



# **Transações entre pares em comunidades de energia**

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Edgar Florindo Santos Sousa

Leiria, março de 2024



# **Transações entre pares em comunidades de energia**

Mestrado em Engenharia Eléctrotécnica - Energia e Automação

Edgar Florindo Santos Sousa

Dissertação realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Miguel Pires Neves

Leiria, março de 2024

# **Originalidade e Direitos de Autor**

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, no ano letivo 2023/2024, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

# **Agradecimentos**

Agradeço ao professor Doutor Luís Miguel Pires Neves, pela orientação e disponibilidade que apresentou desde o momento da proposta até à conclusão deste trabalho.

Agradeço também aos meus colegas de faculdade que fizeram parte desta trajetória. Aos meus pais e à minha namorada Nélia pelo apoio que sempre me deram.

# Resumo

A rede elétrica tem também sofrido evoluções na sua organização para acomodar a necessidade de aumentar o aproveitamento das fontes de energia renováveis, nomeadamente através do conceito de microrredes. Nesta nova forma de organização, a troca de energia pode ocorrer diretamente entre vizinhos, desde que alguns sejam prossumidores, que recebem assim um rendimento decorrente da transação. Neste contexto, as microrredes requerem assim uma gestão otimizada, que tendo em conta também a flexibilidade dos diferentes membros da comunidade, permita reduzir a energia a ser adquirida à rede nos períodos mais desvantajoso, minimizando os custos de eletricidade na perspetiva do utilizador final. O objetivo deste trabalho foi estudar a possibilidade de maximizar o potencial de aproveitamento do recurso fotovoltaico através de uma comunidade de energia, tendo-se analisado o aproveitamento energético que é possível atingir com a partilha de recursos entre membros. Os resultados demonstram esta possibilidade, realçando a importância da partilha de energia, permitindo aumentar o aproveitamento dos recursos sem implicar soluções de armazenamento, constituindo assim uma opção de menor custo para uma comunidade.

**Palavras-chave:** Transição energética, Energias renováveis, Comunidades de Energia, *Transações diretas entre pares.*

# Abstract

The electric power system has been redesigned to accommodate the need to increase the use of renewable energy sources, namely by defining microgrids. In this new forms of organization, the energy trade can occur directly between neighbors, as long as few of them are prosumers, which may receive an income resulting from the transaction. In this context, microgrids require an optimized management, which, taking into account the flexibility in all community members, may reduce the need to import energy from the remaining grid in the most disadvantageous periods, minimizing the electricity costs to the final consumer. The objective of this work was to study the possibility of maximizing the usage of the available photovoltaic resource through an energy community, analyzing the maximum cost effective solution to supply electricity to its members. Results demonstrate this possibility, stating the relevance of energy sharing, and allowing an increased usage of the resource without implying energy storage devices, resulting in lower costs to a community.

**Keywords:** Energy Transition, Renewable energy, Energy communities, Peer-to-Peer Transactions.

# Índice

|  |            |
|--|------------|
| <b>Originalidade e Direitos de Autor .....</b>   | <b>iii</b> |
| <b>Agradecimentos .....</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>Resumo .....</b>  | <b>v</b>   |
| <b>Abstract .....</b>  | <b>vi</b>  |
| <b>Lista de Figuras .....</b>  | <b>ix</b>  |
| <b>Lista de Tabelas .....</b>  | <b>x</b>   |
| <b>Lista de siglas e acrónimos.....</b>  | <b>xi</b>  |
| <b>1. Introdução .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2. Sistemas Eléctricos de Energia.....</b>  | <b>3</b>   |
| <b>2.1. Transformações dos SEE impulsionadas pela qualidade do ar e do clima .....</b> | <b>3</b>   |
| <b>2.2. Descentralização dos Sistemas Eléctricos de Energia .....</b>                  | <b>4</b>   |
| 2.2.1. Produção distribuída .....  | 5          |
| 2.2.2. Armazenamento .....   | 8          |
| 2.2.3. Eficiência energética.....  | 9          |
| 2.2.4. Flexibilidade .....   | 9          |
| <b>2.3. Digitalização .....</b>  | <b>11</b>  |
| 2.3.1. Sensores inteligentes e contadores inteligentes .....                           | 11         |
| 2.3.2. Gestão dinâmica das linhas.....   | 11         |
| <b>2.4. Mercado Energético .....</b>   | <b>13</b>  |
| 2.4.1. Mercado Ibérico de Eletricidade.....  | 13         |
| 2.4.2. Tarifários do sistema português.....  | 13         |
| <b>2.5. Mercados P2P e <i>blockchain</i> .....</b>                                     | <b>15</b>  |
| 2.5.1. Blockchain .....  | 16         |
| 2.5.2. Protocolo de confiança .....  | 16         |
| 2.5.3. Transações .....  | 17         |
| 2.5.4. Funcionamento .....   | 18         |
| 2.5.5. Tipos de aplicação da <i>blockchain</i> .....                                   | 18         |
| <b>2.6. Estado da arte/trabalhos relacionados .....</b>                                | <b>19</b>  |
| 2.6.1. Projetos de transações P2P pelo mundo .....                                     | 20         |
| 2.6.2. Projetos de transações P2P nacionais .....                                      | 22         |
| <b>3. Metodologia e Desenvolvimento .....</b>  | <b>24</b>  |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1. Produção de energia.....</b>                    | <b>24</b> |
| <b>3.2. Perfis de consumo de energia .....</b>          | <b>30</b> |
| <b>3.3. Prossumidores.....</b>                          | <b>34</b> |
| <b>3.4. Cenários.....</b>                               | <b>36</b> |
| <b>4. Análise de resultados.....</b>                    | <b>37</b> |
| <b>4.1. Análise energética individual .....</b>         | <b>37</b> |
| <b>4.2. Análise económica individual.....</b>           | <b>39</b> |
| <b>4.3. Análise energética coletiva.....</b>            | <b>41</b> |
| <b>4.4. Análise económica coletiva .....</b>            | <b>44</b> |
| <b>5. Conclusão .....</b>                               | <b>49</b> |
| <b>Bibliografia ou Referências Bibliográficas .....</b> | <b>51</b> |
| <b>Anexos .....</b>                                     | <b>56</b> |

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1-Tecnologias para descentralização de energia[11].....                     | 5  |
| Figura 2.2-Exemplo de uma UPP com contador de consumo e produção[12] .....           | 6  |
| Figura 2.3-Exemplo de UPP com contador bidirecional e de produção[12] .....          | 6  |
| Figura 2.4-Exemplo de UPAC com contador de consumo[12] .....                         | 7  |
| Figura 2.5-Exemplo de UPAC com dois contadores[12] .....                             | 7  |
| Figura 2.6 - Tarifários de energia em Portugal Continental[22].....                  | 14 |
| Figura 2.7-Tarifário de energia bi-horário[23] .....                                 | 15 |
| Figura 2.8-Transação Blockchain[25] .....  | 18 |
| Figura 3.1-PVGis.....  | 25 |
| Figura 3.2-Produção de energia em 2019 .....   | 26 |
| Figura 3.3-Produção primeiros quatro meses ano .....                                 | 27 |
| Figura 3.4-Produção maio a agosto .....  | 28 |
| Figura 3.5-Produção setembro a dezembro .....  | 28 |
| Figura 3.6–Ocupação ativa agregada para todos os participantes da pesquisa[34] ..... | 30 |
| Figura 3.7-Quatro exemplo do modelo de Richardson com 2 ocupantes[34].....           | 32 |
| Figura 3.8-Comparação TUS com modelo Richardson[34] .....                            | 33 |

# Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1-Soluções propostas pela Blockchain[3] .....                       | 16 |
| Tabela 3.1-Preços dos sistemas fotovoltaicos[36], [37], [38],[39],[40] ..... | 29 |
| Tabela 3.2-Número de habitantes por prosumidor .....                         | 34 |
| Tabela 4.1-Energia aproveitada prosumidores (1kWp) .....                     | 38 |
| Tabela 4.2-Energia aproveitada prosumidores (2kWp) .....                     | 38 |
| Tabela 4.3-Poupança prosumidores (1kWp) .....                                | 39 |
| Tabela 4.4-Poupança prosumidores (2kWp) .....                                | 39 |
| Tabela 4.5-Resumo Payback prosumidores, bi-horário .....                     | 40 |
| Tabela 4.6-Energia anual aproveitada 2kWp cenário 1 .....                    | 41 |
| Tabela 4.7-Energia anual aproveitada c/ 3 e 5 kWp cenário 1 .....            | 41 |
| Tabela 4.8-Energia anual aproveitada c/ 3kWp cenário 2 .....                 | 42 |
| Tabela 4.9-Energia anual aproveitada c/ 5kWp e 8 kWp cenário 2 .....         | 42 |
| Tabela 4.10-Energia anual aproveitada c/5kWp cenário 3 .....                 | 42 |
| Tabela 4.11-Energia anual aproveitada c/8kWp, cenário 3 .....                | 43 |
| Tabela 4.12-Cenário 1, prosumidor 1 e 2, 2kWp, 3kWp e 5kWp .....             | 44 |
| Tabela 4.13- Cenário 1, prosumidor 3 e 4, 2kWp, 3kWp. e 5kWp .....           | 45 |
| Tabela 4.14-Paybacks cenário 1 .....   | 45 |
| Tabela 4.15-Cenário 2, prosumidor1, 2 e 4, 3kWp, 5kWp, 8kWp .....            | 46 |
| Tabela 4.16-Cenário 2, prosumidor2,3 e 4, 3kWp, 5kWp e 8kWp .....            | 46 |
| Tabela 4.17-Payback cenário 2 .....  | 47 |
| Tabela 4.18-Cenário 3, prosumidor 1,2,3 e 4, 5kWp, bi-horário .....          | 47 |
| Tabela 4.19-Payback cenário 3, bi-horário .....                              | 48 |

## Lista de siglas e acrónimos

|       |   |
|-------|---|
| BT    | Baixa Tensão  |
| CER   | Comunidade de Energia Renovável                       |
| DApp  | Aplicações Descentralizadas                           |
| DRE   | Distribuição de Recursos Energéticos                  |
| DLR   | <i>Dynamic Line Rating</i>                            |
| ERSE  | Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos          |
| ESTG  | Escola Superior de Tecnologia e Gestão                |
| IoT   | <i>Internet of Things</i>                             |
| IVA   | Imposto sobre o Valor Acrescentado                    |
| MIBEL | Mercado Ibérico da Energia Elétrica                   |
| OMIE  | Operador de Mercado Ibérico de Energia                |
| OMM   | Organização Meteorológica Mundial                     |
| P2P   | <i>Peer-to-peer</i>                                   |
| PDEE  | Plano de Melhoria do Desempenho dos Edifícios         |
| PPEC  | Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia |
| PIB   | Produto Interno Bruto                                 |
| GEE   | Gases Efeito de Estufa                                |
| RESP  | Rede Elétrica de Serviço Público                      |
| RND   | Rede Nacional de Distribuição                         |
| RNT   | Rede Nacional de Transporte                           |
| SEE   | Sistemas Elétricos de Energia                         |
| SLR   | <i>Season Line Rating</i>                             |
| TUS   | <i>Time Use Survey</i>                                |
| UE    | União Europeia  |
| UPAC  | Unidade de Produção para Autoconsumo                  |
| UPP   | Unidade de Pequena Produção                           |
| VE    | Veículos Elétricos                                    |



# 1. Introdução

Nos últimos anos, a procura por fontes de energia renovável tem crescido em todo o mundo, como resposta à preocupação generalizada com as alterações climáticas, esperando-se um acelerar desta tendência no futuro próximo [1]. Este incremento na procura de fontes de energia renovável trouxe imensos benefícios, como, por exemplo, o baixo preço que os consumidores podem pagar pela energia e a diminuição de emissões de gases provenientes da produção de energia a partir de recursos fósseis. Contudo, a integração dos recursos de energias renováveis nas redes elétricas implica alguns esforços consideráveis de adaptação.

É de igual modo indubitável que o consumo de energia para uso doméstico tem aumentado de forma acentuada, ao longo dos anos, e globalmente. A título exemplificativo, nos Estados Unidos da América o consumo doméstico aumentou 10% nos últimos 20 anos [2].

A integração das fontes de energia renovável tem sido efetuada em parte significativa através de investimentos privados em soluções de produção, localizadas nas instalações dos consumidores, numa abordagem distribuída. Neste novo paradigma, os consumidores tradicionais transformam-se também em produtores, sendo a sua natureza variável ao longo do tempo, em função do balanço entre produção e consumo. Nesta situação híbrida são designados prossumidores (*prosumers*) [3].

A rede elétrica tem também sofrido evoluções na sua organização para acomodar estas novas realidades, nomeadamente através do conceito de microrredes. Nesta nova forma de organização, a troca de energia pode ocorrer diretamente entre vizinhos, desde que alguns sejam prossumidores, que recebem assim um rendimento decorrente da transação. Neste contexto, as microrredes requerem assim uma gestão otimizada, que tendo em conta também a flexibilidade dos diferentes membros da comunidade, permita reduzir a energia a ser adquirida à rede nos períodos mais desvantajoso, minimizando os custos de eletricidade na perspetiva do utilizador final.

Embora recente, à data de escrita deste texto, existem já mais de 4475 microrredes planeadas, construídas e colocadas no mundo[4], sendo vistas por muitos autores e investigadores como uma forma de democratização do acesso à energia, esperando-se que a maior parte da energia necessária para satisfazer as necessidades de consumo das famílias no futuro, seja produzida

a nível local, requerendo apenas funções de suporte à rede elétrica [5]. Vários estudos, baseados em dados reais, demonstram que a interligação entre microrredes pode mesmo resultar numa redução dos custos totais da comercialização de energia em 13.2% [6].

Os objetivos deste trabalho são estudar as vantagens decorrentes do funcionamento de uma comunidade de energia, suportada numa negociação direta entre pares. Para isso é simulado o funcionamento de uma comunidade composta por um conjunto de prossumidores.

O trabalho está dividido em cinco capítulos, tendo os seguintes a estrutura aqui indicada:

- No capítulo 2 serão apresentados diversos conceitos úteis dos sistemas elétricos de energia, que ajudarão a compreender conceitos aqui utilizados, bem como a necessidade desta dissertação;
- No capítulo 3 é feito o desenvolvimento e metodologia do trabalho que se optou por desenvolver aqui, explicando os conceitos e a origem da comunidade de energia aqui estudada;
- No capítulo 4 são estudados em detalhe os resultados desta comunidade, tendo em conta os diversos cenários que são apresentados anteriormente;
- No capítulo 5 é feita uma conclusão de todo este trabalho, sendo também apresentados mais desafios futuros que se podem aplicar utilizando esta nova tecnologia.

## 2. Sistemas Elétricos de Energia

Um dos objetivos deste trabalho é estudar e compreender como funcionam as transações energéticas entre comunidades de energia, simulando essas mesmas transações com as ferramentas possíveis. Para compreender melhor tudo isso, é necessário ter em nota de consideração alguns conceitos, explorando-os e estudando-os.

Os sistemas elétricos de energia estão a ser alvo de um profundo choque disruptivo, que se deve, em grande medida, à inovação tecnológica, às políticas ambientais e às reformas regulamentares rigorosas da atualidade [7]. A democratização do mercado elétrico também é uma realidade que se encontra prevista na legislação portuguesa, de acordo com o Decreto-Lei nº15/2022, de 14 de Janeiro de 2022 [8].

### **2.1. Transformações dos SEE impulsionadas pela qualidade do ar e do clima**

Um dos grandes motivos impulsionadores desta profunda transformação que está a acontecer nos sistemas elétricos de energia é, sem sombra de dúvida, a preocupação com a qualidade do ar e do clima. A produção de energia é responsável por 60% das emissões globais de GEE, gases com efeito de estufa, devido à utilização massiva de combustíveis fósseis. Devido a este facto, se não promovermos rapidamente alterações significativas, o aumento global de temperatura pode exceder em 4°C os níveis pré-industriais [9].

