumento da produção adicional observando o

impacto nos níveis do autoconsumo da produção e na respetiva autossuficiência do edifício. No caso em que a produção é inferior ao consumo, toda a produção é usada para autoconsumo, no caso contrário, com excedente de produção, haverá injeção na rede e redução do nível de autoconsumo.

Considerando o exemplo em que a produção adicional do edifício seja acrescida em mais 50% da potência inicial instalada, como se pode verificar na Tabela 3, a compra de energia à RESP tem uma redução de 7,00%, o que equivale a uma autossuficiência de 20,98%.

Em termos de uma análise energética, conclui-se que existe uma produção de 110628kWh e uma compra de 387810kWh, e a nível do autoconsumo há um aumento para 102958kWh.

A nível económico, assume-se um custo evitado na compra de energia de 11833,54€. Como se aumenta a energia produzida, e não há utilização de sistemas de armazenamento, a energia que é injetada na rede leva a um ganho de 723,17€ ao final do ano.

Tabela 3 - Valores de variação sem armazenamento e análises energéticas e económicas

Produção Adicional [%]	Variação da Compra [%]	Autoconsumo [%]	Autossuficiência [%]	Análise Energética [kWh]				Análise Económica [€]	
				Produção	Compra	Injeção	Autoconsumo	Injeção	Autoconsumo
0	0	100	15,03	73751,92	417015,75	0	73751,92	0	8371,14
50	-7	93,07	20,98	110627,88	387810	7670,21	102957,67	723,17	11833,54
100	-12,13	84,3	25,34	147503,85	366423,39	23159,57	124344,28	2268,49	14473,78
150	-16,11	76,43	28,72	184379,81	349838,62	43450,75	140929,06	4351,66	16576,18
200	-19,34	69,78	31,46	221255,77	336371,54	66859,63	154396,14	6802,02	18311,39
250	-21,98	64,08	33,7	257131,73	325355,91	92719,97	165411,76	9555,95	19743,03
300	-24,14	59,12	35,54	295007,69	316360,25	120600,27	174407,42	12567,88	20916,68

Na tabela já referida pode ainda verificar-se as variações das diversas fases do aumento da produção de energia, de 50% em 50% (acréscimos de 35 kW), bem como a sua respetiva análise energética e económica.

Com vista à interpretação de dados de forma mais perceptível, opta-se por comparar os valores obtidos relativamente à produção adicional de 50% e de 300%, obtendo gráficos de barras correspondentes à análise energética (Gráficos 2 e 3) e respetivos gráficos de linhas da variação do autoconsumo (Gráficos 4 e 5). Como se pode verificar nos gráficos mencionados, relativamente ao aumento de produção adicional de 50%, o autoconsumo varia entre 83,85% a 99,85%, verificando-se que os valores mais baixos são no Verão, enquanto os mais elevados são no Inverno. No que diz respeito ao aumento de uma produção adicional de 300% verifica-se que os valores do autoconsumo variam entre 40,42%, valor de Verão, a 85,13%, valor de Inverno.

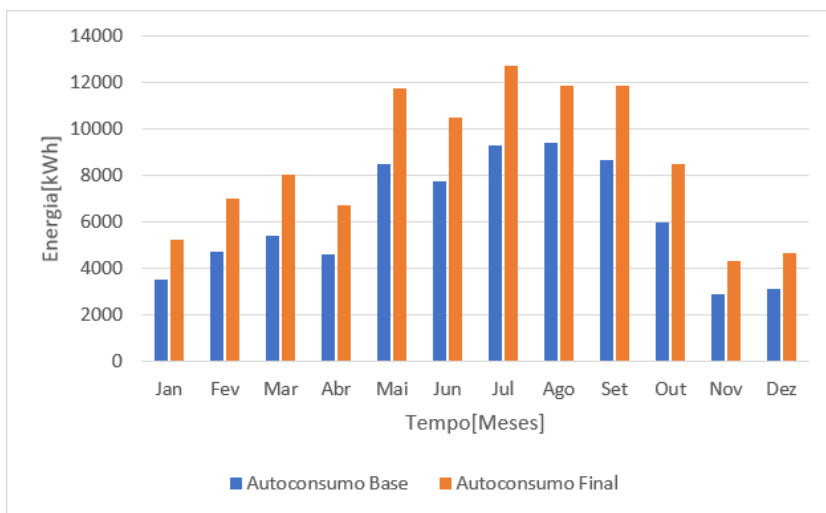


Gráfico 2 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50%

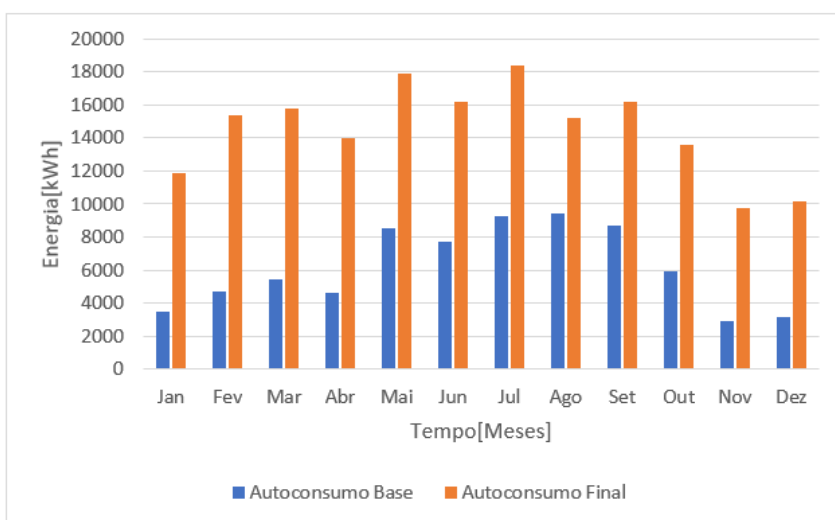


Gráfico 3 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300%

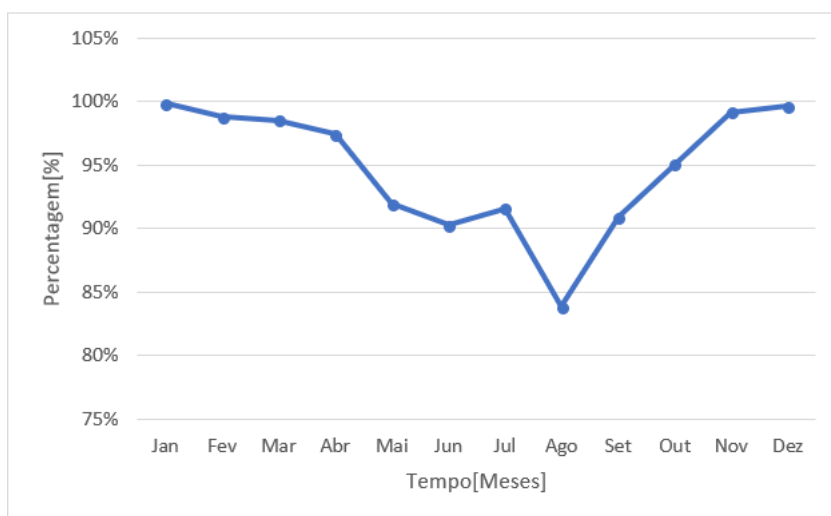


Gráfico 4 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%



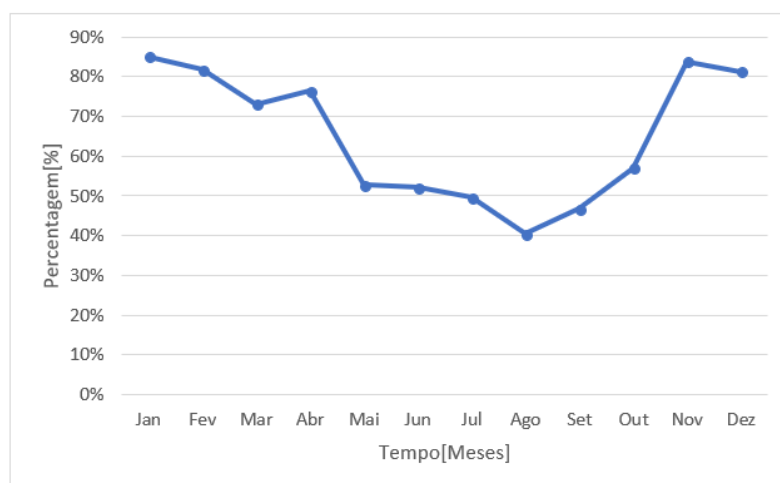


Gráfico 5 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300%

Tendo em conta os dados obtidos anteriormente, em anexo encontram-se os gráficos de barras correspondentes ao autoconsumo a nível energético, e os gráficos de linhas correspondentes às variações do autoconsumo, ao longo de um ano para os casos de aumento de produção de 100%, 150%, 200% e 250% (Anexo A).

### 3.2.2. Com Armazenamento

Em relação à segunda etapa do estudo, usou-se o armazenamento de energia para analisar o seu impacto nos valores de autoconsumo e autossuficiência, usando também acréscimos de produção instalada adicional de 50% em 50%. Neste caso teve-se em conta as perdas com o armazenamento (5%), os limites mínimo e máximo de utilização das baterias (10% e 90%) e da potência do inversor associado ao sistema de armazenamento (10kW).

Nesta fase do estudo caso foram considerados sistemas de armazenamento com capacidade de 100kWh, 250kWh e 500kWh, isto para que a energia produzida em excesso e não consumida diretamente na instalação possa ser armazenada e, somente em casos em que a capacidade das baterias ficar esgotada, essa energia sobrança é vendida à RESP.

Quando o valor da potência de produção é superior à do consumo, existe um excedente de produção que se traduz energia não consumida. Para além disso, a energia armazenada nas baterias é limitada na descarga pelo valor da potência do inversor.

A descarga da energia armazenada nas baterias deve ocorrer preferencialmente em períodos como valor da tarifas mais elevadas, horas de ponta durante a semana e horas de cheio ao sábado. Ao domingo, como não existe nenhuma das opções mencionadas, a descarga inicia quando for necessário.

Considerando uma bateria de 100kWh e uma produção adicional de 50%, como podemos verificar na tabela a seguir (Tabela 4), existe uma diminuição da compra de energia à rede em 8,2%, levando a um aumento do autoconsumo para 97,7% e da autossuficiência para 22,0%. Se se aumentar a capacidade das baterias para 250kWh, verifica-se que ainda se consegue diminuir a compra de energia para 8,5%, obtendo

melhorias de autoconsumo e de autossuficiência para 98,79% e de 22,29%, respetivamente. O mesmo sucede com baterias com capacidade de 500kWh, e assim sucessivamente, isto porque com o aumento da capacidade das baterias leva a cada vez menos injeção de energia na rede o que vai levar a um aumento tanto do autoconsumo como da autossuficiência, apesar de não ser com uma melhoria proporcional.

No que diz respeito à análise energética, conclui-se que as baterias levam a uma diminuição no valor da eletricidade comprada, implicando que, com uma bateria de 100kWh e uma produção adicional em 50%, se obtêm valores de 382652kWh de energia comprada e de 108116kWh de energia de autoconsumo. Nesta mesma condição, mas com uma bateria de 250kWh, verifica-se que o valor de energia comprada decai para 381477kWh e a de autoconsumo ascende para 109291kWh, e que com uma bateria de 500kWh obtêm-se valores de 381182kWh e 109586kWh, respetivamente.

A nível económico, para uma produção adicional de 50%, existe benefício de 12509,46€, relativo ao custo evitado com o autoconsumo associados a um conjunto de baterias de 100kW. Dado a utilização de baterias e a inexistência de tanta energia injetada, esta reduz o valor da venda para 87,59€ devido à energia que é injetada. Com o aumento da capacidade da bateria, os valores da injeção vão diminuindo e os do autoconsumo vão aumentando.

Para uma melhor perceção dos valores obtidos entre as produções adicionais de 50% em 50% e as baterias de 100kWh, 250kWh e 500kWh, apresentam-se de seguida três tabelas respetivas (Tabelas 4, 5 e 6).

Tabela 4 - Valores de variação com armazenamento e análises energéticas e económicas, em baterias de 100kWh

Bateria de 100kWh									
Produção Adicional [%]	Variação da Compra [%]	Autoconsumo [%]	Autossuficiência [%]	Análise Energética [kWh]				Análise Económica [€]	
				Produção	Compra	Injeção	Autoconsumo	Injeção	Autoconsumo
0	0	100	15,03	73751,92	417015,75	0	73751,92	0	8373,83
50	-8,24	97,73	22,03	110627,88	382652,13	1946,52	108115,54	87,59	12509,46
100	-14,08	89,92	27	147503,85	358283,56	14131,44	132484,11	635,91	15562,74
150	-18,37	81,55	30,64	184379,81	340414,02	32977,49	150353,66	1483,99	17830,79
200	-21,82	74,47	33,57	221255,77	326007,52	55308,92	164760,16	2488,9	19703,3
250	-24,6	68,31	35,93	258131,73	314446,73	80565,2	176320,94	3625,43	21217,88
300	-26,86	62,96	37,85	295007,69	305018,76	107966,49	185748,9	4858,49	22460,15

Tabela 5 - Valores de variação com armazenamento e análises energéticas e económicas, em baterias de 250kWh

Bateria de 250kWh									
Produção Adicional [%]	Variação da Compra [%]	Autoconsumo [%]	Autossuficiência [%]	Análise Energética [kWh]				Análise Económica [€]	
				Produção	Compra	Injeção	Autoconsumo	Injeção	Autoconsumo
0	0	100	15,03	73751,92	417015,75	0	73751,92	0	8373,83
50	-8,52	98,79	22,27	110627,88	381476,7	427,74	109290,97	28,25	12667,05
100	-14,61	91,3	27,44	147503,85	356101,66	11697,43	134666,01	526,38	15792,13
150	-19,06	83,11	31,22	184379,81	337536,37	29774,19	153231,3	1339,84	18155,94
200	-22,63	75,98	34,26	221255,77	322649,43	51445,94	168118,24	2315,07	20076,96
250	-25,47	69,72	36,67	258131,73	310803,74	76386,54	179963,93	3437,39	21619,1
300	-27,73	64,2	38,59	295007,69	301362,25	103772,85	189405,42	4669,78	22857,41

Tabela 6 - Valores de variação com armazenamento e análises energéticas e económicas, em baterias de 500kWh

Bateria de 500kWh									
Produção Adicional [%]	Variação da Compra [%]	Autoconsumo [%]	Autossuficiência [%]	Análise Energética [kWh]				Análise Económica [€]	
				Produção	Compra	Injeção	Autoconsumo	Injeção	Autoconsumo
0	0	100	15,03	73751,92	417015,75	0	73751,92	0	8373,83
50	-8,59	99,06	22,33	110627,88	381182,09	274,88	109585,58	12,37	12715,31
100	-14,69	91,54	27,51	147503,85	355748,45	11278,94	135019,22	507,55	15846,51
150	-19,14	83,28	31,29	184379,81	337217,22	29394,25	153550,45	1322,74	18213,74
200	-22,8	76,31	34,4	221255,77	321929,86	50430,73	168837,81	2269,38	20187,82
250	-25,74	70,16	36,9	258131,73	309674,15	74898,07	181093,53	3370,41	21792,46
300	-28,1	64,72	38,91	295007,69	299832,75	101841,27	190934,92	4582,86	23084,28

Considerando um exemplo em que exista uma produção adicional de 50% e adicionando uma bateria com capacidade de 100kWh, o autoconsumo do edifício oscila entre 91.35% e 99.95%, sendo que neste caso a oscilação não é tão acentuada como no caso sem baterias, como se verifica no gráfico 6. Neste gráfico podemos ainda assumir que a maior utilização das baterias é no Verão, quando existe um aumento da produção de energia.

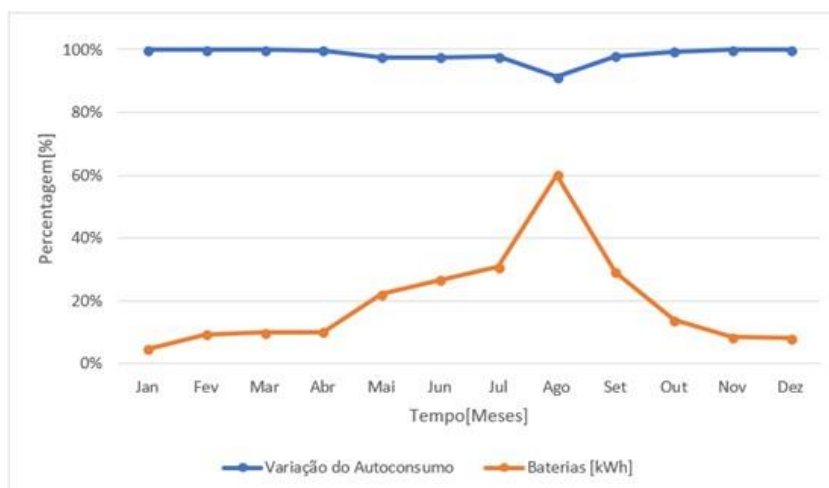


Gráfico 6 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% e a utilização das baterias de 100kWh

No caso de se aumentar a capacidade da bateria para os 500kWh, pode-se confirmar que a variação do autoconsumo é menor relativamente ao caso anterior.