O número de leis e políticas adotadas na última década, relacionadas com as mudanças climáticas, foi grande, sendo que, atualmente, está a atravessar-se a fase da implementação e consolidação dessas políticas. O Acordo de Paris, que é um compromisso considerado histórico, assinado em dezembro de 2015, cimentou a ambição global da mitigação climática. Foi negociado por 195 países com o principal objetivo de combater o aquecimento global do planeta, ao reduzir as emissões de gases de efeito de estufa.

De acordo com novos dados climáticos da Organização Meteorológica Mundial, há uma probabilidade de 50% de que a temperatura média anual do planeta supere transitoriamente em 1.5°C os níveis pré-industriais nos próximos cinco anos [10]. Segundo o levantamento, a probabilidade de elevação da temperatura global ultrapassar 1.5°C aumentou de forma constante desde 2015, quando estava perto de zero. Para os anos entre 2017 e 2021, subiu para 10% e, para o período até 2026, saltou para quase 50% [10].

Todos os países deverão atingir o pico das suas emissões o mais cedo possível para que, idealmente, algures na segunda metade deste século, os GEE e os combustíveis fósseis tenham sido abandonados quase por completo.

Tendo em conta estas preocupações, explicadas anteriormente, os SEE têm evoluído, tornando-se mais descentralizados, e incorporando mais energia renovável. Aumentou

igualmente a precisão do controlo das redes, com a expansão do sistema de informação que as acompanha, dando lugar ao conceito de *smart grids*, no sentido de permitir aumentar a eficiência da sua operação, através de monitorização fina e de controlo otimizado, quer dos dispositivos de rede, quer mesmo através de ação direta ou indireta sobre os usos finais de energia.

## **2.2.Descentralização dos Sistemas Elétricos de Energia**

O grande crescimento dos SEE levou originalmente a uma conceção centralizada, com grandes centrais produtoras, beneficiando do fator de escala para diminuir os custos de produção, a servir de forma centralizada a generalidade dos consumidores. A necessidade de aproveitar pequenas fontes de geração de eletricidade, normalmente variando entre menos de 1kWh até às dezenas de MW, numa fase inicial para responder aos choques petrolíferos dos anos 1970 e 1980, levou à transformação do conceito com a introdução de produção descentralizada localizada perto dos locais de consumo.

A descentralização torna possível aumentar a resiliência da rede, permitindo a pequenas áreas geográficas terem capacidade de se tornar quase autossuficientes. Tem também a vantagem de reduzir os trânsitos de energia a grande distância, reduzindo as perdas associadas e contribuindo para uma maior eficiência global.

A preocupação com o aumento da eficiência energética global tem levado igualmente a uma preocupação com o aumento da eficiência dos usos finais, procurando que os equipamentos que usamos no dia a dia tenham consumos cada vez menores, sem sacrificar o seu desempenho.

Recentemente, a instalação de pequenas unidades de armazenamento igualmente localizadas próximo dos locais de consumo, passou igualmente a ser considerada uma forma importante de contribuir para a resiliência e eficiência. O armazenamento distribuído de energia permite acomodar picos locais de consumo, reduzindo a necessidade de transportar essa energia em períodos em que, por exemplo, a energia é mais cara.

Os sistemas descentralizados permitem aumentar significativamente a flexibilidade de gestão dos SEE, permitindo melhorar o acoplamento entre a disponibilidade dos recursos renováveis e a procura de serviços energéticos pelos consumidores finais, para o qual as tecnologias atrás referidas são particularmente relevantes. A título exemplificativo, a produção fotovoltaica tem como grande vantagem ocorrer maioritariamente nos períodos de maior consumo global, durante o dia.

Por fim, a resposta dinâmica de cargas, permite o controlo da utilização de energia durante os picos de procura e períodos de preços elevados, reduzindo os picos de consumo da procura.

Posto isto, a Figura 2.1, elenca as diferentes tecnologias que foram acima referidas.

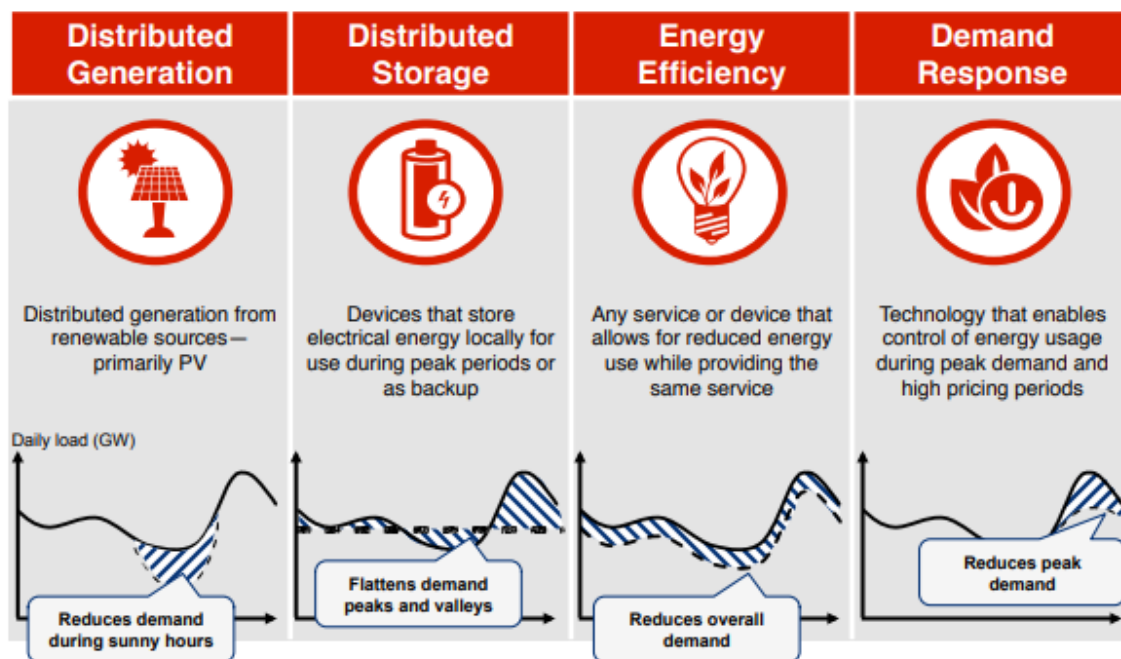


Figura 2.1-Tecnologias para descentralização de energia[11]

### 2.2.1. Produção distribuída

A produção distribuída está relacionada com a atividade de produção descentralizada de energia elétrica, sendo que esta energia pode ser usada para consumo próprio como pode ser vendida à rede. No passado foi publicada legislação sobre microprodução e mini produção, existindo instalações que continuam ao abrigo desses diplomas [12].

Presentemente, na legislação Portuguesa existem dois tipos de produção distribuída, as UPP, unidade de pequena produção, onde se tem apenas uma tecnologia renovável, sendo a totalidade de energia produzida vendida à rede elétrica de serviço público, RESP, e existem também as UPAC, unidades de produção para autoconsumo, utilizando energias renováveis ou não renováveis, que permite apenas injetar na rede o excedente produzido [12].

Na Figura 2.2 e na Figura 2.3 tem-se dois exemplos de ligações nas UPP. Existem também diferentes categorias de UPP, variando conforme o seu objetivo e a sua necessidade. Essas categorias são:

- Categoria I -produtores que pretendem apenas instalar uma unidade de pequena produção;
- Categoria II – produtores que pretendem instalar uma unidade de pequena produção e uma tomada elétrica para carregamento de VE no local de consumo;
- Categoria III – produtores que além de uma UPP querem instalar coletores solares térmicos, tendo o tamanho mínimo de área útil de 2 metros quadrados [12].

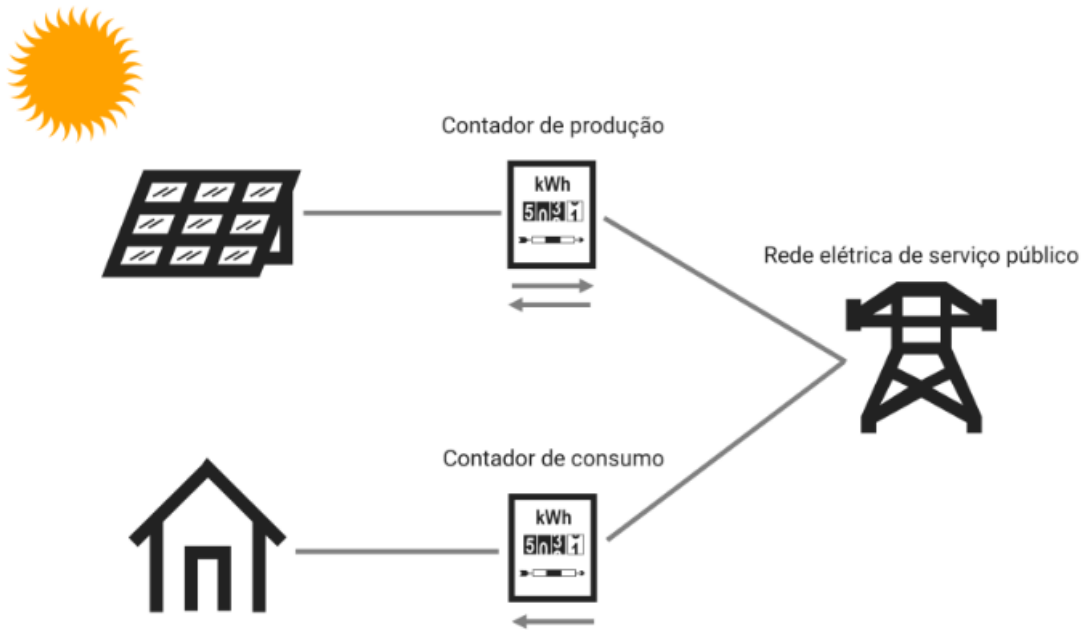


Figura 2.2-Exemplo de uma UPP com contador de consumo e produção[12]

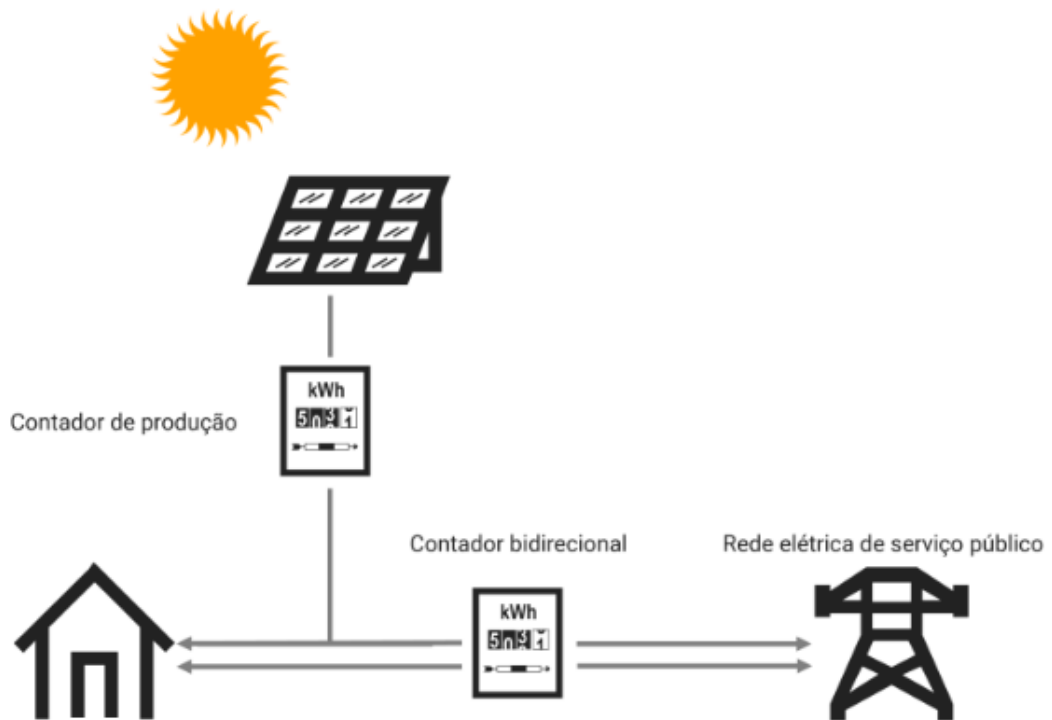


Figura 2.3-Exemplo de UPP com contador bidirecional e de produção[12]

Relativamente às UPAC, a energia produzida por estas tem como destino predominante o autoconsumo na instalação de utilização associada, com a possibilidade e ligação à rede para

venda. A energia excedente do autoconsumo pode ser transacionada no mercado organizado ou bilateral, incluindo através do contrato de aquisição de energia renovável, pode ser vendida através do participante no mercado contra o pagamento de um preço acordado entre as partes ou pode ser vendida através de um facilitador de mercado.

Na Figura 2.4 está presente o exemplo de uma UPAC em que apenas existe um contador de consumo, sendo que não se realiza venda de energia para a rede ou para outros consumidores.



Figura 2.4-Exemplo de UPAC com contador de consumo[12]

Na Figura 2.5 está visível um exemplo de uma UPAC, semelhante à que se usaria num contexto de partilha em comunidades de energia, em que já existe produção de energia e, como tal, já há um contador bidirecional, que conta a energia consumida e a energia produzida por uma determinada habitação. Além desse contador está presente também um contador de produção.

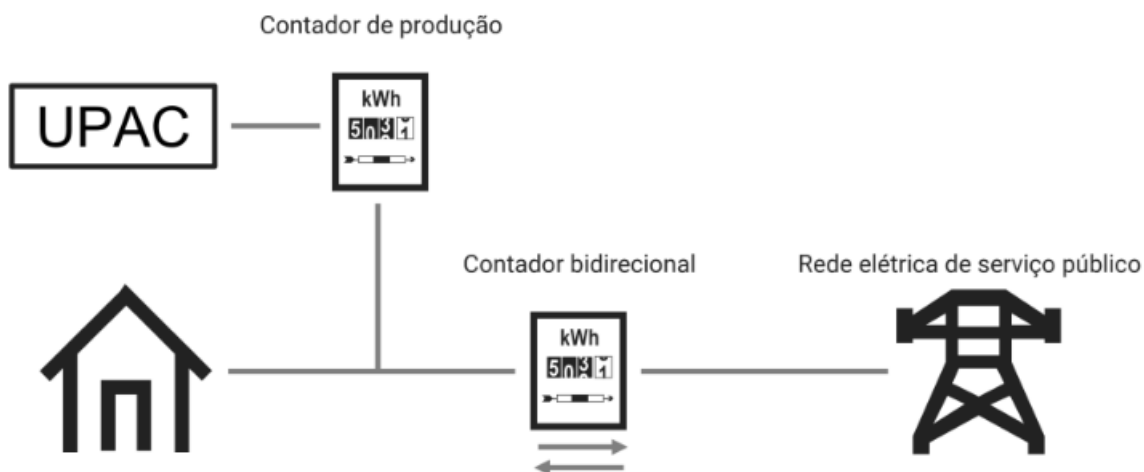


Figura 2.5-Exemplo de UPAC com dois contadores[12]

### 2.2.2. Armazenamento

Os sistemas de armazenamento permitem compensar o provável desajuste entre a disponibilidade temporal dos recursos renováveis e as necessidades de consumo, armazenando energia produzida durante os períodos em que a disponibilidade é excessiva para injetar essa mesma energia quando for necessário ao consumo. Permite ainda aproveitar as diferenças inerentes a esse desajuste entre oferta e procura expressas no preço cobrado pelas unidades de produção convencionais. O armazenamento de energia pode ser ainda utilizado em:

- Apoio de operações em três tipos de suporte diferentes [13]:
  - Serviço de regulação de frequência, estes sistemas possuem a característica de poder injetar ou absorver energia da rede para manter a frequência constante;
  - Suporte de tensão, através da injeção e absorção de energia reativa da rede para que a tensão se mantenha dentro dos limites regulados;
  - Reserva de contingência, ao nível do transporte a reserva permite fornecer energia até duas horas em resposta a uma súbita falha de geração ou transmissão.
- Minimização do transporte de energia em interligações de baixa capacidade: O transporte de eletricidade é efetuado através de cabos e em algumas situações, o fornecimento de energia elétrica a áreas isoladas pode ser apresentar dificuldades. Sistemas de armazenamento, como as baterias, podem resolver estes problemas com a sua capacidade de carga/descarga de energia móvel. Num local remoto que não detenha ligação à rede elétrica, recarregar um veículo elétrico pode ser um desafio, mas um sistema de armazenamento pode realizar a função do sistema de transporte[13];
- Transferência de carga: Consiste numa estratégia em que se procede ao armazenamento de energia durante os períodos de vazio, para depois libertar essa energia nos períodos de pico [13];
- Distância entre a produção e o consumo: Por vezes, verifica-se uma longa distância entre os consumidores e os centros de produção de energia elétrica, o que aumenta o risco de acontecer uma interrupção no fornecimento de energia por um desastre natural ou mesmo acidentes na operação da rede. Os sistemas de armazenamento permitem o fornecimento de energia aos consumidores nestas situações [13];
- Suporte na integração de energia renovável intermitente: A capacidade de os dispositivos de armazenamento de energia providenciar potência e energia permite resolver problemas como a redução de perdas de transmissão.