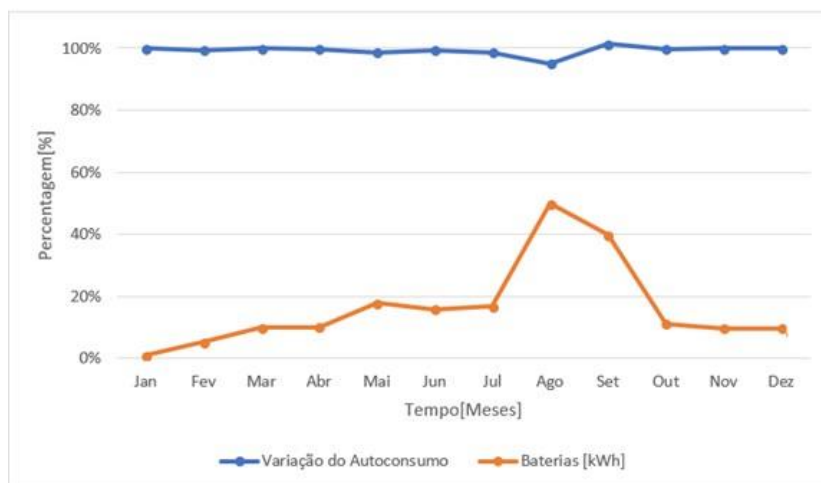


Gráfico 7 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50% e a utilização das baterias de 500kWh

Conforme o aumento da produção adicional, verifica-se que as baterias vão atingindo o limite da sua capacidade no Verão, o que leva a muita energia injetada na rede. No Gráfico 8, em que a produção adicional é aumentada para 200% com uma bateria de capacidade de 100kWh, podemos confirmar que esta bateria, nos meses de julho e agosto, se mantém com uma utilização média próxima dos 80% (Gráfico 8).

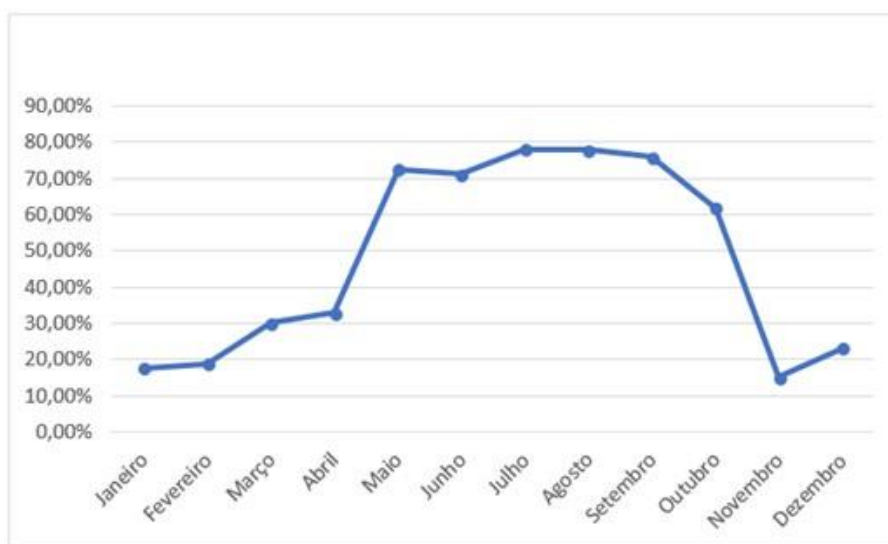


Gráfico 8 - Valores da utilização das baterias de capacidade de 100kWh, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

Com vista à interpretação de dados de forma mais detalhada, colocando exemplos de produção adicional de 50% em 50% e para as diferentes capacidades de baterias, encontra-se em anexo, os gráficos de barras correspondentes ao autoconsumo a nível energético, os gráficos de linhas correspondentes às variações do autoconsumo e os gráficos de linhas da utilização das baterias, ao longo de um ano (Anexo B, Anexo C e Anexo D).

No que diz respeito à comparação de níveis energéticos do autoconsumo do edifício do DEEC, considerando valores máximos de produção adicional de 300% e da capacidade das baterias de 500kWh, entende-se que o valor de autoconsumo mensal máximo, no ano de 2019, foi de 9402,74kWh no mês de agosto, enquanto que com adição de produção adicional, o valor máximo dispara para 18367kWh no mês de julho e 19483kWh com a utilização do sistema de armazenamento (Gráfico 9).

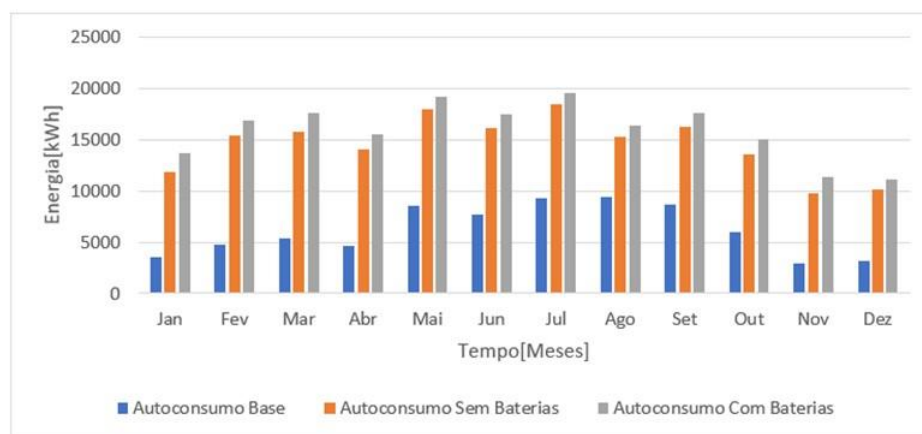


Gráfico 9 - Comparações de Autoconsumos, com produção adicional de 300% e baterias de 500kWh

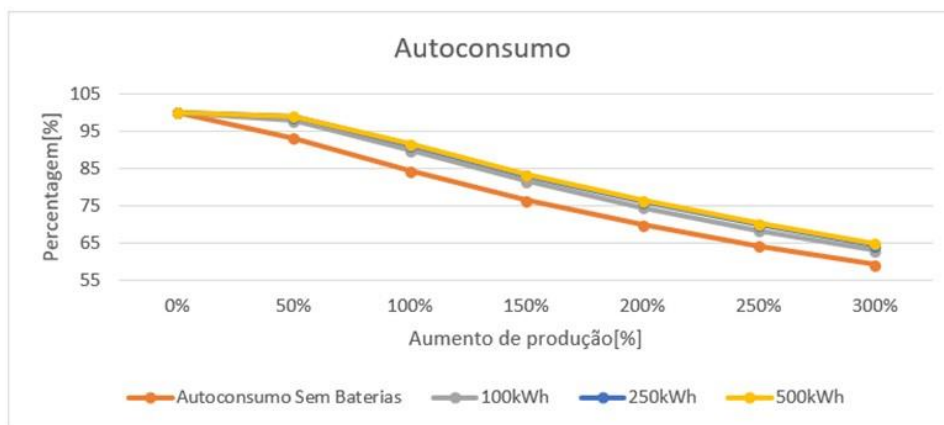


Gráfico 10 - Autoconsumo anual, em percentagem, com o aumento de produção adicional, nas diferentes baterias

O ponto essencial deste trabalho culmina na autossuficiência do edifício do DEEC, isto é, a divisão do autoconsumo pela energia consumida, o que traduz o nível de independência do mesmo a nível energético.

Utilizando as diferentes opções já abordadas, percebe-se que o DEEC atinge níveis de autossuficiência base de 15% e que esta evolui favoravelmente ao longo do aumento da produção e introdução de baterias, levando a valores máximos que rondam os 39% (Gráfico 11).

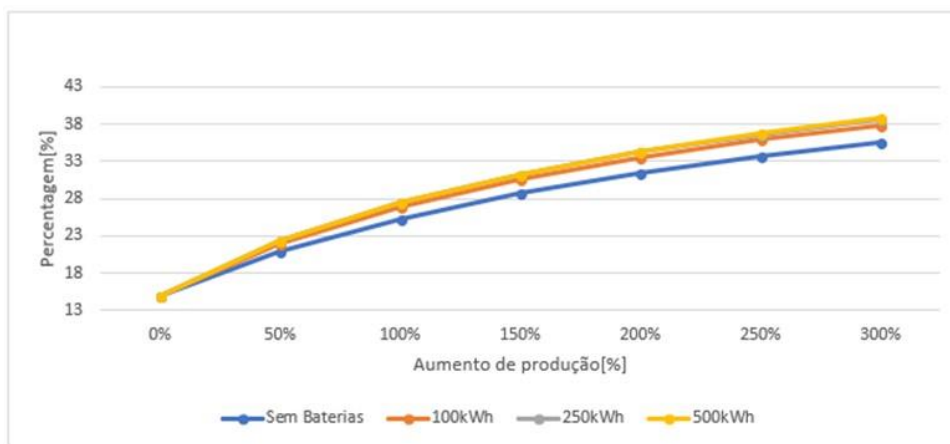


Gráfico 11 - Autossuficiência anual, em percentagem, com o aumento de produção adicional, nas diferentes baterias



# 4. Conclusão

## 4.1. Conclusões

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e o crescente uso de energias renováveis, considera-se que a sua integração nos edifícios é uma forma mais fácil de concretizar para que estes possam vir a ser cada vez mais sustentáveis e autossuficientes a nível energético e com benefícios económicos na sua exploração.

A utilização do DEEC como estudo caso permitiu avaliar a integração de painéis fotovoltaicos no edifício e o uso de sistemas de armazenamento para melhor aproveitamento da energia produzida. Tendo em conta os dados de consumo de 2019 realizou-se uma análise com base em cenários de expansão do sistema existente, com e sem armazenamento, para verificar a viabilidade do uso dessas tecnologias no DEEC.

Este estudo de caso foi elaborado, usando limites de produção adicional de capacidade instalada até um adicional de mais 300% (quadruplicar a potência instalada) e considerando a colocação de baterias com capacidade de armazenamento até 500kWh.

Para este caso extremo quadruplicar a potência instalada e colocando uma bateria de 500kWh, pode concluir-se que o uso deste nível de capacidade de baterias não acarreta melhorias muito consideráveis no valor de autoconsumo para o nível de produção, devido sobretudo há grande assimetria na sazonalidade dos consumos e da produção que estão em contraciclo, grandes consumo no inverno e grandes produções no verão.

Numa análise geral, comparando valores sem e com armazenamento utilizando de baterias de 100kWh, 250kWh e 500kWh, podemos verificar que o autoconsumo anual não apresenta uma diferença satisfatória, como se mostra no gráfico 10.

Ao abordar um cenário em que se utiliza produção fotovoltaicos sem sistema de armazenamento, mesmo tendo em conta um aumento de produção até 300%, conclui-se que o valor da autossuficiência do edifício não satisfaz o objetivo proposto, autossuficiência superior a 50%.

Para complementar o valor final de autossuficiência e superar os objetivos, utilizou-se sistema de armazenamento com diversas gamas de capacidade das baterias, para armazenar a energia produzida e excedentária ao consumo de forma a ser gasta em períodos de produção inferior ao consumo.

Considerando que nestes cenários, as baterias podem ir até 500kWh, obteve-se um valor de autossuficiência de 39%. Sabendo que esta é uma bateria com grande capacidade de armazenamento apenas se verifica uma diferença de 3,37%, comparativamente com o caso onde não se utilizam baterias. Como se pode concluir, os gastos económicos em baterias e o seu tempo de vida útil não justificam baixo aumento da autossuficiência do edifício conseguido pelo armazenamento, pois o valor económico ganho ao final do ano difere apenas em 2167,60€.

Para finalizar o trabalho proposto, conclui-se que, devido à natureza do edifício e do seu

desfasamento entre produção e consumo ao longo do ano, não é compensatório o uso de baterias no mesmo. Tendo em conta que o edifício apenas utiliza sistemas fotovoltaicos na produção de energia adicional, que têm uma maior eficácia durante os períodos de incidência solar, maioritariamente no Verão, e é um período de tempo com menos necessidade de energia para consumo, entende-se que o aumento da sua produção adicional de energia não traz vantagens suficientes para compensar os gastos iniciais. Para além disso muita dessa energia teria de ser injetada nesses períodos de maior produção, enquanto que nos períodos de Inverno a energia produzida não seria suficiente para o consumo, onde a procura é maior.

## **4.2. Trabalhos Futuros**

Tendo em conta as considerações finais e a dificuldade para atingir os objetivos propostos, principalmente a obtenção de uma autossuficiência do DEEC em 50%, propõe-se que se elaborem testes em tipos de edifícios diferentes, pois o DEEC tem um consumo de energia fortemente influenciado pela estação do ano, o que leva à inexistência de uma constante produção e consumo de energia, visto que produz muito no verão enquanto tem um grande consumo no inverno.

Outra proposta de trabalho seria a complementação da produção de energia eólica à produção de energia fotovoltaica para que existisse uma produção mais linear ao longo do ano.



# Bibliografia

---

- [1] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Direção-Geral de Energia e Geologia,” DGEG, 2020. [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>. [Acedido em 15 07 2020].
- [2] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, “ERSE,” [Online]. Available: <https://www.erse.pt/institucional/erse/a-erse/>. [Acedido em 13 07 2020].
- [3] P. d. C. d. Ministros, “Decreto-Lei n.º 162/2019,” *Diário da República*, vol. Série I, n.º 162/2019, pp. 45 - 62, 2019.
- [4] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, “Regulamento do autoconsumo de energia elétrica,” Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Lisboa, 2020.
- [5] Conselho de Administração da ERSE, “Diretiva n.º 3/2020: Tarifas de Acesso às Redes a aplicar ao autoconsumo de energia elétrica através da RESP em 2020,” ERSE, Lisboa, 2020.
- [6] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, “Decreto-Lei n.º 153/2014,” *Diário da República*, n.º 153/2014, pp. 5298 - 5311, 2014.
- [7] Presidência do Conselho de Ministros, “Decreto-Lei n.º 162/2019,” *Diário da República*, vol. n.º 206/2019, n.º 162/2019, pp. 45 - 62, 2019.
- [8] DGEG, “Regulamento Técnico e de Qualidade (RTQ),” Lisboa, 2020.
- [9] P. Reis, “Portal Energia Energias Renováveis,” 15 07 2016. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-das-energias-renovaveis/>. [Acedido em 25 06 2020].
- [10] L. Lourenço, “IPLeia,” *Utilização de Dispositivos de Armazenamento de Energia em Apoio ao funcionamento de Redes Isoladas*, 21 12 2013.
- [11] Gabinete do Ministro do Ambiente e da Ação Climática, “PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030 (PNEC 2030),” Portugal, 2019.
- [12] Valete Editora Técnica Comercial Ltda, “Editora Valete,” 2 2002. [Online]. Available: [http://www.editoravalete.com.br/site\\_controleinstrumentacao/arquivo/ed\\_66/ed\\_66a.html](http://www.editoravalete.com.br/site_controleinstrumentacao/arquivo/ed_66/ed_66a.html). [Acedido em 18 06 2020].
- [13] Portal Solar, “Portal Solar,” PORTAL SOLAR S.A., 2014. [Online]. Available: <https://www.portalsolar.com.br/fornecedores/empresas-de-energia-solar/sao-paulo/santana-de-parnaiba/ccm>. [Acedido em 18 06 2020].
- [14] N. Leite, M. Delgado e F. Hage, “Os desafios do armazenamento de energia no setor elétrico,” FGV Energia, Brasil, 2017.
- [15] Iberdrola, “Iberdrola,” Iberdrola, S.A., 2020. [Online]. Available: <https://www.iberdrola.com/meio-ambiente/armazenamento-eficiente-de-energia>. [Acedido em 3 07 2020].
- [16] F. Pereira, “Sistemas de Armazenamento de Energia,” *Energy Storage Systems*, 1 10 2017.
- [17] Trilhos Energéticos, “Trilhos Energéticos,” 2019. [Online]. Available: <http://trilhosenergeticos.pt/vantagensedesvantagens-autoconsumo-com-baterias/>. [Acedido em 20 05 2020].

- [18] V. Alves, “Dinheiro Vivo,” 19 02 2016. [Online]. Available: <https://www.dinheirovivo.pt/economia/electricidade-as-7-vantagens-do-autoconsumo-12665830.html>. [Acedido em 23 05 2020].
- [19] EDP distribuição, “Guia técnico e logístico de boas práticas,” em *Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público*, 2015, p. 225.
- [20] Ministério do Ambiente, ordenamento do território e energia, “Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída,” Governo de Portugal, Portugal, 2014.
- [21] F. Pinto, “Regime Jurídico das Unidades de Produção (UP) Distribuída,” Direção Geral de Energia e Geologia, Portugal, 2015.
- [22] Energia.pt, “Energia.pt,” Energia.pt, 2009. [Online]. Available: <http://www.energia.pt/pt/fotovoltaico>. [Acedido em 02 08 2020].
- [23] Portal Energia: Energias Renováveis, “Portal energia,” 01 2004. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. [Acedido em 29 04 2020].
- [24] Knoow, “Knoow.net Enciclopédia temática,” [Online]. Available: <https://knoow.net>. [Acedido em 02 08 2020].
- [25] c. egypt, “solar tech system,” cairo egypt, [Online]. Available: <http://solartechsystem.com/index.php/off-grid-system/?lang=en>. [Acedido em 04 06 2020].
- [26] Blue Sol, “Blue Sol,” 10 04 2017. [Online]. Available: <https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>. [Acedido em 04 06 2020].
- [27] F. Freire, “Share Energy - Energia Solar ao Alcance de Todos,” 23 03 2019. [Online]. Available: <https://shareenergy.com.br/o-que-e-sistema-de-armazenamento-de-energia/>. [Acedido em 02 09 2020].
- [28] O. Planas, “Energia Solar,” 08 04 2016. [Online]. Available: <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/pecas/instalac-es-independentes/encargos-regulatorios>. [Acedido em 02 09 2020].
- [29] CCBS Energia, “CCBS Energia,” 2019. [Online]. Available: <https://ccbs-energia.pt/content/25-inversores>. [Acedido em 02 09 2020].
- [30] DEEC Instalações, “Universidade de Coimbra,” [Online]. Available: <https://www.uc.pt/fectuc/deec/departamento/Instalacoes>. [Acedido em 10 09 2020].
- [31] J. Dias, “Plano de Racionalização do Consumo de Energia de um Edifício do Pólo II - Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,” 19 02 2015.
- [32] Revista técnico-profissional de energias renováveis, “Preparados para o Autoconsumo?,” *Renováveis Magazine*, vol. 2º trimestre 2015, nº 22, 2015.