Apesar do armazenamento de energia ser identificado como uma chave para combater as alterações climáticas, os custos destes sistemas têm limitado o investimento. Prevê-se, até 2050, um aumento da utilização de soluções baseadas em baterias uma vez que se prevê que os seus preços irão diminuir, permitindo aumentar o aproveitamento da produção de energia

solar ou energia eólica através do aumento de flexibilidade proporcionado. Para limitar o aquecimento global até 2°C, o armazenamento de energia deveria aumentar significativamente até 2050 [14].

### **2.2.3. Eficiência energética**

Apesar de não estar diretamente relacionada com a descentralização, a eficiência energética é, geralmente, considerada como o meio mais rentável e economicamente prudente para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, e, assim, aumentar a segurança energética [15]. Pode ser igualmente considerado o primeiro passo para tentar assegurar a resiliência de sistemas descentralizados, porque será mais fácil garantir o abastecimento dos consumos locais se estes estiverem reduzidos ao mínimo essencial.

Nas últimas décadas, houve uma forte aposta europeia na eficiência energética com a publicação de diretivas que obrigam à certificação energética de edifícios e produtos. A eficiência energética é, habitualmente, considerada como um dos meios mais económicos e prudentes para reduzir os GEE, os gases de efeito de estufa. A intensidade energética de uma economia, definida como a razão entre o consumo interno de energia de um país e o seu PIB, diminui para quem implementou medidas de eficiência energética.

Segundo a ERSE, a eficiência energética é vista como uma prioridade e prevê-se que a Europa seja o primeiro continente neutro em carbono e, conseqüentemente, a atingir a neutralidade carbónica até ao ano de 2050 [16]. As principais medidas implementadas em Portugal para a promoção da eficiência energética passam por programas de apoio à eficiência energética em setores industriais e pelo aumento da eficiência energética em edifícios [16].

A ERSE tem ainda em aplicação, desde 2006, o Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia (PPEC), que é um mecanismo concorrencial de apoio a medidas que contribuem de forma concreta para a redução do consumo, que, atualmente abrange os setores elétrico e de gás natural [16].

### **2.2.4. Flexibilidade**

A importância de dotar os sistemas de energia de flexibilidade tem vindo a aumentar ao longo dos anos, acompanhando o aumento do uso de fontes de energia renovável. O principal desafio da flexibilidade é balancear a oferta e a procura através de soluções que permitam compensar o natural desajuste entre os ciclos temporais de produção, que seguem fenómenos naturais não controláveis, como a disponibilidade de vento, sol e chuva, e os ciclos naturais de consumo, que seguem necessidades humanas não relacionadas com os primeiros. Para além dos sistemas de armazenamento, já referidos, que permitem naturalmente compensar este desajuste, têm vindo igualmente a ser utilizados mecanismos de influência ou controlo direto do consumo.

A flexibilidade da oferta e do fornecimento de energia tem vindo a ser melhorada com um maior uso de tecnologias digitais de comunicação com dispositivos e entidades fornecedoras ou consumidoras de energia, permitindo à rede reagir de forma quase imediata às necessidades e tirando mais partido de capacidades de adaptação dinâmica que maximizam o aproveitamento de recursos existentes [9].

## 2.3. Digitalização

A digitalização facilita a gestão e a operação da rede. O conceito de *smart grids*, ou redes elétricas inteligentes, considera que as redes elétricas têm de incorporar tecnologia da informação para permitir uma gestão eficiente, quer a nível económico, quer a nível energético, com vantagens ao nível da sustentabilidade e da resiliência.

O uso de informação em tempo real permite acelerar a transição energética, pela possibilidade de aumentar o aproveitamento de recursos renováveis, bem como permitir ao consumidor ou prosumidor ter uma visão de onde pode poupar energia ou saber as horas em que pode reduzir o seu consumo [17].

### 2.3.1. Sensores inteligentes e contadores inteligentes

Equipamentos como sensores e contadores inteligentes estão a ser implementados em larga escala quer em Portugal quer na Europa. Prevê-se que, em 2024, cerca de 77% dos consumidores de energia irão ter um contador inteligente de eletricidade [18].

Um contador inteligente monitoriza, consistentemente, o consumo de energia de dispositivos conectados à rede. Através do contador, o utilizador pode medir o consumo de eletricidade, permitindo o tratamento e disponibilização de dados e o apoio ao fornecimento de serviços, através de comunicação remota, isto é, gerir a energia de forma mais eficiente e com menor custo. Além disso, os utilizadores com estes contadores inteligentes não necessitam de pagar pela estimativa, visto que o consumo de energia é real e não estimado.

É através da monitorização que se aumenta a eficiência energética nas diversas instituições e, consequentemente, obtém-se poupanças de energia. Isso ocorre porque a monitorização permite identificar onde e como a energia está sendo consumida, possibilitando a identificação de oportunidades de melhoria e a implementação de medidas de eficiência energética. Além disso, a monitorização também permite avaliar o impacto das medidas implementadas e verificar se as poupanças esperadas estão sendo alcançadas.

Relativamente aos sensores, é através deles que a infraestrutura digital consegue gerir a oferta, o consumo e o desempenho da rede. Podem ser utilizados para recolher e partilhar dados, permitindo alterar a oferta, a procura e operar ativos da rede, em tempo real. O resultado são custos mais precisos, diversas vezes menores para os consumidores finais e serviços. São utilizados outros sensores, como os sensores de uso de potência, que servem para medir a quantidade de energia que flui ao longo das linhas de transmissão. Eles fornecem informações críticas sobre a carga em tempo real, permitindo ajustes dinâmicos para evitar congestionamentos e melhorar a eficiência do transporte da eletricidade.

### 2.3.2. Gestão dinâmica das linhas

A apreciação da capacidade de produção de transmissão das linhas aéreas, pelas entidades responsáveis pela operação dos sistemas de transmissão, recorre a um modelo do equilíbrio termodinâmico estático dos cabos para as condições meteorológicas mais adversas. A essa

metodologia é chamada de SLR, *Seasonal Line Rating*, que tem como objetivo principal garantir a firmeza da operação das redes, não permitindo que a temperatura limite do condutor seja superada e que a linha conserve sempre uma distância mínima ao chão [19].

Com o objetivo de monitorizar e evitar congestionamentos na rede criou-se o DLR, *Dynamic Line Rating*, que é uma ferramenta operacional para a análise do equilíbrio termodinâmico dos cabos de linhas aéreas sob condições meteorológicas em tempo real [19].

Diferentes artigos indicam que o uso do DLR leva a um aumento de 10 a 30% na estimativa de capacidade de transmissão, o que pode evitar eventuais congestionamentos na rede em 80% dos casos e pausas inevitáveis da produção de energia renovável variável. Além do mais, ao evitar o uso de valores de capacidade das linhas superiores aos determinados pelo DLR, permite preservar a segurança dos sistemas de transmissão, evitando a degradação dos cabos e a quebra das linhas. O uso destes modelos DLR a longo prazo podem evitar ou adiar a eventual construção de novas linhas [19].

## **2.4.Mercado Energético**

A liberalização do mercado energético tornou possível a escolha de diferentes fornecedores de energia por parte dos diferentes consumidores, mesmo que numa mesma área geográfica, situação que anteriormente não era possível, existindo um funcionamento em monopólio considerado natural pelas implicações infraestruturais.

### **2.4.1. Mercado Ibérico de Eletricidade**

O mercado ibérico de energia arrancou a 1 de julho de 2007 [20], sendo o mesmo composto pelos mercados energéticos de Portugal e Espanha. O MIBEL, Mercado Ibérico de Eletricidade, é um mercado grossista de eletricidade, o que significa que é um mercado em que atuam vários agentes de mercado. A energia é comercializada numa base diária e funciona com o objetivo de realizar transações de eletricidade através da apresentação de ofertas de compra e venda, pelos diferentes agentes.

O MIBEL rege-se por um modelo marginalista, onde os produtores fazem ofertas com base no custo marginal de produção, o que inclui, por exemplo o preço do combustível, o custo variável de operação, o custo de emissões e os impostos. Após isso, todas as ofertas são organizadas por um ordem crescente, enquanto que as ofertas dos comercializadores para a compra de energia são organizadas tendo por base o preço da compra, mas numa ordem decrescente [20].

O preço de produção de energia para todos os produtores será o ponto de interceção entre a procura e a oferta, sendo o custo marginal de produção do último produtor que satisfaz a procura no período de licitação [21]. Os preços da energia são, em grande parte, definidos com base na procura e na oferta, porém, fatores como a guerra, o preço do gás e outros podem fazer disparar o preço da energia vendida pelo MIBEL. Por outro lado, o crescimento de fontes de energia renováveis, o aumento da geração descentralizada e a eficiência energética contribuem para uma descida de preços no MIBEL [21].

No MIBEL, todos os dias, pelo meio-dia, são estipulados os preços e as fontes de produção de energia para o dia seguinte. Na tarifa de eletricidade indexada, o preço é indexado à cotação do mercado diário de energia, sendo que o cliente paga, a cada hora, o preço real de energia, acrescido de um valor pela gestão de contrato [21].

### **2.4.2. Tarifários do sistema português**

Em Portugal, tal como em qualquer outro país, existem diversas tarifas de eletricidade. As tarifas e os preços para a eletricidade são fixados anualmente pela ERSE, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, para um período coincidente com o ano civil.

O preço da energia elétrica tem diferentes valores consoante a hora do dia a que se realiza o seu consumo. O período horário corresponde à forma como o consumo da eletricidade se distribuí ao longo de 24 horas de cada dia e ao longo dos sete dias da semana. Os períodos

horários de entrega de energia elétrica, previstos no Regulamento Tarifário no artigo 40º para as Regiões Autónomas e no artigo 34º para Portugal continental, são os seguintes [22]:

- **Ponta:** Aplicável a todos os consumidores que tenham tarifa tri-horária. Corresponde ao período de energia em que o preço é mais elevado [22];
- **Cheias:** Aplicável a todos os consumidores que tenham a tarifa tri-horária e bi-horária [22];
- **Vazio normal:** Aplicável a consumidores que tenham a tarifa bi-horária e tri-horária. Corresponde ao período que o preço da energia é mais reduzido [22];
- **Super vazio:** Aplicável apenas a consumidores de tensão em baixa tensão especial (BTE), média tensão (MT), alta tensão (AT) e muito alta tensão (MAT) [22].

Além dos períodos horários também estão previstos dois ciclos, o ciclo diário (que combina os períodos iguais em todos os dias do ano) e o ciclo semanal (os períodos são diferentes entre dias úteis e dias de fim de semana). Para cada ciclo há um horário de verão e de inverno, que reflete a alteração da hora [22].

Um consumidor de energia em regime de BTN, pode ter três opções tarifárias de diferente valor, desde que a potência contratada seja inferior a 41,4 kVA:

- **Tri-horário:** Três períodos durante o dia, com horas de ponta, horas de cheia e horas de vazio;
- **Bi-horário:** Dois períodos durante o dia horas fora de vazio e horas de vazio;
- **Simples:** Um único período ao longo do dia, sem diferenciação horária;

Na Figura 2.6 tem-se presente a variação horária de cada um dos diferentes tipos de hora. Esta variação está aplicada ao território continental e com o ciclo diário.

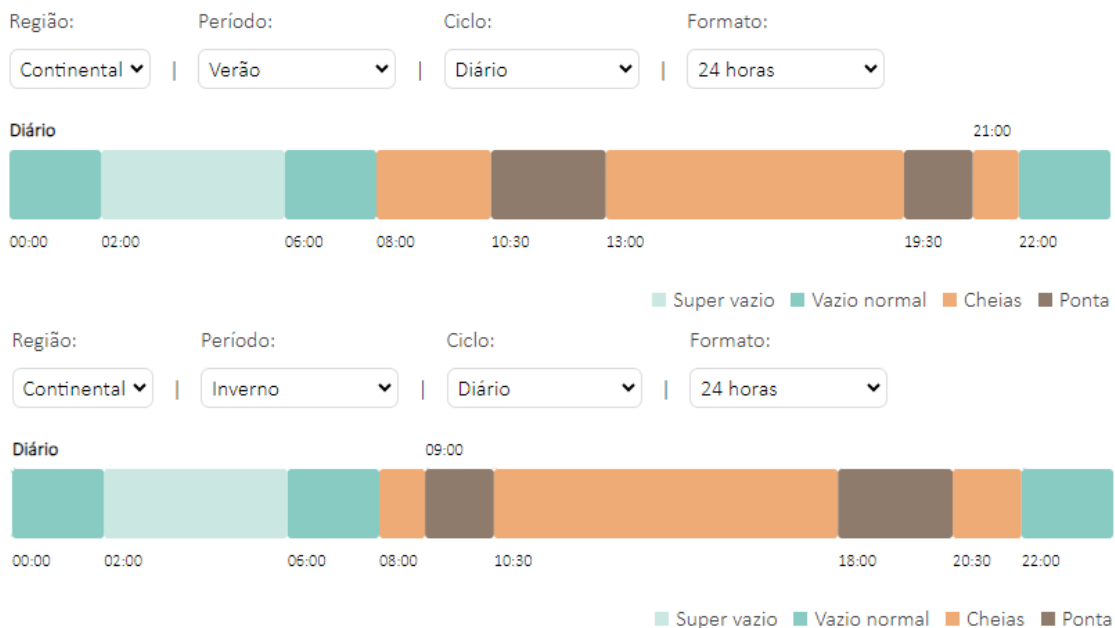


Figura 2.6 - Tarifários de energia em Portugal Continental[22]

Na Figura 2.7 está presente apenas o ciclo bi-horário, salientando as horas dos dois períodos de vazio e fora de vazio, que compõe esta tarifa.



Figura 2.7-Tarifário de energia bi-horário[23]

Além destes tarifários ainda existe o indexado, em que o preço por kWh é indexado à cotação do mercado diário de energia, definido pela OMIE, Operador do Mercado Ibérico de Energia, que é o operador que faz a gestão do mercado ibérico de energia, sendo que o consumidor final paga, a cada hora, o preço real da energia, mais um valor pela gestão do seu contrato.

## 2.5.Mercados P2P e *blockchain*

Impulsionado pela liberalização do mercado energético, a produção distribuída está a ter um crescimento baseado num princípio de mercado entre pares, (*peer-to-peer* ou P2P), todos podem negociar com todos, ou seja, o negócio da transação energética pode ser feita entre consumidor e prosumidor, prosumidor e prosumidor, retalhista e consumidor, entre outros. O objetivo é atingir um mercado equilibrado entre diversas partes e não é necessário um controlador central.

A tecnologia *Blockchain* facilitou a existência de transações P2P, possibilitando um suporte a transações, sem necessitar de regulador, permitindo que dois prosumidores troquem energia entre si, com um modo de pagamento. A título exemplificativo, não compensa a um pequeno produtor e consumidor de energia, prosumidor, vender uma pequena quantidade de energia a cada 15/20 minutos. Em vez disso, será preferível ter um sistema totalmente automatizado e feito sem o envolvimento do prosumidor. Tal como no mercado grossista, nestas transações P2P, todos os contratos devem ter informação específica relativamente a dados como o montante de energia, preço, localização e período.