# **Anexo A**

## **Estudo de Caso – Análise de cenários sem armazenamento**

## A.1. Produção adicional de 100%

### A.1.1. Análise energética

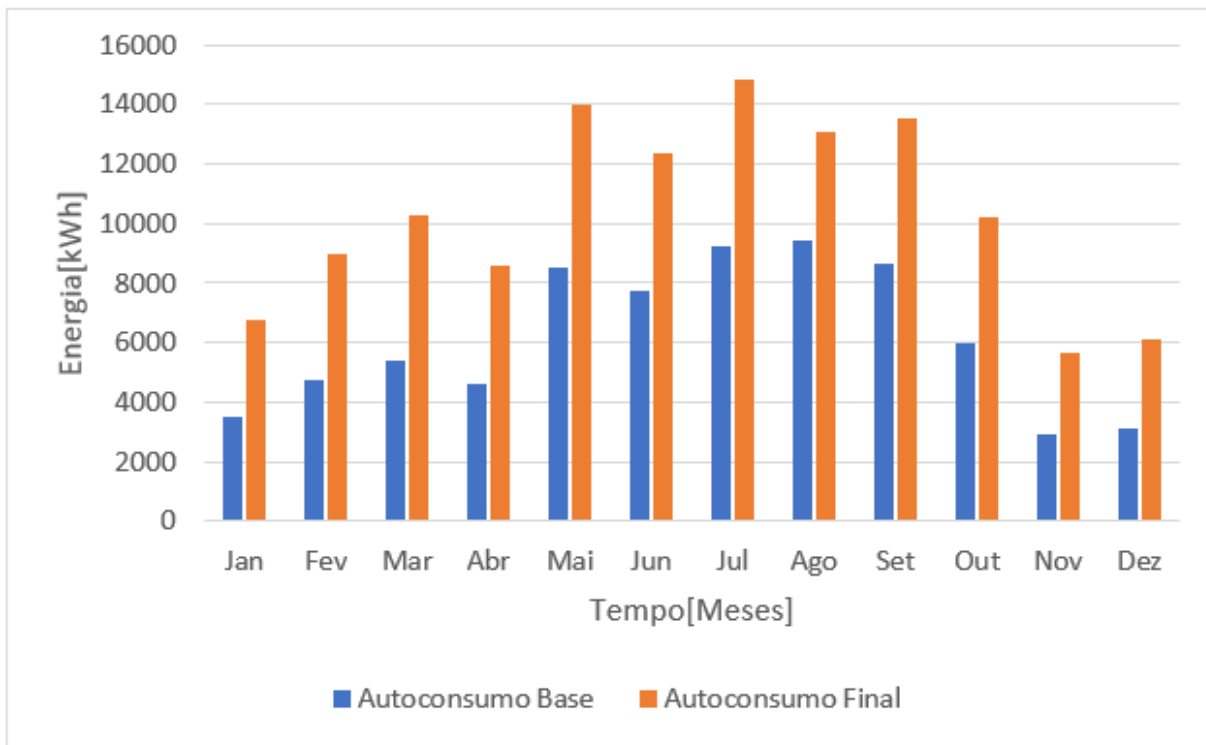


Gráfico 12 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100%

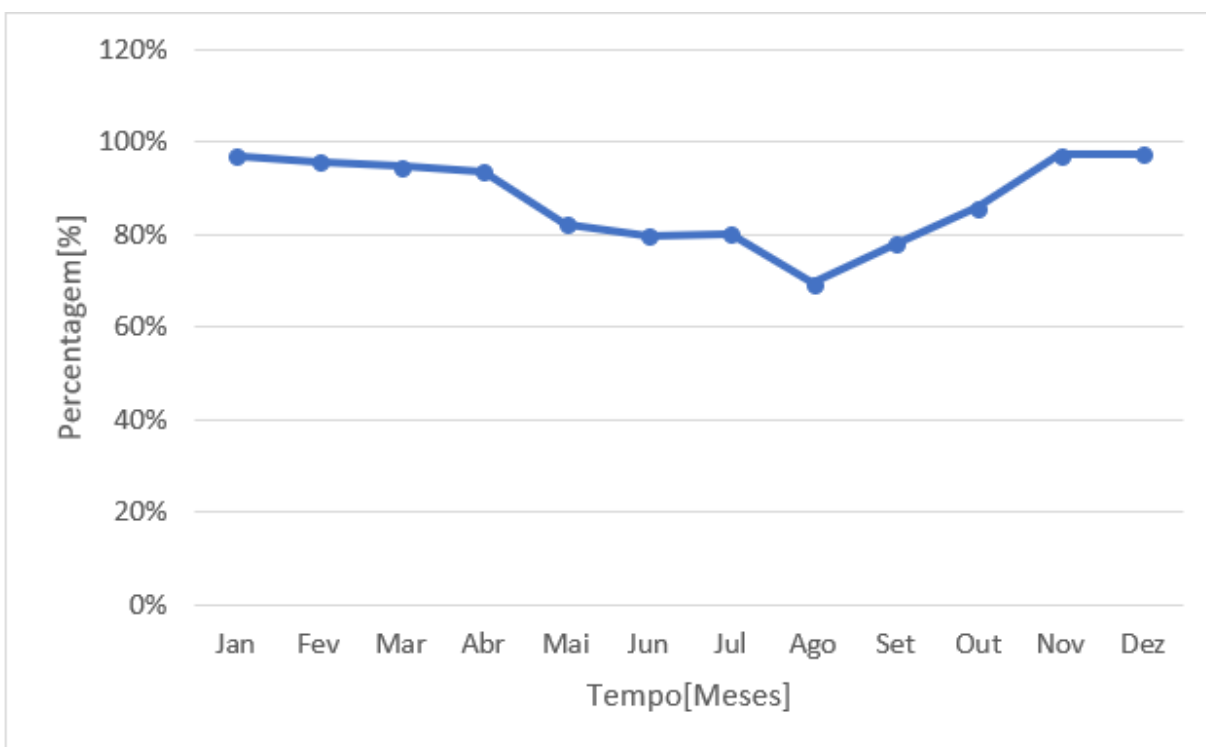


Gráfico 13 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100%

## A.2. Produção adicional de 150%

### A.2.1. Análise energética

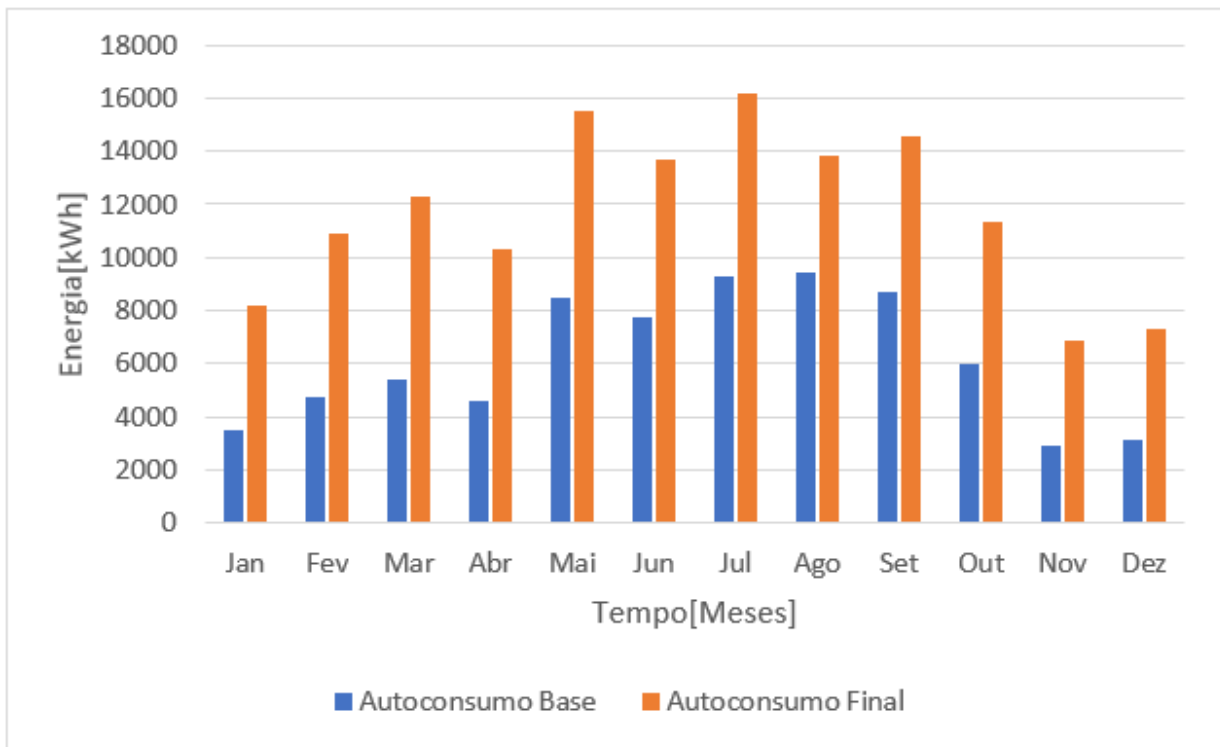


Gráfico 14 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150%

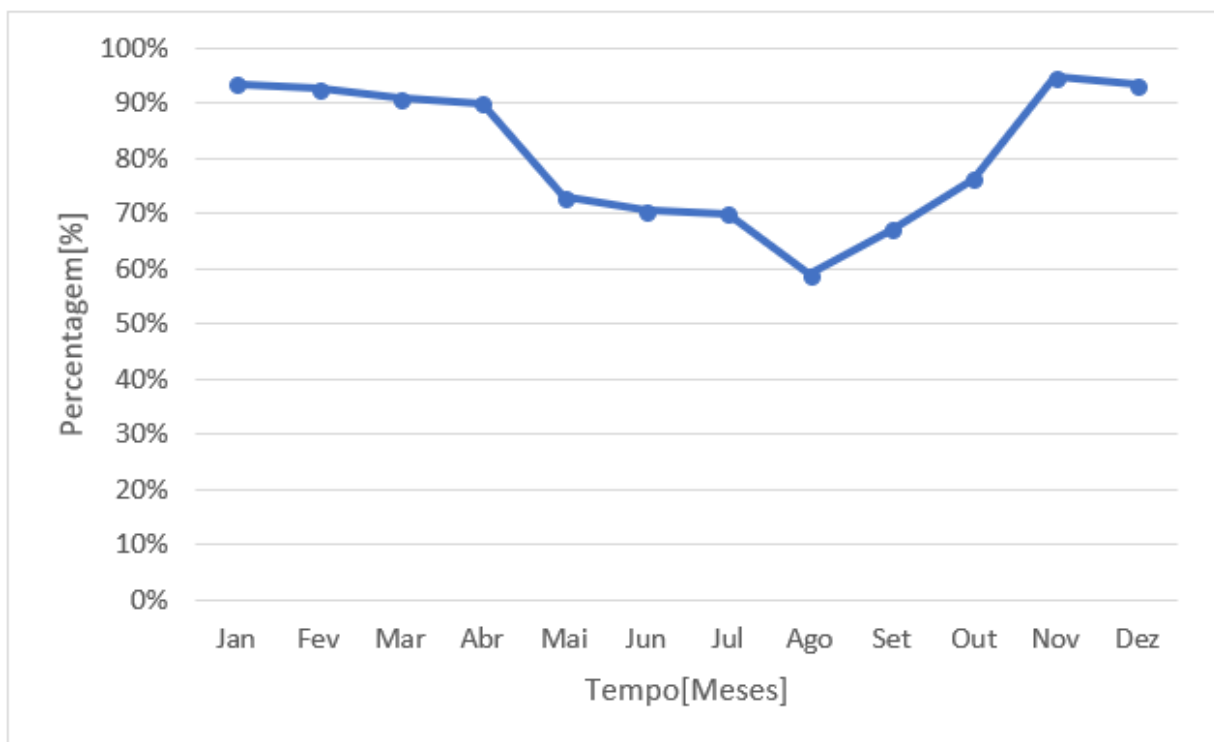


Gráfico 15 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150%

### A.3. Produção adicional de 200%

#### A.3.1. Análise energética

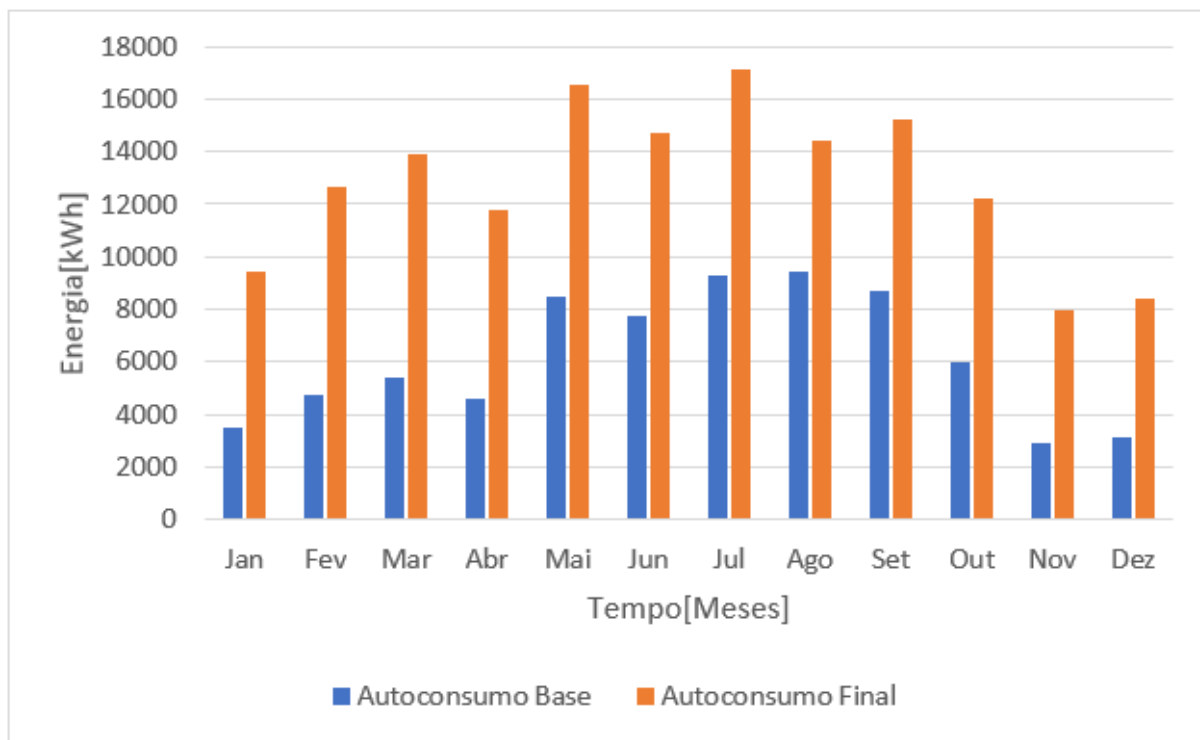


Gráfico 16 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200%

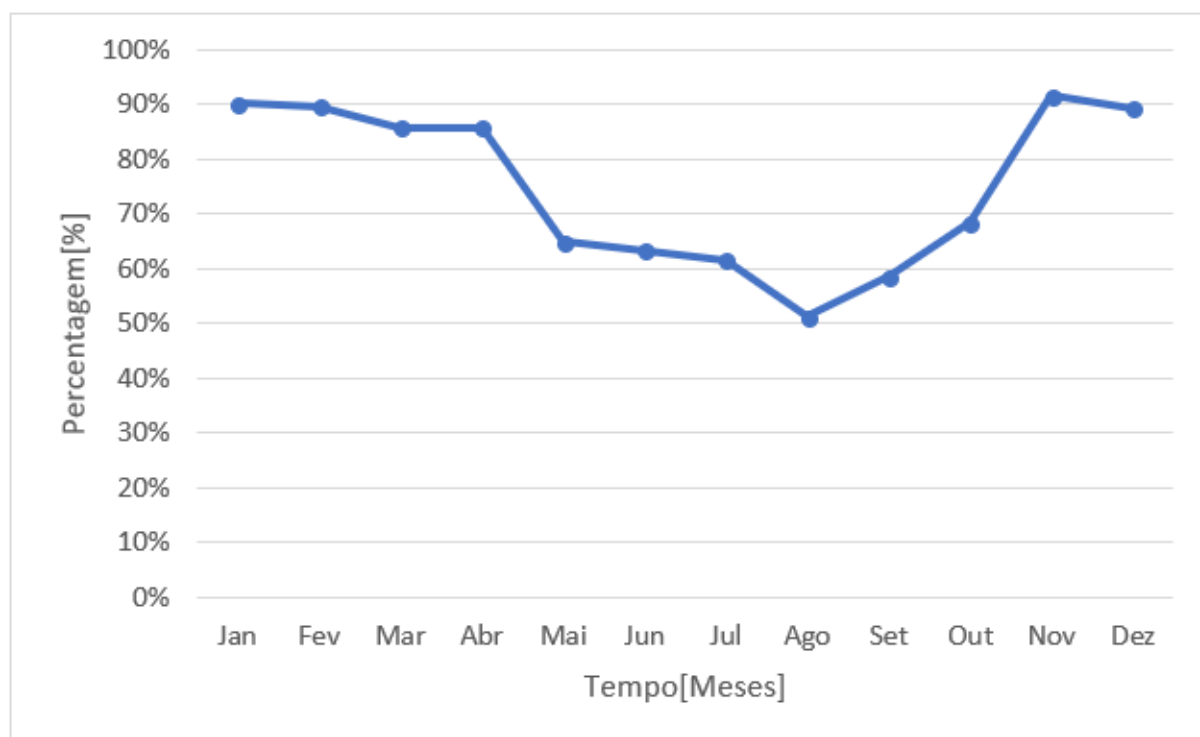


Gráfico 17 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

## A.4. Produção adicional de 250%

### A.4.1. Análise energética

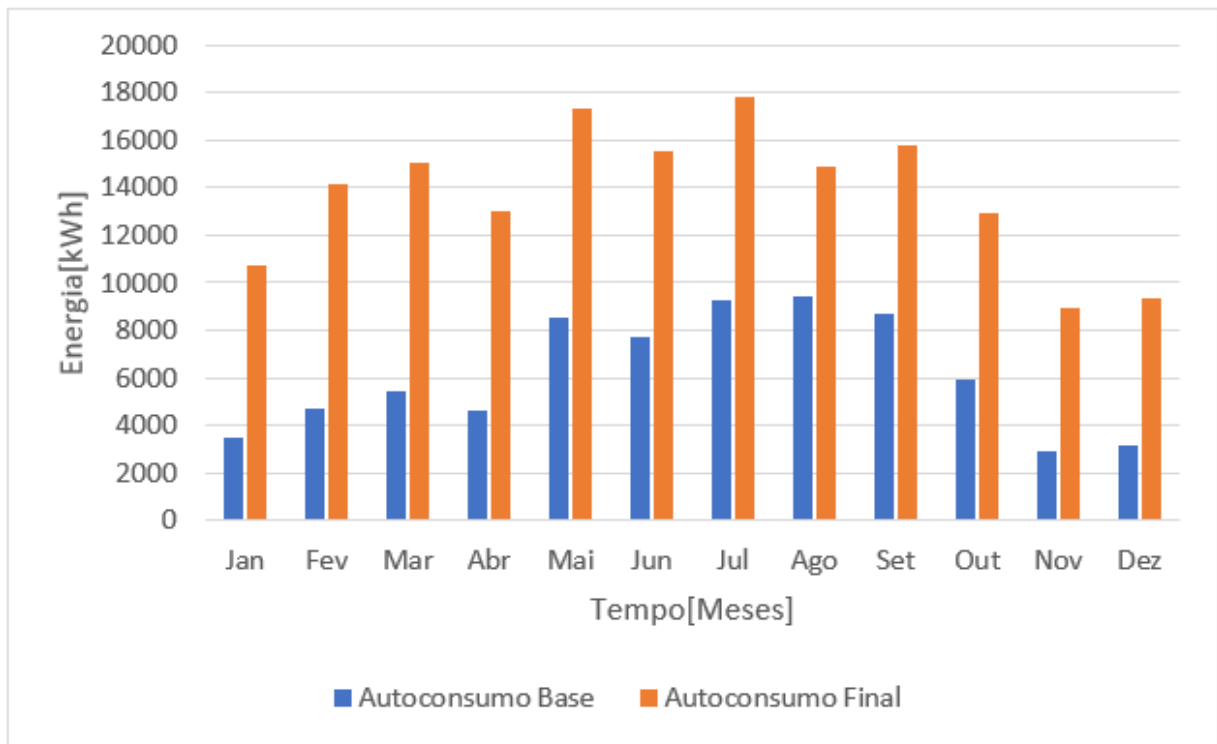


Gráfico 18 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250%

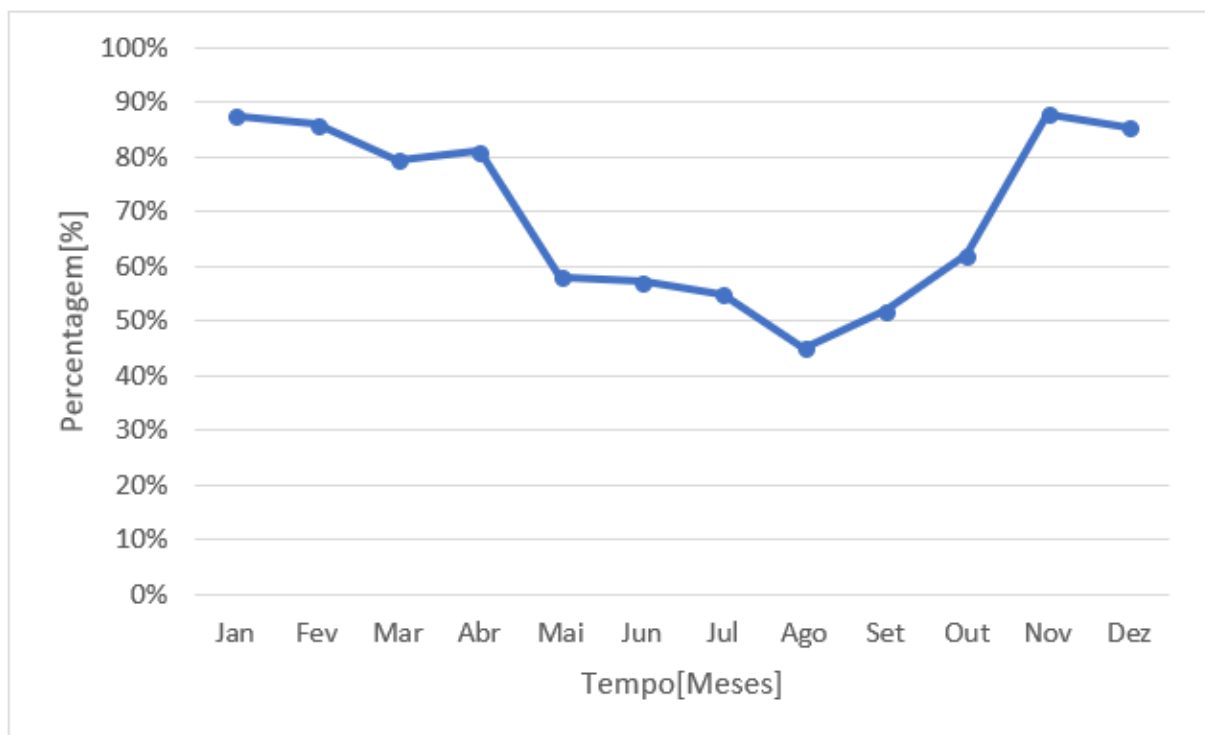


Gráfico 19 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250%

## **Anexo B**

### **Estudo de Caso – Análise de cenários com armazenamento de 100kWh**



## B.1. Produção adicional de 50%

### B.1.1. Análise energética

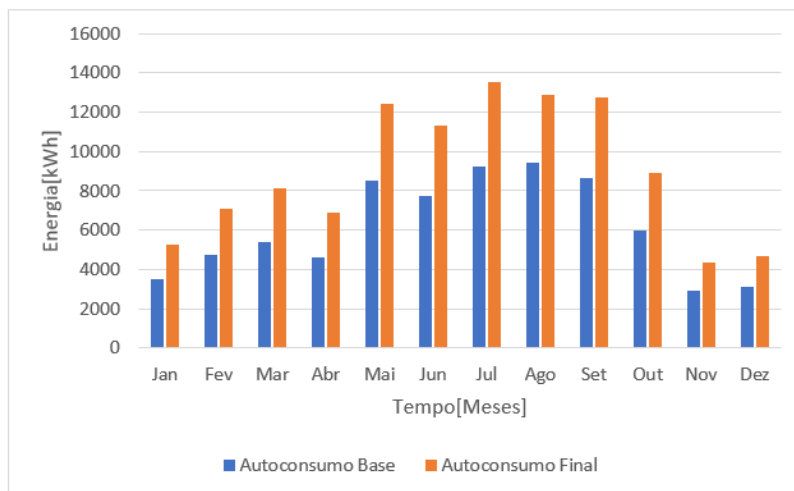


Gráfico 20 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50%

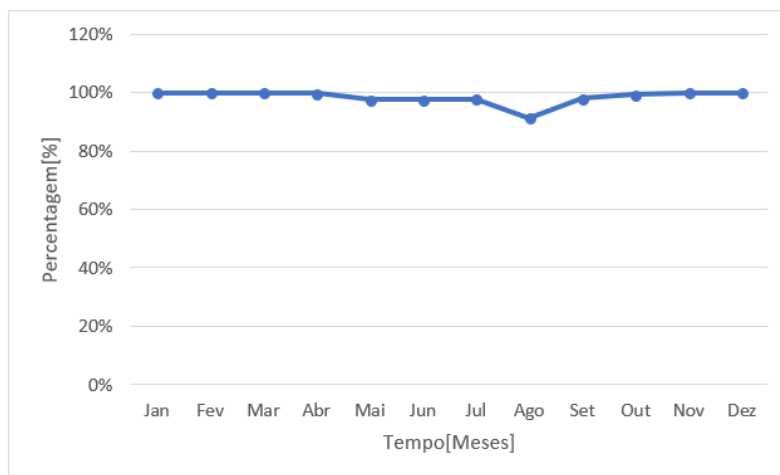


Gráfico 21 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%

### B.1.2. Utilização das Baterias

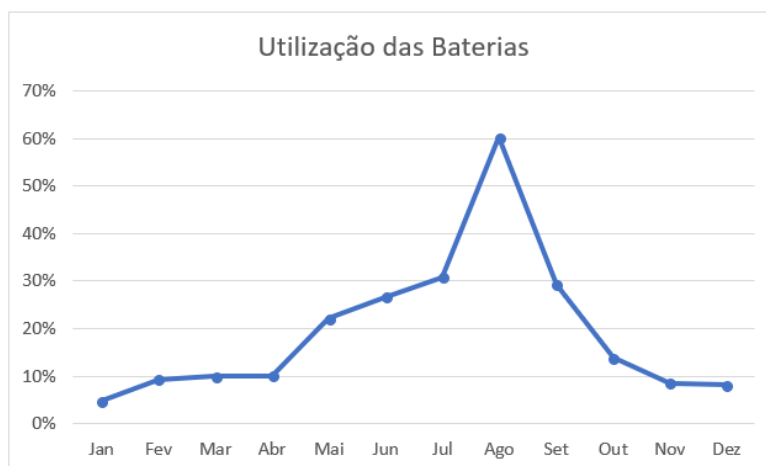


Gráfico 22 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%

## B.2. Produção adicional de 100%

### B.2.1. Análise energética

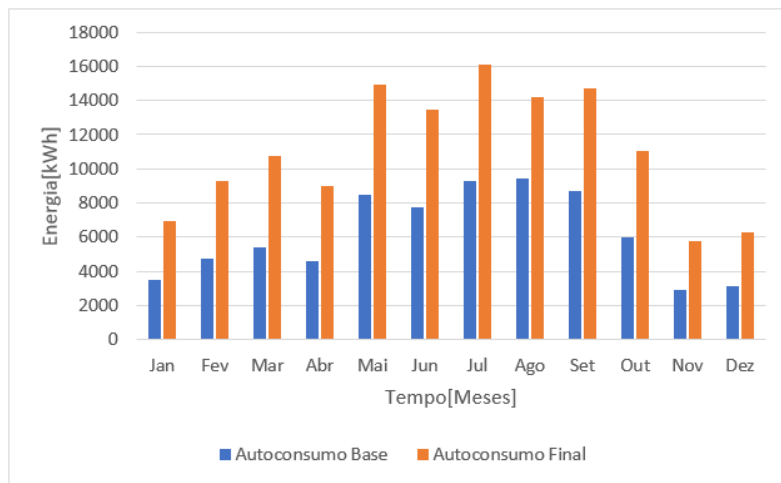


Gráfico 23 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100%

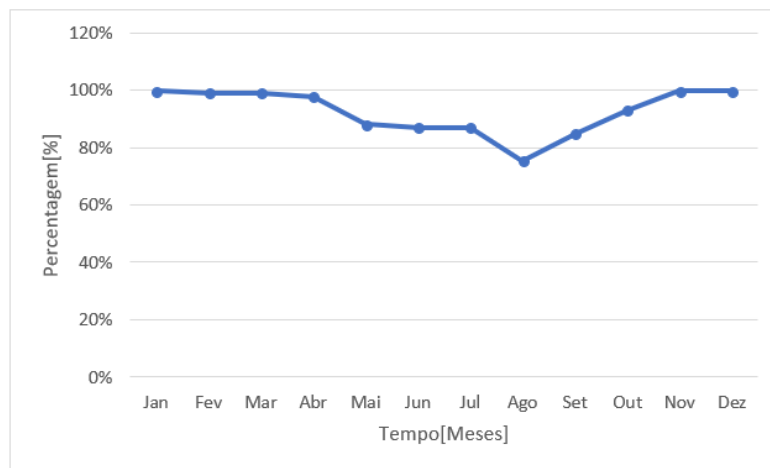


Gráfico 24 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100%

### B.2.2. Utilização das Baterias

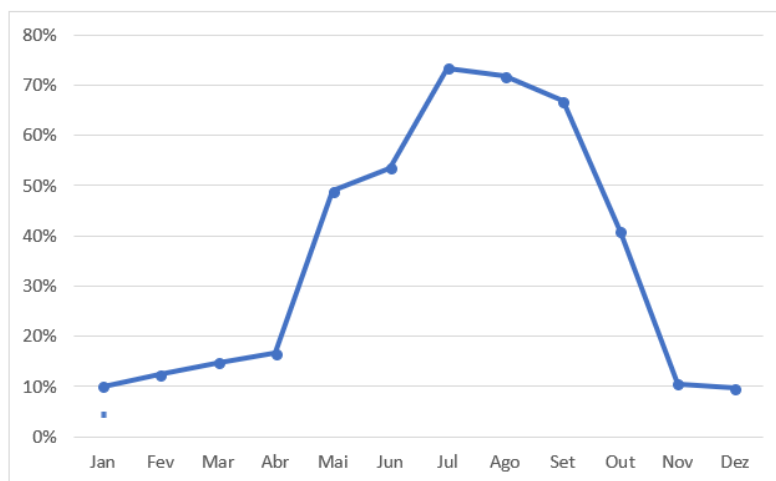


Gráfico 25 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 100%

### B.3. Produção adicional de 150%

#### B.3.1. Análise energética

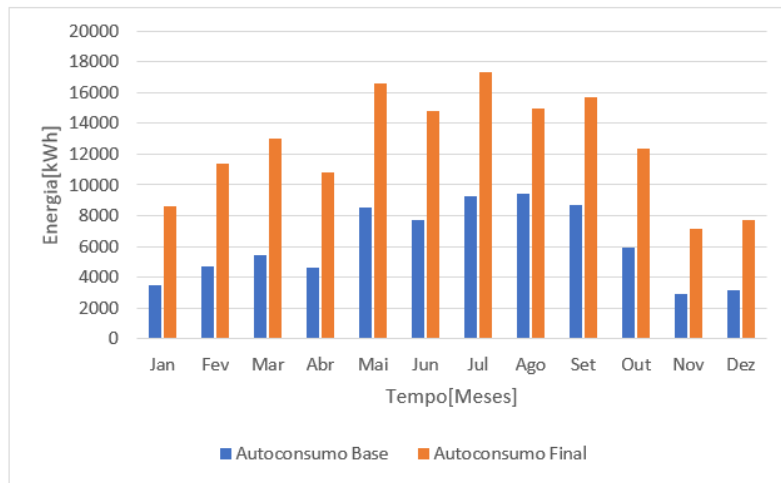


Gráfico 26 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150%

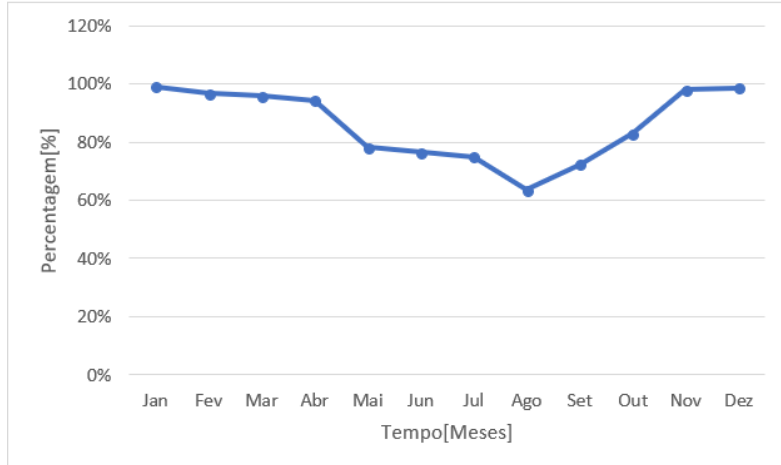


Gráfico 27 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150%

#### B.3.2. Utilização das Baterias

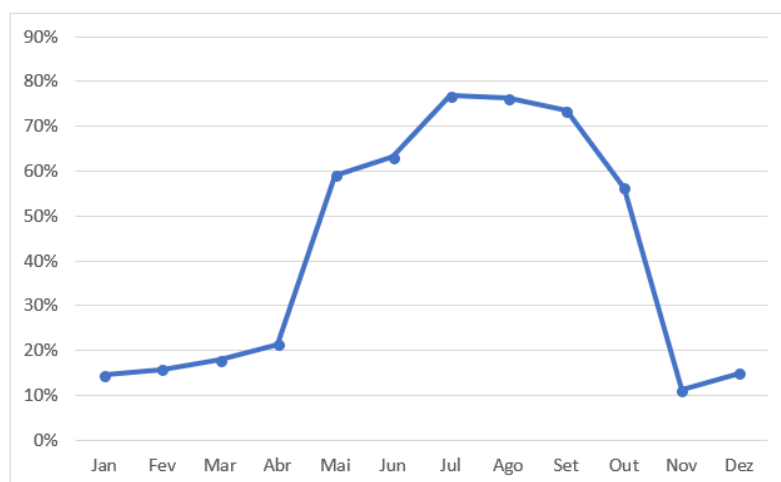


Gráfico 28 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 150%

## B.4. Produção adicional de 200%

### B.4.1. Análise energética

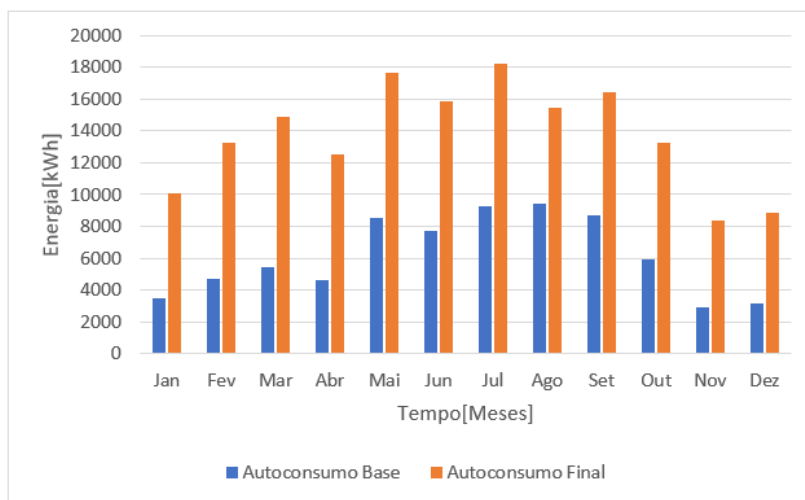


Gráfico 29 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200%

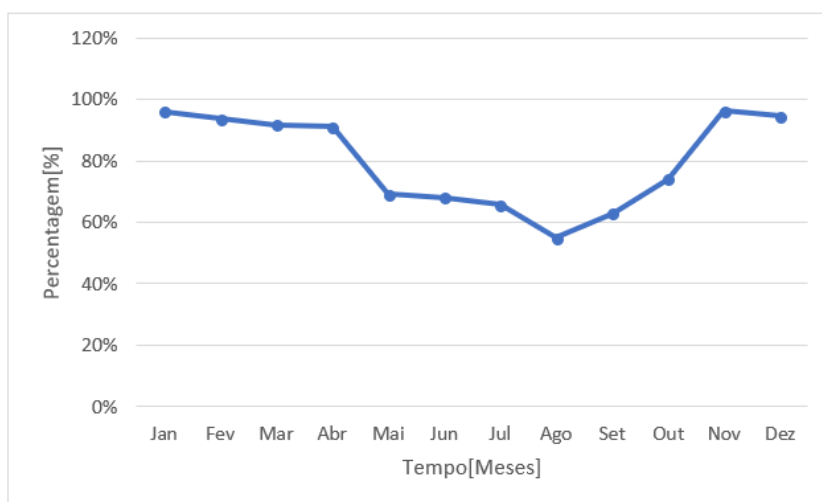


Gráfico 30 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

### B.4.2. Utilização das Baterias

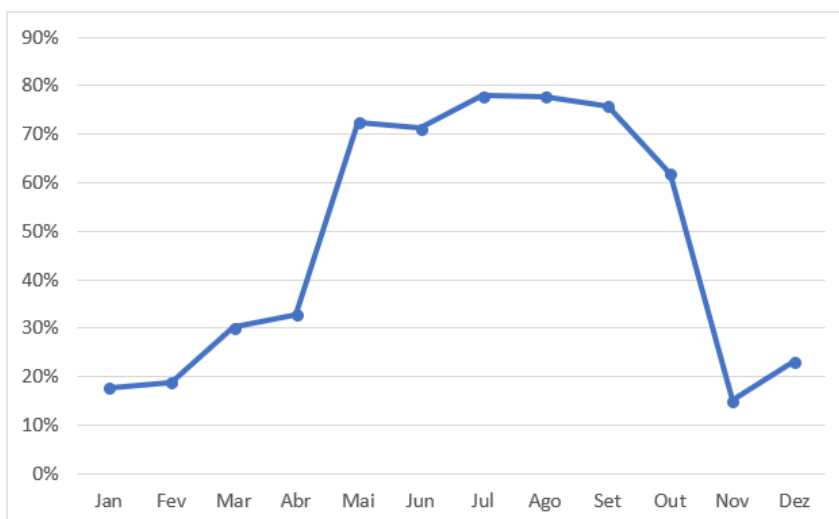


Gráfico 31 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

## B.5. Produção adicional de 250%

### B.5.1. Análise energética

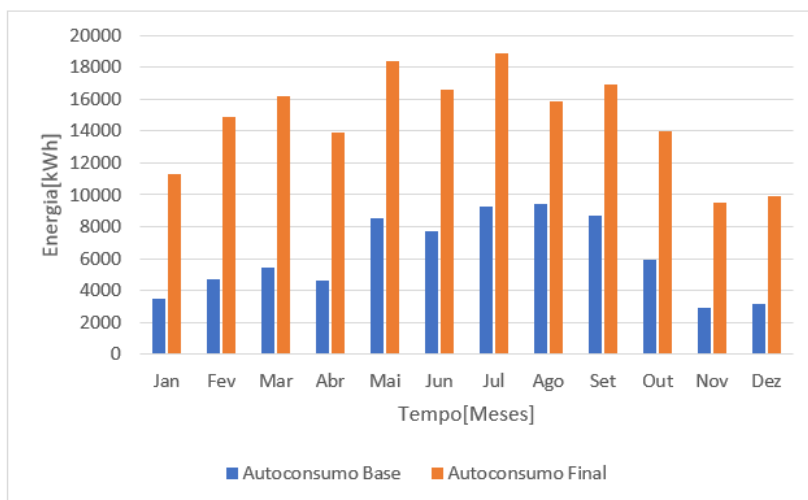


Gráfico 32 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250%

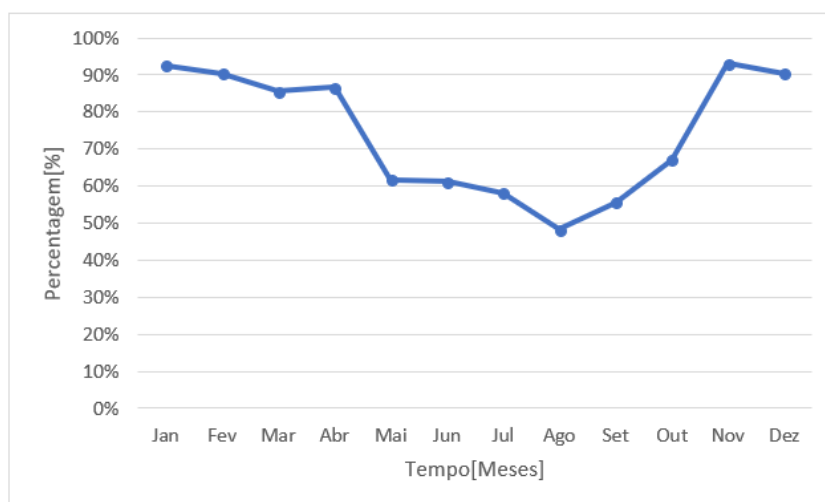


Gráfico 33 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250%

### B.5.2. Utilização das Baterias

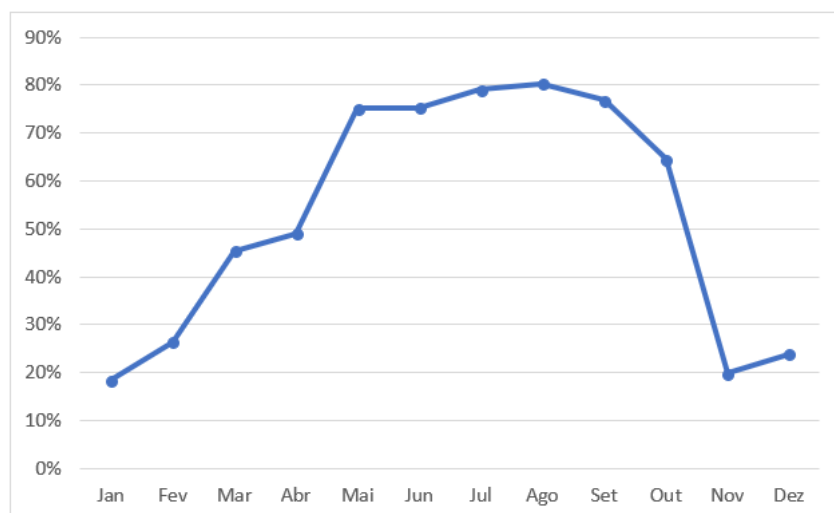


Gráfico 34 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 250%

## B.6. Produção adicional de 300%

### B.6.1. Análise energética

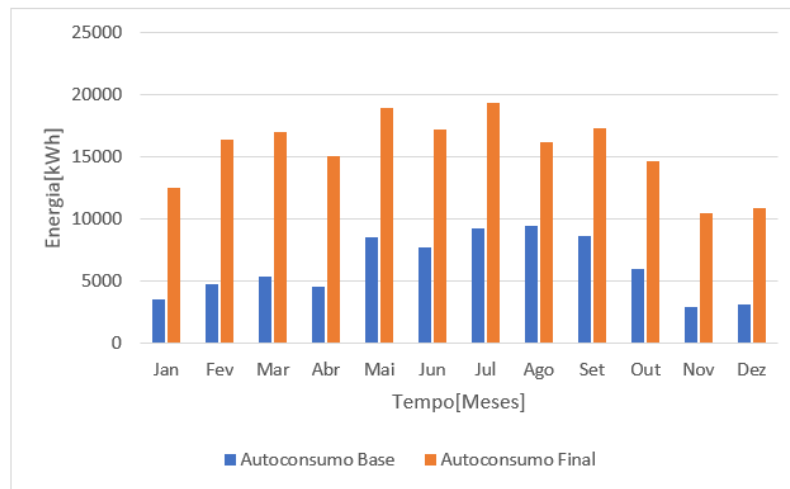


Gráfico 35 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300%

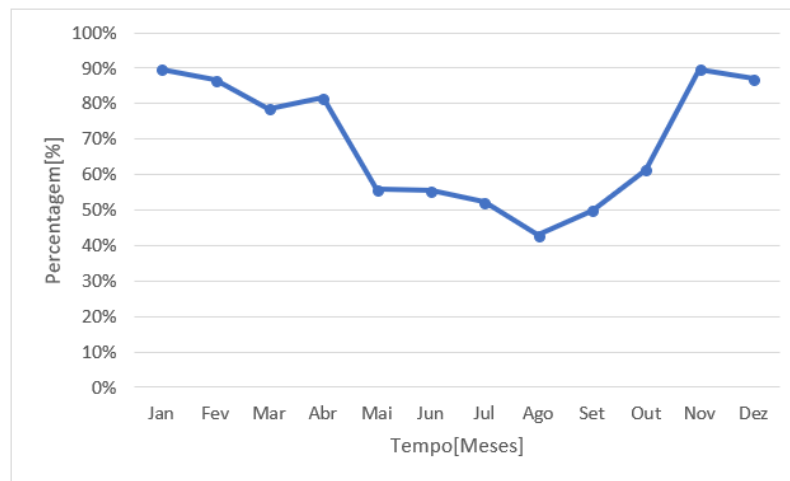


Gráfico 36 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300%