Enquanto no mercado grossista não se sabe quantas vezes a energia é comprada e vendida até atingir o consumidor final, no mercado P2P tem-se a vantagem que a compra pode ser feita diretamente ao produtor, que pode ser o nosso vizinho. Assim, a eficiência aumenta e o custo de transações diminui. Além disso, os utilizadores do mercado P2P não necessitam de pagar um contrato permanente ao distribuidor de energia, pagando somente uma taxa quando realizam alguma transação e se a estrutura da rede for propriedade do distribuidor.

Numa transação convencional de energia, o consumidor não paga mais pela sua localização. Porém, em transações P2P, os preços são ajustados de acordo com a distância entre comprador e vendedor. Se o comprador e vendedor se encontrarem na mesma microrredes, eles devem pagar uma quantia menor do que se estiverem em microrredes diferentes, pois o preço da distribuição é diferente. Os preços para entrega de energia em distâncias maiores é uma solução para aumentar a eficiência no transporte dado que as perdas na rede são menores.

Na Tabela 2.1 elencam-se algumas soluções propostas pela *blockchain* adaptadas a questões específicas do mercado de eletricidade e das microrredes.

**Tabela 2.1-Soluções propostas pela Blockchain[3]**

| <b>Questões específicas do mercado de eletricidade e das microrredes</b> | <b>Soluções que a <i>Blockchain</i> pode oferecer</b> |
|--|---|
| Transações entre pares   | Rede P2P  |
| Informação, segurança e privacidade                                      | Algoritmo de encriptação <i>hash</i>                  |
| Transação transparente   | Mecanismo <i>ledger</i> e algoritmo de consenso       |
| Cooperação com confiança   | Contrato inteligente e compensação por violação       |

### **2.5.1. Blockchain**

A tecnologia *Blockchain* foi criada em 2008 por Satoshi Nakamoto como um tipo de base de dados distribuída que guarda um registo de transações permanente e inviolável [24]. O objetivo deste capítulo é explicar como funcionam as transações *blockchain*, bem como tentar explicar algumas dúvidas sobre esta tecnologia.

A *blockchain* está intrinsecamente ligada à moeda digital *Bitcoin*. Esta, criada em 2008, por Satoshi Nakamoto, teve como objetivo ser a moeda de um sistema de pagamento P2P, ou seja, uma criptomoeda, que permite a transferência de ativos digitais sem a necessidade de um intermediário de confiança.

### **2.5.2. Protocolo de confiança**

O início da internet trouxe imensas novidades, entre elas, o *e-mail*, os media sociais, computação em nuvem e os primeiros dias da *IoT*. A internet foi responsável por muitas mudanças positivas como reduzir as barreiras dos meios de comunicação, novas formas de trabalho, entre outras coisas. Porém, ainda tem limitações que podem ser consideradas graves para negócios e atividades económicas [9].

Através da internet, podemos transacionar e trocar dinheiro sem a validação de uma “terceira parte”, ou seja, sem a validação de alguém que armazena os nossos dados que pode invadir a nossa privacidade [9].

Com o crescente aumento de transações no comércio online, estão a aumentar também as oportunidades para o crime cibernético. Recorrer a cartões de crédito pela internet é inseguro, os utilizadores têm de divulgar demasiada informação pessoal e as taxas podem ser demasiado altas [9].

Para resolver este problema, foi criada a criptomoeda Bitcoin, que, quando criada, foi pensada para ser a moeda de um sistema elétrico de transação entre pares a criptomoeda deve desejavelmente não ser controlada pelos países, e ter um conjunto de regras e formas de computações distribuídas, que assegurem a integridade dos dados trocados entre os milhões de dispositivos [9].

Foi possível através da *blockchain* a sociedade perceber as implicações que permitem a qualquer um criar confiança através de código inteligente. Através da *blockchain* é também possível fazer transações diretas entre duas ou mais partes, verificadas e autenticadas sem a presença de bancos ou cartões de créditos [9].

Instituições como bancos e governos estão a implementar a *blockchain* como um registo distribuído para revolucionar a forma como a informação é guardada e transmitida. Para as entidades bancárias, as vantagens são a velocidade, os baixos custos, a clara segurança que o sistema oferece, menos erros e eliminação de pontos centrais de ataque. É importante saber que nem sempre estas instituições utilizam criptomoedas para pagamentos, sendo que, algumas nem a favor das mesmas são [9].

### **2.5.3. Transações**

As transações na *blockchain* foram pensadas para que fossem visíveis em todos os nós na rede, ou seja, não existe uma terceira parte a verificar as transações, o poder é distribuído pela rede. As transações são guardadas em série, cronologicamente em blocos, assim que a transação é verificada. De modo a encriptar e tornar à prova de hackers a informação nas bases de dados é usada criptografia [9].

A *blockchain* usa uma lista de registos pública, a *ledger*. A *blockchain* é capaz de criar, evoluir e observar um número imutável de transações. Num ponto de vista de negócios pode ser vista como uma rede de trocas para transacionar valores e ativos entre partes, sem a assistência de um intermediário. Num ponto de vista legal a *blockchain* é um mecanismo de validar transações, sem intermediário. A sua sequência de processos pode ser vista na Figura 2.8 [9].

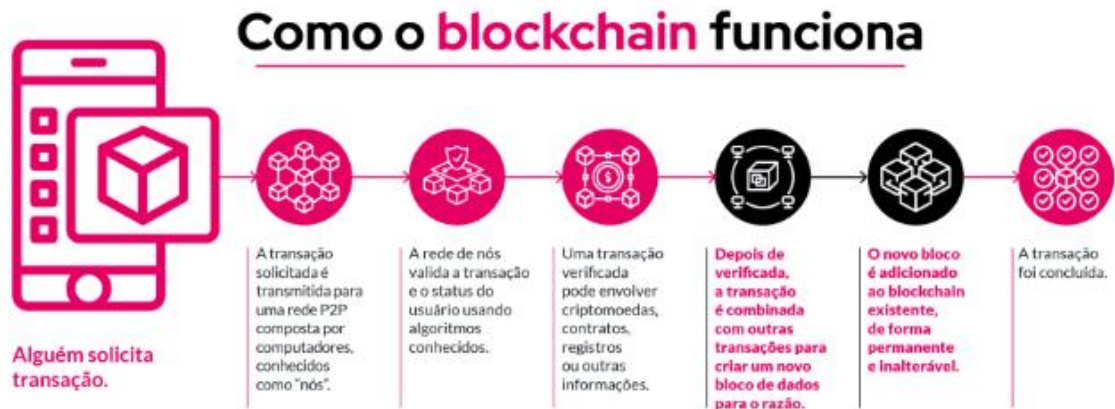


Figura 2.8-Transação Blockchain[25]

### 2.5.4. Funcionamento

A rede *blockchain* pode ser vista como uns blocos encadeados, sendo constituída pelos registos de todas as transações que foram feitas, da mais antiga para a mais recente. Os blocos nunca podem ser eliminados, o que faz com que a rede cresça a cada momento com as novas adições de blocos e com os registos de novas transações. A adição de um novo bloco na cadeia, requer a verificação das transações nesse bloco.

Quando duas partes concordam com a transação ela tem em detalhe a informação relativa à transação, como quem envia e quem recebe a mesma. A informação é criptografada e distribuída para cada nó. Um nó é um computador conectado à rede *blockchain*, que coleciona novas transações, valida-as e insere-as como válidas num bloco que tem de ser verificado antes de ser adicionado à *blockchain*.

### 2.5.5. Tipos de aplicação da *blockchain*

A *blockchain* é utilizada indiretamente pelas pessoas, sendo que elas podem nem saber que a mesma está por trás dos produtos que utilizam. Um exemplo disso é a Bitcoin, que é uma aplicação baseada na tecnologia *blockchain*.

A criptomoeda Bitcoin foi a primeira aplicação da tecnologia *blockchain*, sendo que atualmente existem inúmeras possibilidades de aplicação desta tecnologia. Podem-se identificar quatro aplicações, a *blockchain 1.0*, que é a ligação com as criptomoedas, a *blockchain 2.0* que é a ligação com os contratos inteligentes, a *blockchain 3.0* que tem a ver com as aplicações distribuídas e a *blockchain 4.0*, que acompanha as soluções utilizáveis também na indústria 4.0, isto é computação em nuvem, *IoT*, trocas de dados, tecnologias de automação, etc.