### B.6.2. Utilização das Baterias

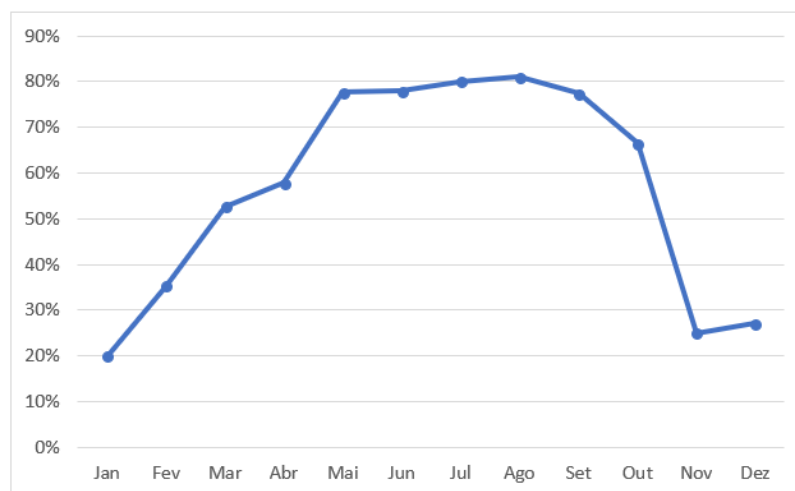


Gráfico 37 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 300%

# **Anexo C**

## **Estudo de Caso – Análise de cenários com armazenamento de 250kWh**

## C.1. Produção adicional de 50%

### C.1.1. Análise energética

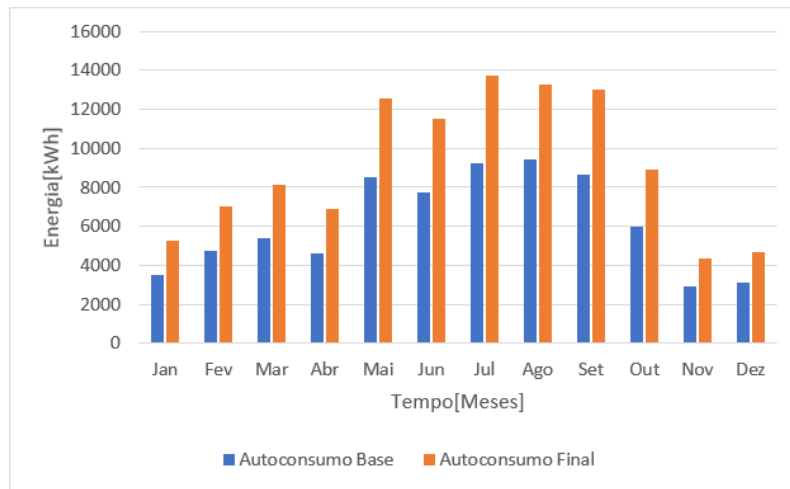


Gráfico 38 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50%

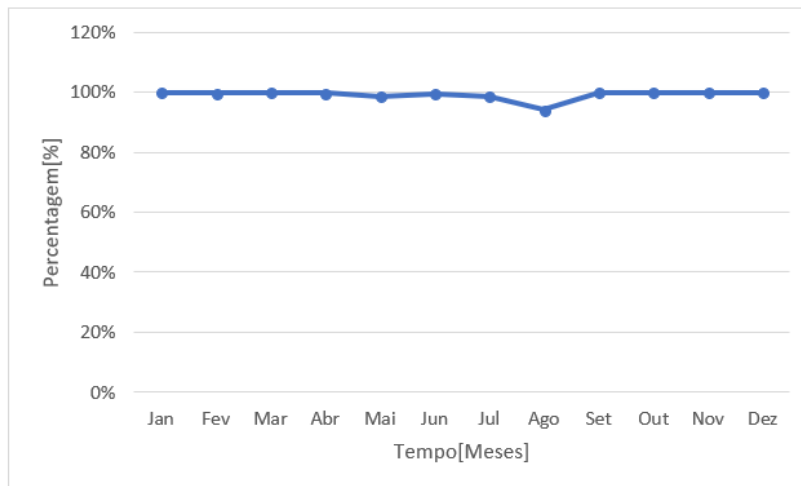


Gráfico 39 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%

### C.1.2. Utilização das Baterias

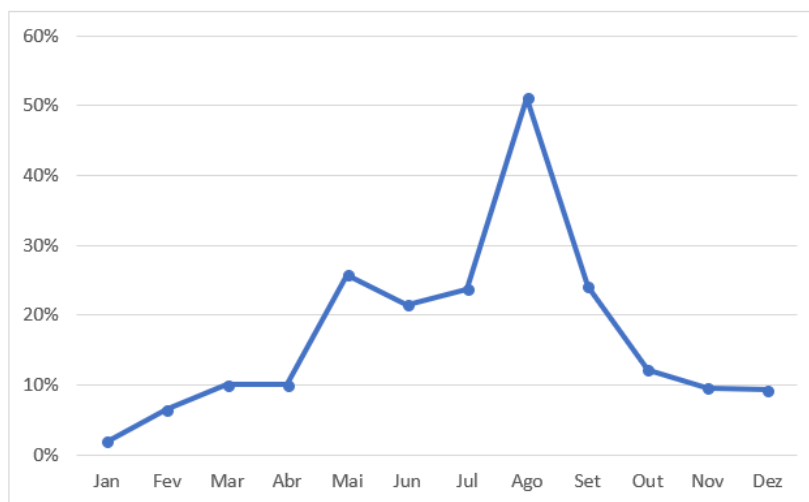


Gráfico 40 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%



## C.2. Produção adicional de 100%

### C.2.1. Análise energética

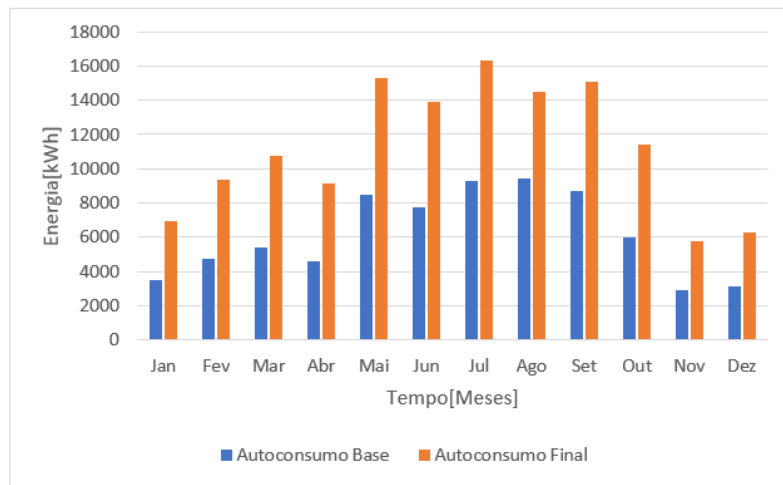


Gráfico 41 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100%

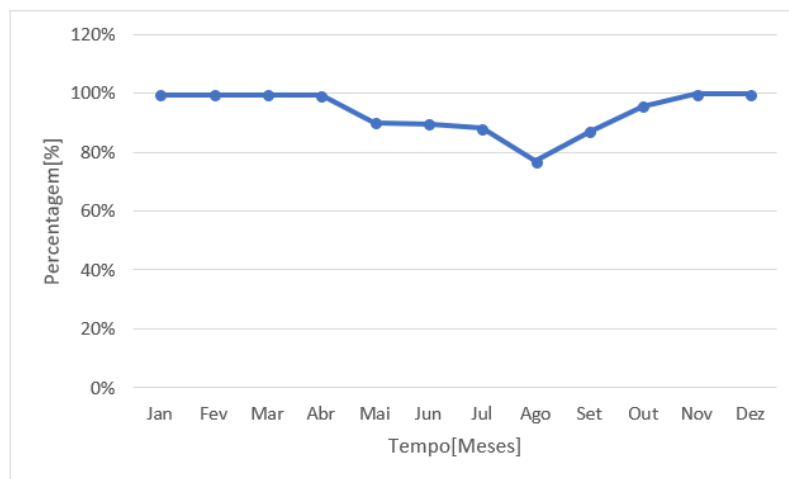


Gráfico 42 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100%

### C.2.2. Utilização das Baterias

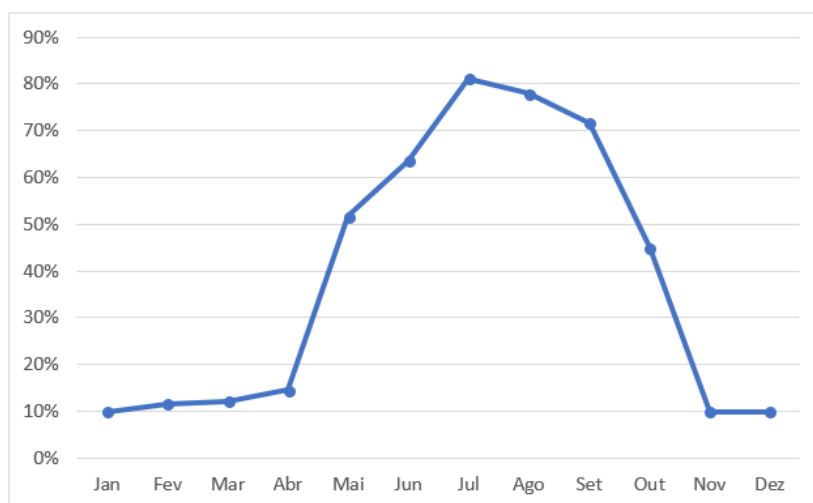


Gráfico 43 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 100%

### C.3. Produção adicional de 150%

#### C.3.1. Análise energética

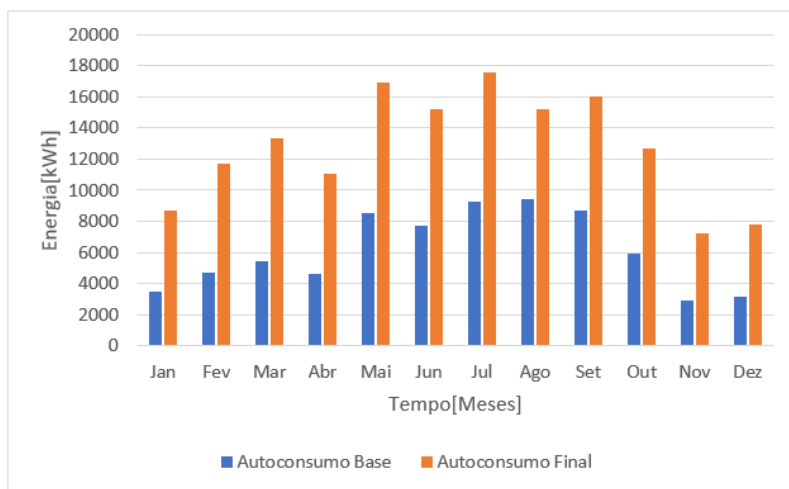


Gráfico 44 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150%

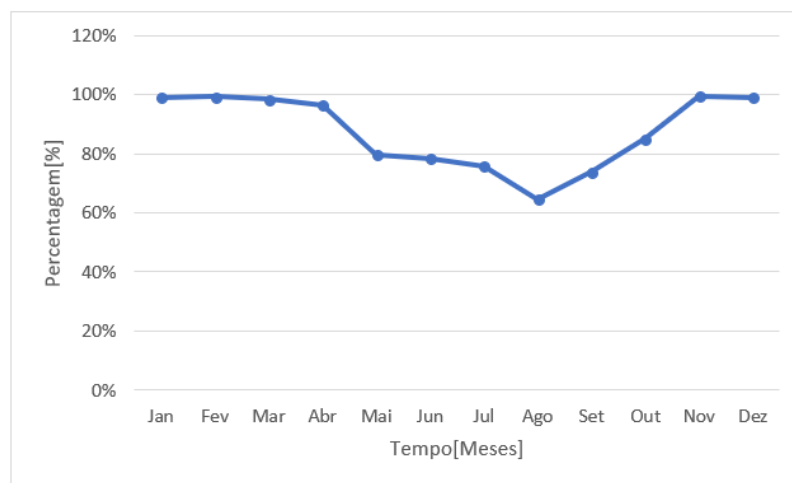


Gráfico 45 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150%

#### C.3.2. Utilização das Baterias

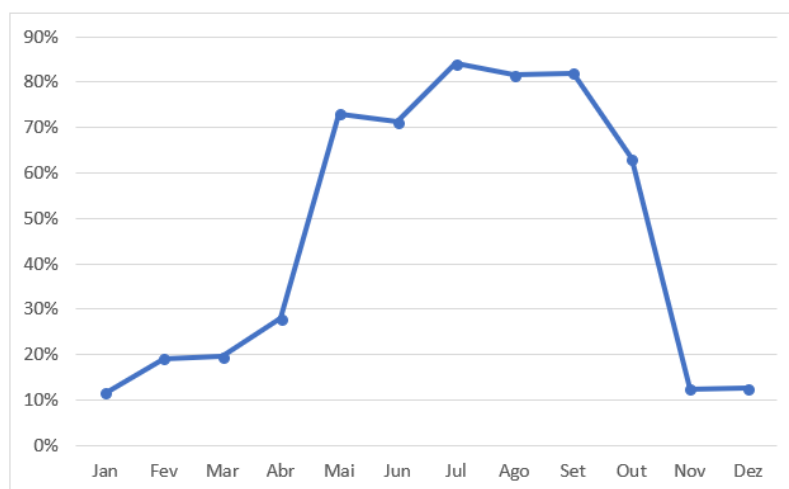


Gráfico 46 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 150%

## C.4. Produção adicional de 200%

### C.4.1. Análise energética

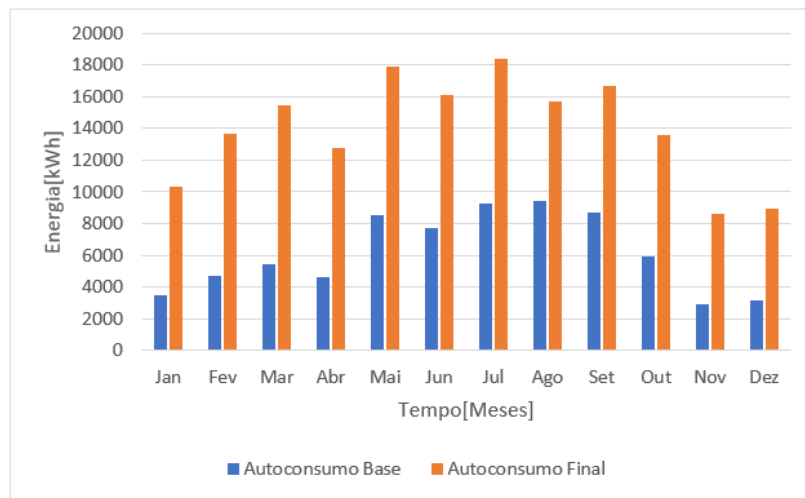


Gráfico 47 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200%

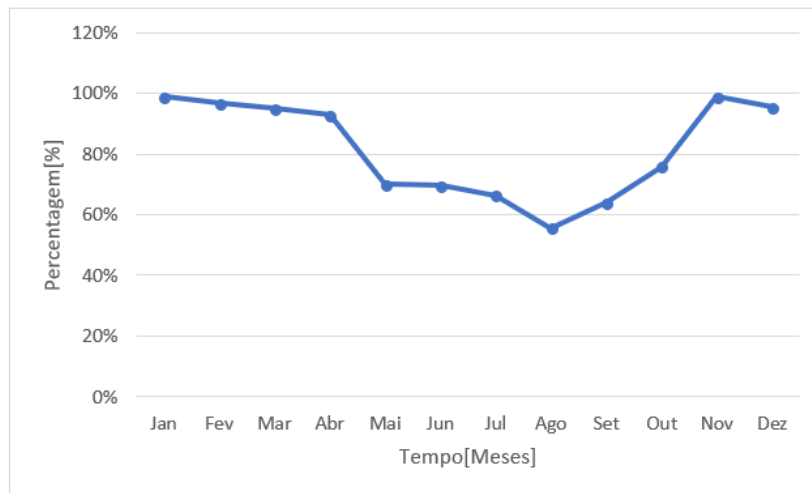


Gráfico 48 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

### C.4.2. Utilização das Baterias

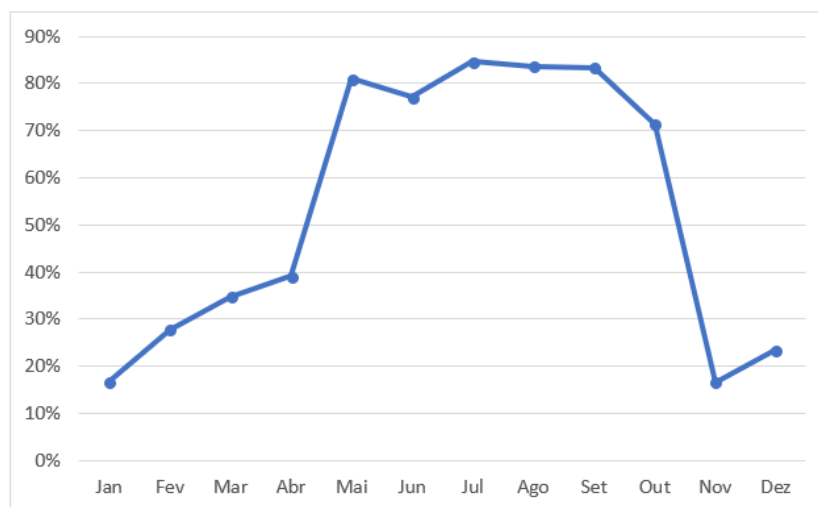


Gráfico 49 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

## C.5. Produção adicional de 250%

### C.5.1. Análise energética

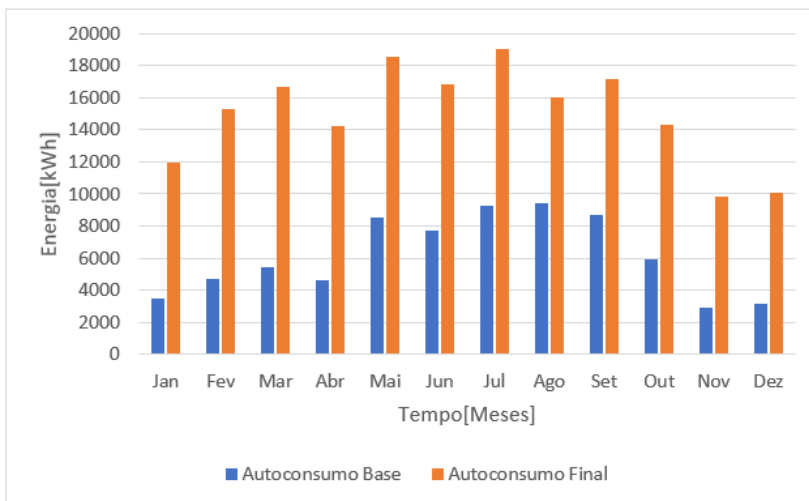


Gráfico 50 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250%

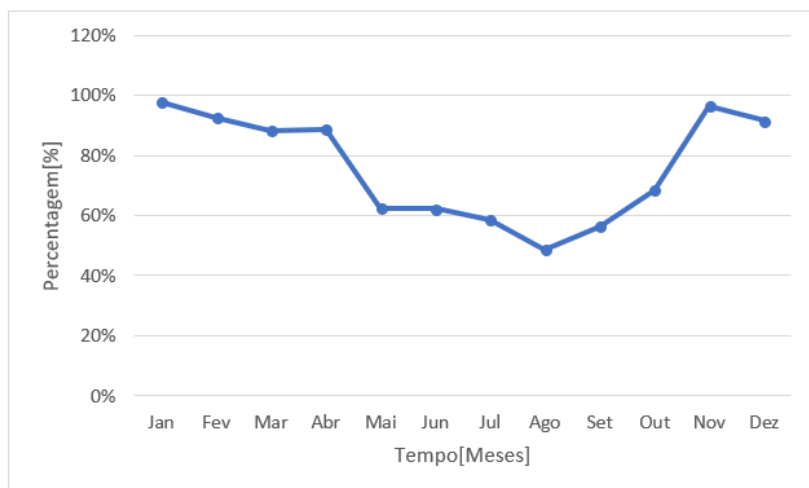


Gráfico 51 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250%

### C.5.2. Utilização das Baterias

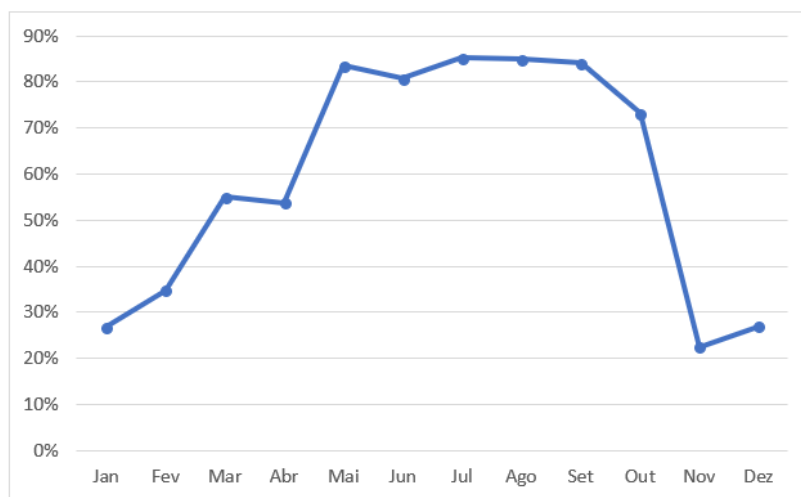


Gráfico 52 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 250%

## C.6. Produção adicional de 300%

### C.6.1. Análise energética

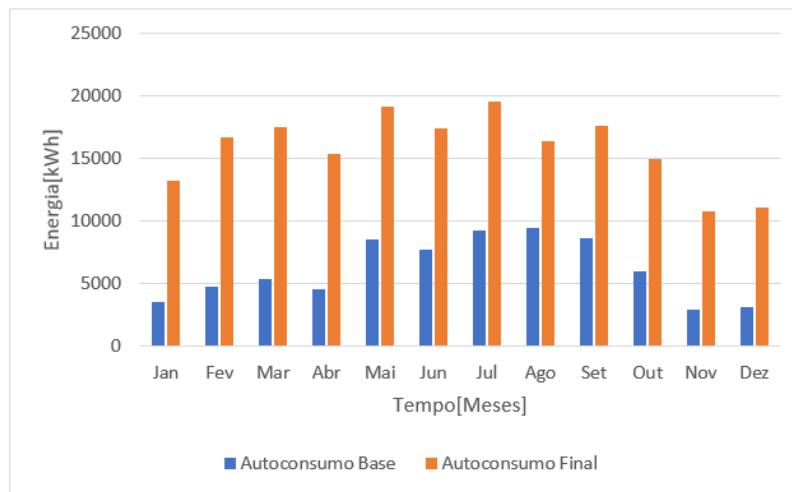


Gráfico 53 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300%

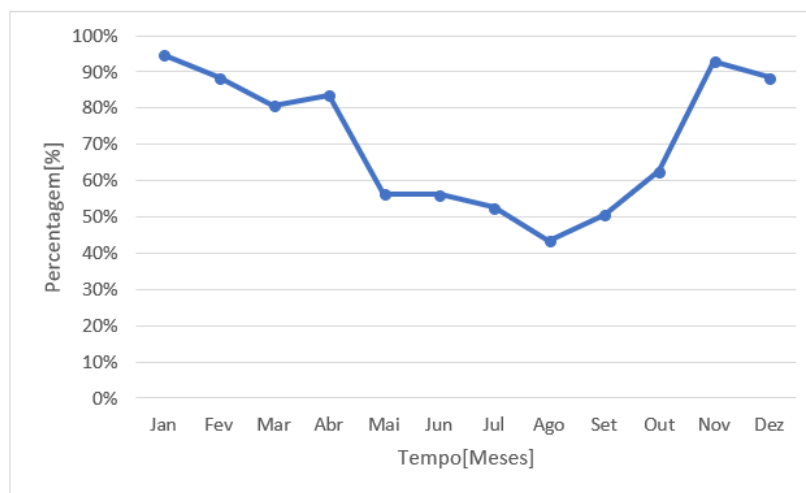


Gráfico 54 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300%

### C.6.2. Utilização das Baterias

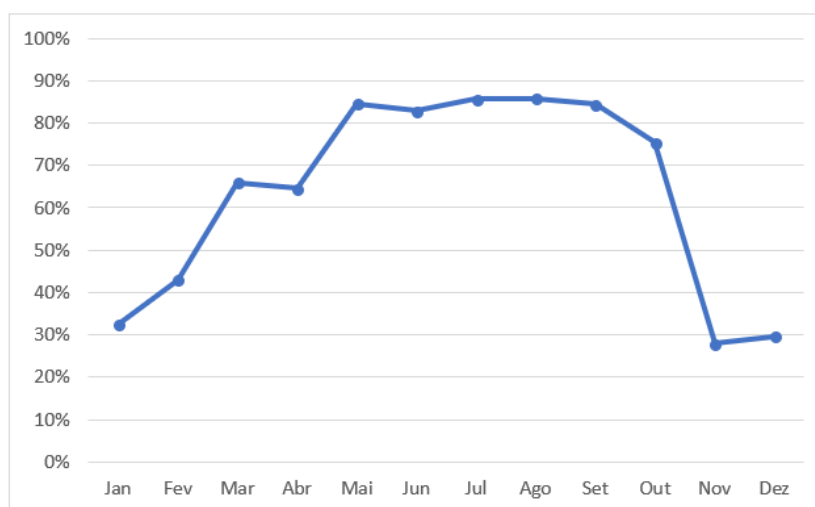


Gráfico 55 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 300%

## **Anexo D**

### **Estudo de Caso – Análise de cenários com armazenamento de 500kWh**

## D.1. Produção adicional de 50%

### D.1.1. Análise energética

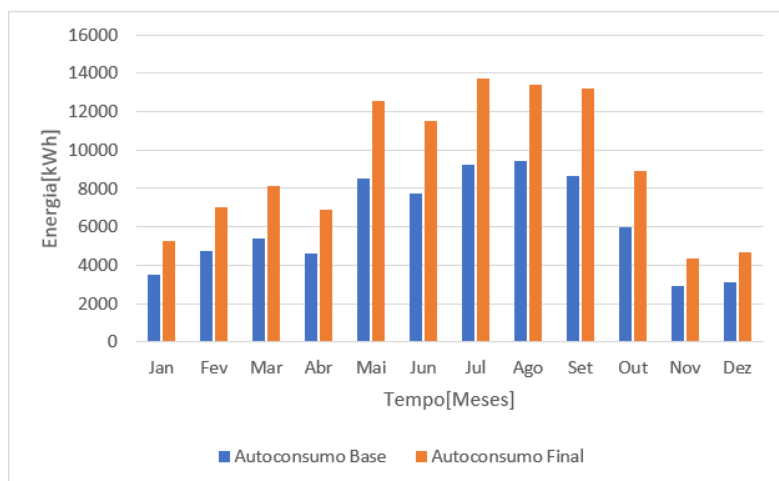


Gráfico 56 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 50%

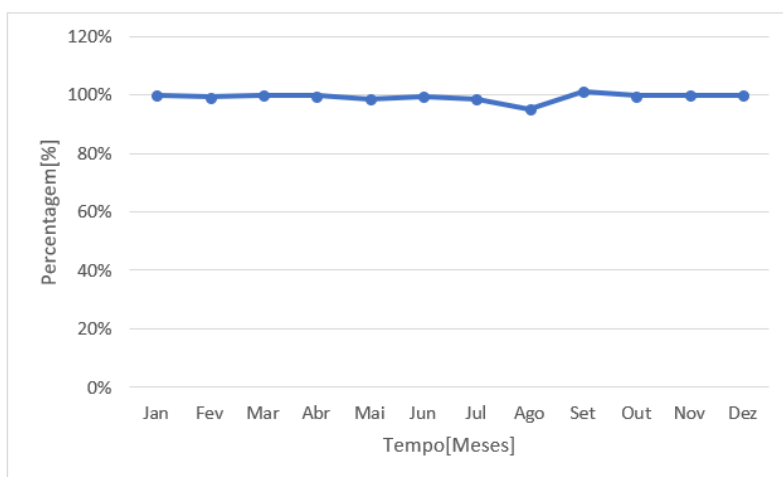


Gráfico 57 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%

### D.1.2. Utilização das Baterias

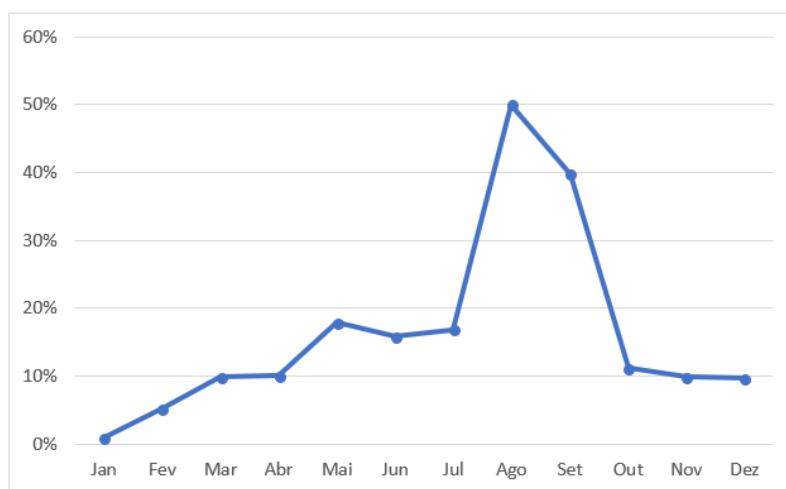


Gráfico 58 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 50%

## D.2. Produção adicional de 100%

### D.2.1. Análise energética

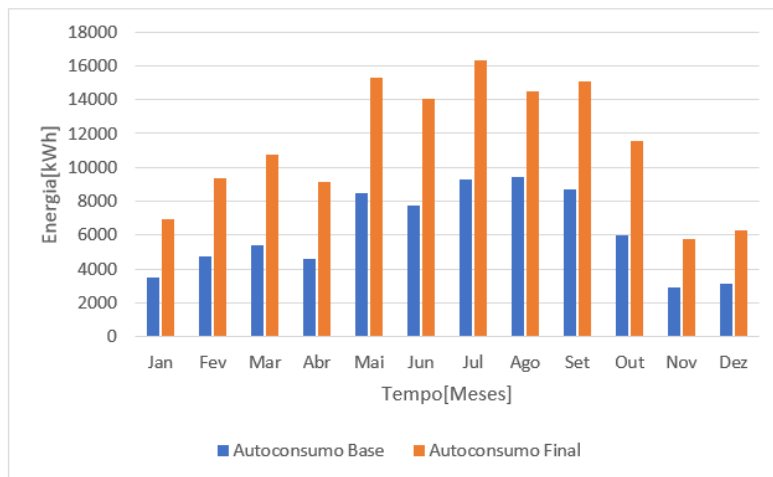


Gráfico 59 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 100%

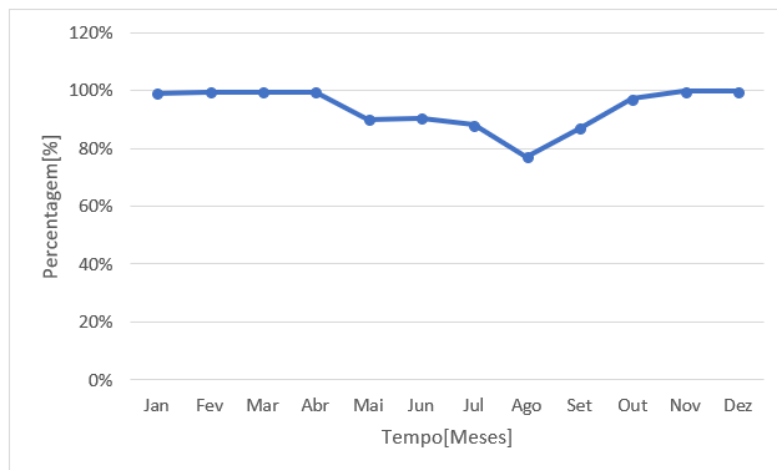


Gráfico 60 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 100%

### D.2.2. Utilização das Baterias

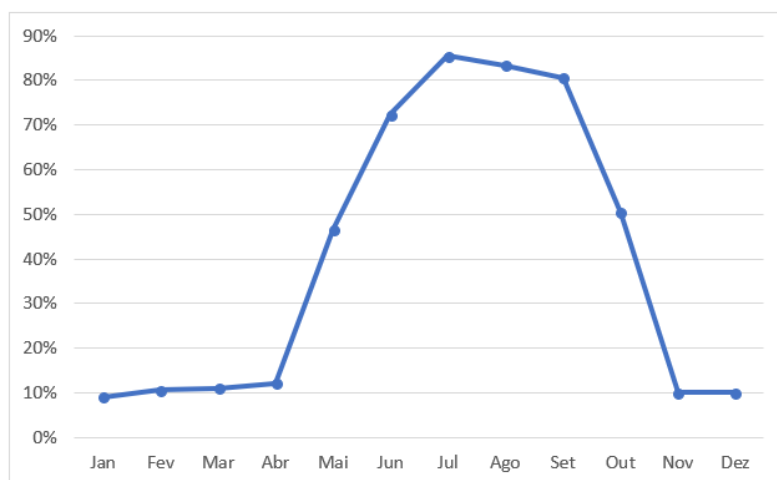


Gráfico 61 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 100%



### D.3. Produção adicional de 150%

#### D.3.1. Análise energética

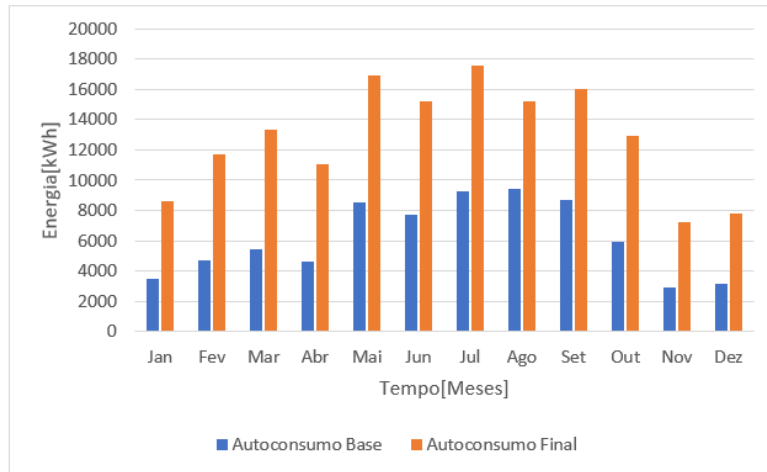


Gráfico 62 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 150%

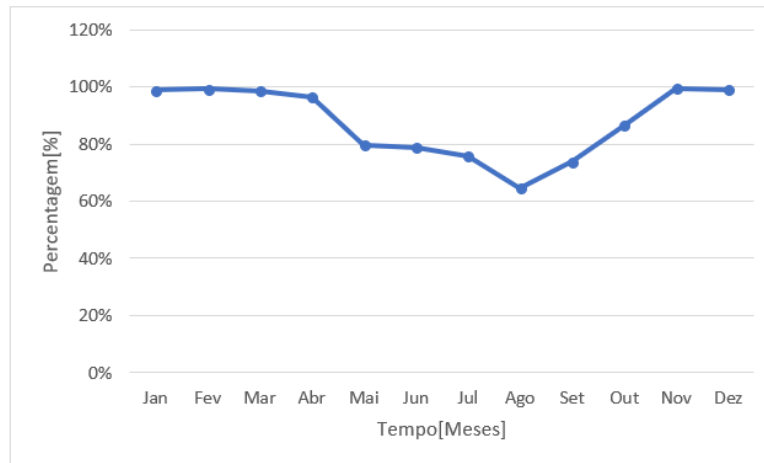


Gráfico 63 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 150%

#### D.3.2. Utilização das Baterias

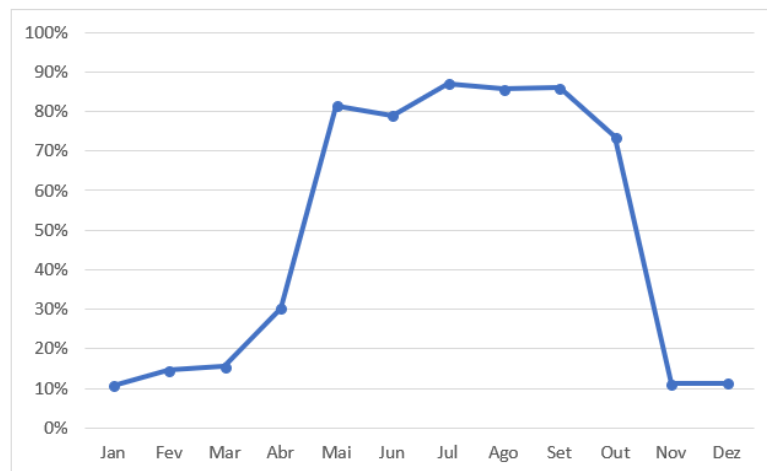


Gráfico 64 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 150%

## D.4. Produção adicional de 200%

### D.4.1. Análise energética

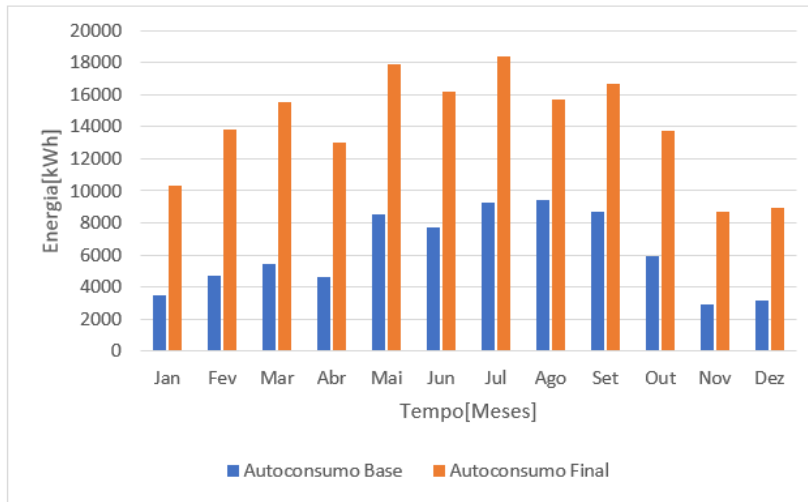


Gráfico 65 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 200%

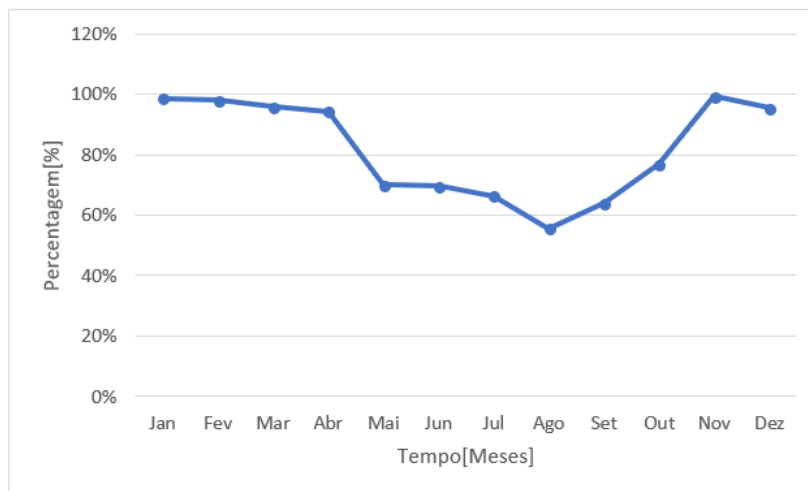


Gráfico 66 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

### D.4.2. Utilização das Baterias

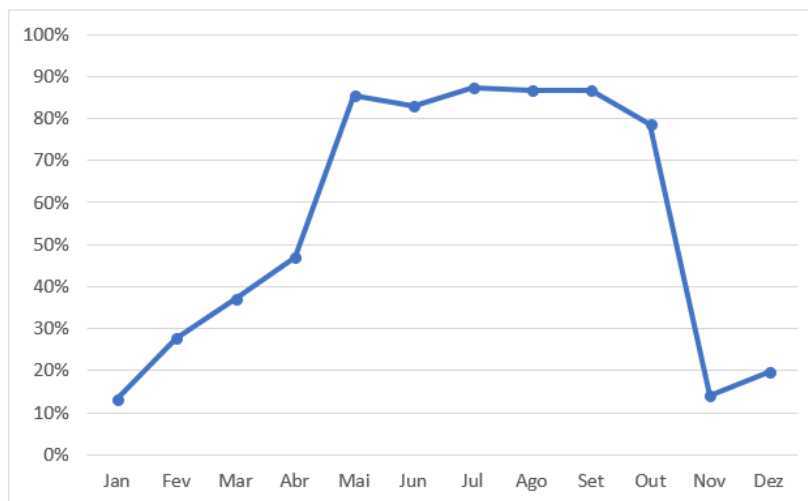


Gráfico 67 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 200%

## D.5. Produção adicional de 250%

### D.5.1. Análise energética

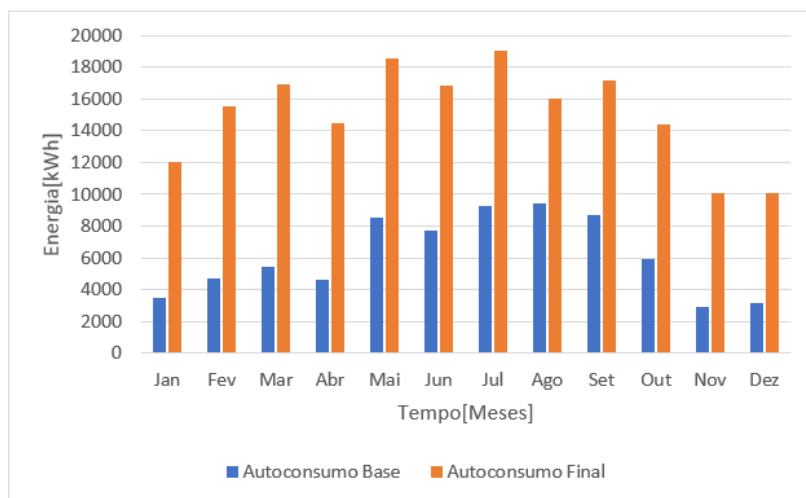


Gráfico 68 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 250%

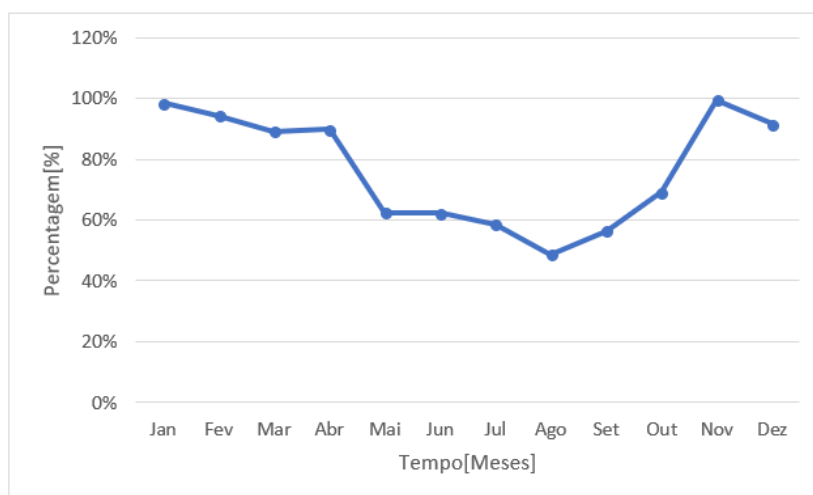


Gráfico 69 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 250%

### D.5.2. Utilização das Baterias

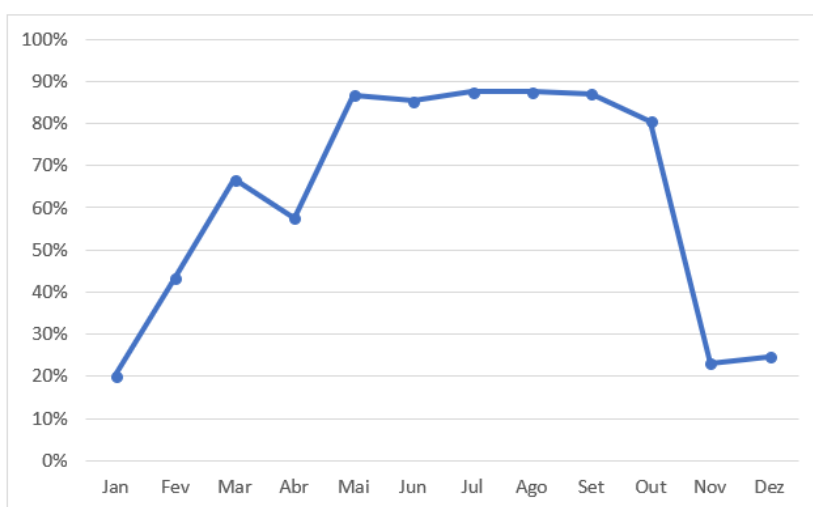


Gráfico 70 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 250%

## D.6. Produção adicional de 300%

### D.6.1. Análise energética

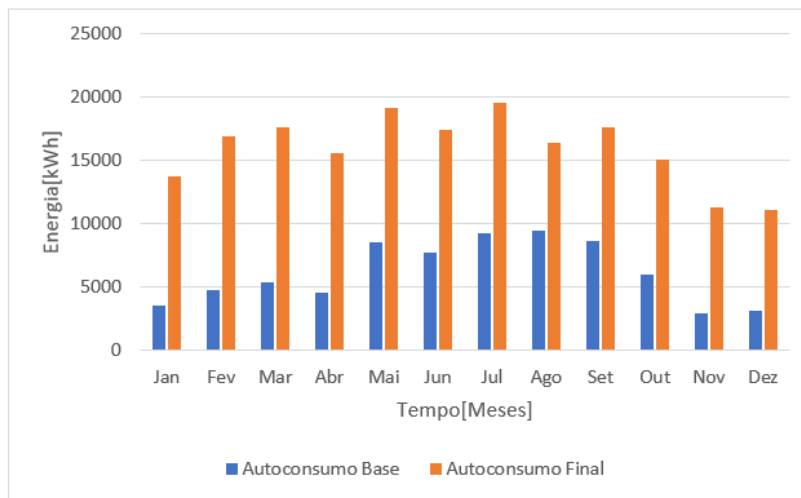


Gráfico 71 - Autoconsumo energético, em kWh, anual, com produção adicional de 300%

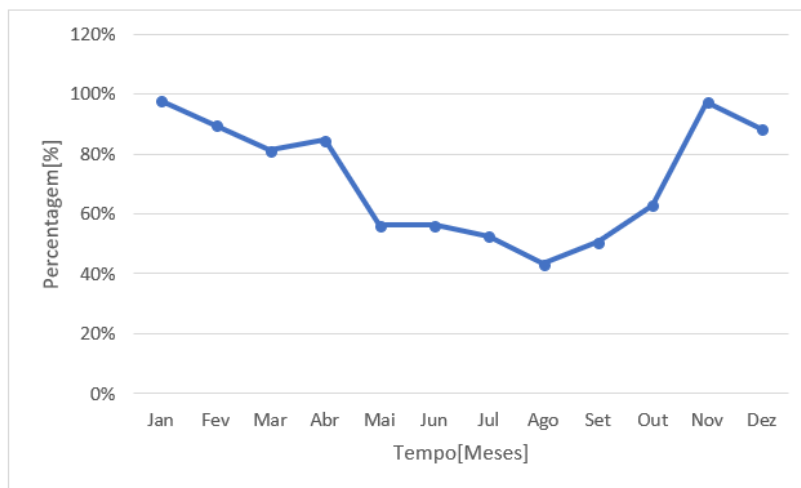


Gráfico 72 - Autoconsumo energético, em percentagem, anual, com produção adicional de 300%

### D.6.2. Utilização das Baterias

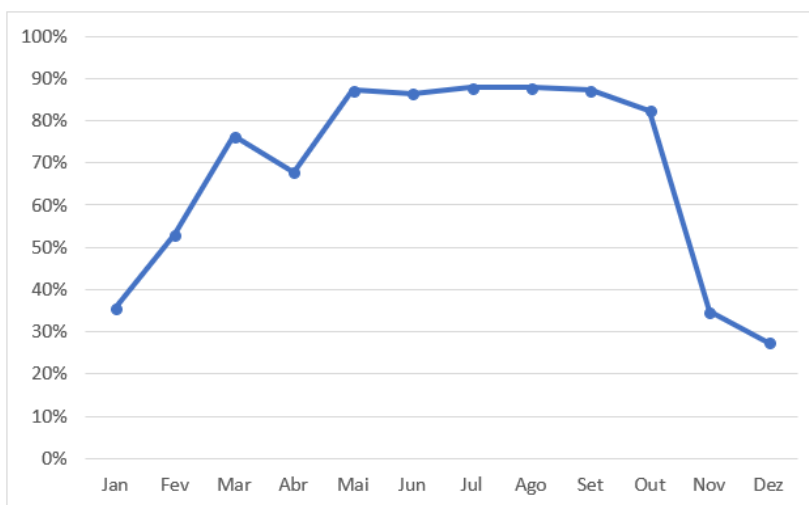


Gráfico 73 - Valores da utilização das baterias, em percentagem, anual, com produção adicional de 300%