Um exemplo da segunda geração da *blockchain* são os contratos inteligentes. Qualquer utilizador do sistema pode criar um contrato com as suas próprias regras e especificações. Um contrato inteligente consiste num código programado, um arquivo de armazenamento e

um saldo de conta. Os utilizadores podem enviar dinheiro ou dados para um contrato. Este será validado consoante as regras do sistema. Todos os dados são públicos e ninguém pode ser impedido de enviar transações e obter sua inclusão na *blockchain*.

Os acordos de um contrato inteligente são semelhantes aos da Bitcoin, porém com algumas diferenças. Enquanto que na Bitcoin a transação apenas pode ser feita por uma entidade que tenha em sua posse uma chave privada, num contrato inteligente a transação pode ser criada por uma conta de contrato e tem o seu próprio código armazenado na conta. A transação de um contrato inteligente pode conter tanto dados como valor.

Há imensos benefícios nos contratos inteligentes baseados em *blockchain*. Um contrato inteligente destes oferece velocidade e precisão nos negócios e o risco de manipulação e não cumprimento é praticamente nulo. Além disso não são necessários intermediários de terceiros para garantia de confiança. Os contratos inteligentes podem reduzir custos, pois não necessitam de verificação nem de intervenção humana. Com os contratos inteligentes podem criar-se modelos de negociação como unidades de energia renovável P2P ou acesso automatizado a veículos e unidades de armazenamento.

Relativamente às aplicações descentralizadas, estas são aplicações que representam contratos entre a rede e os utilizadores, nas quais corre um registo distribuído. O que torna estas aplicações interessantes é que nenhuma organização controla os contratos ou tem direitos dos mesmos, todas as decisões são tomadas em consenso entre os utilizadores com base no código computacional.

Uma aplicação descentralizada deve ter o seu código a correr numa rede P2P descentralizada, deve operar autonomamente e adaptar o seu protocolo ao *feedback* e às propostas do mercado, sendo que as mudanças devem ser decididas em consenso com os utilizadores. Os dados de registo da operação da aplicação têm de ser armazenados numa *blockchain* pública. A aplicação deve utilizar um *token* e a contribuição deve ser feita com os *tokens* da própria aplicação. Um *token* é um bem virtual, que tem um certo valor no contexto que é utilizado. Normalmente os tokens são gerados por criptomoedas que utilizam a tecnologia *blockchain* e podem ser vistos como cartões de oferta específicos de uma loja [26].

## **2.6. Estado da arte/trabalhos relacionados**

Neste subcapítulo serão expostos os projetos com *blockchain* aplicada ao SEE. Como foi visto anteriormente, a *blockchain* tem muito potencial para mudar a maneira como se organizam, se registam e se verificam as transações, sejam elas quais forem. Atualmente grupos globais apostam na *blockchain* tendo como foco a otimização entre trocas energéticas P2P, mas, muitos destes projetos ainda estão em fase de desenvolvimento, sendo vistos como o futuro do mercado energético [9].

### 2.6.1. Projetos de transações P2P pelo mundo

#### **Piclo:**

O projeto Piclo foi estabelecido no Reino Unido. Resultou de uma colaboração entre uma empresa de tecnologia inovadora, a *Open Utility*, e um fornecedor de energia renovável, a *Good Energy*. Aqui os consumidores empresariais podem comprar eletricidade diretamente das fontes de energias renováveis locais. Foram usados os dados medidos em tempo real, os preços de geração e as informações de preferência a cada meia hora para combinar a procura [3].

O Piclo chegou a Portugal, através de um acordo com a E-REDES em novembro de 2022 para o primeiro mercado local de flexibilidade em Portugal. O processo de transações nesta plataforma envolve os seguintes passos [27]:

- Registo na plataforma: Os participantes podem ser produtores ou consumidores, residenciais ou industriais;
- Oferta de serviços de flexibilidade: Os participantes e utilizadores podem oferecer serviços de flexibilidade, como ajuste de carga, armazenamento de energia e resposta à procura;
- Leilões ou negociação direta: A plataforma pode facilitar a negociação por meio de leilões, onde os utilizadores tem a vantagem de ter serviços de flexibilidade ao melhor preço. Pode também haver negociação direta entre consumidor e fornecedor;
- Contratos e termos: Quando há acordo estabelecido as partes envolvidas celebram um contrato, em que os termos podem incluir a quantidade de flexibilidade fornecida, a duração e outras condições que sejam necessárias;
- Execução em tempo real: Estando o contrato assinado e estabelecido os serviços são realizados em tempo real;
- Monitorização e relatórios: A plataforma fornece relatórios e monitorização dos dados de consumo e produção em tempo real;
- Compensação financeira: Estando as transações realizadas os participantes são recompensados financeiramente de acordo com o valor acordado;
- Análise e otimização: Os participantes podem analisar os diversos dados após ocorrer as transições, de modo a otimizar as faturas futuras, ajustar a estratégia e ajudar nas participações de mercado.

O projeto Piclo conta com um total de 65 milhões de euros em contratos de flexibilidade concedidos, clientes e projetos em já 6 países, uma capacidade flexível adquirida de 1,1 GW e uma capacidade flexível registada de mais de 16GW, sendo estes dados registados no período entre 2019 e 2022 [27].

#### **PeerEnergyCloud:**

O PeerEnergyCloud, implementado na cidade de Saarlouis, Alemanha é um projeto composto por cerca de 500 unidades residenciais e vários sistemas fotovoltaicos. É um

projeto que tem como objetivo a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias baseadas em nuvem, isso inclui o estabelecimento de um mercado virtual para o comércio local de eletricidade, bem como a conceção e desenvolvimento de processos inovadores de registo e previsão dentro de uma microrrede. A integração de sensores e atuadores locais nas instalações do utilizador final, por meio de uma linha de fibra ótica protegida separadamente, permite que os serviços de nuvem da microrrede inteligente utilizem os dados de uso em tempo real para fins de previsão. Se os dados selecionados forem cedidos voluntariamente pelo consumidor para uso posterior, o utilizador pode receber serviços adicionais de valor acrescentado, tais como auditorias energéticas, proteção de propriedade/monitorização de edifícios, por fornecedores associados [28].

### **Vandebrom:**

*Vandebrom* é uma plataforma online criada e utilizada na Holanda onde os consumidores de energia podem comprar diretamente energia elétrica aos produtores independentes, como por exemplo, agricultores com turbinas eólicas [3].

Este sistema é muito semelhante ao Piclo pois atua como fornecedor de energia que interliga consumidores e geradores [3].

Uma das prioridades dos criadores deste projeto é tentar garantir que a energia utilizada é 100% verde, incluindo investimento em armazenamento, procurando o balanço constante entre as disponibilidades de geração e o consumo [29] [30].

### **Yeloha e Mosaic:**

Yeloha e Mosaic são dois projetos nos EUA. Estes projetos estão mais focados em consumidores residenciais, como proprietários de apartamentos e outros sem capacidade de ter sistemas solares renováveis, partilhando com eles recursos renováveis, e oferecendo uma redução nas contas de energia [3].

O Yeloha era uma empresa que queria criar uma plataforma de partilha de energia solar entre vizinhos. O objetivo era permitir que aqueles que não tinham acesso direto à energia solar pudessem consumir da produção da sua vizinhança. Relativamente ao modo de funcionamento, o individuo que alocava a geração ficava com uma porção de energia sem custos, enquanto que quem financiava o projeto tinha uma redução de custos na sua fatura da energia, sendo este desconto variável com o valor do investimento. A firma acabou por falir em 2016, e, segundo o seu CEO, Amit Rosner, a falência ocorreu por razões de instabilidade regulamentar e dificuldade em encontrar financiamento [31].

### **SonnenCommunity:**

O projeto *SonnenCommunity* é desenvolvido por um fabricante de armazenamento de energia, principalmente baterias, designado *SonnenBatterie*.

A *SonnenCommunity* é uma comunidade de proprietários de equipamentos da *SonnenBatterie* que podem partilhar energia entre eles. Com uma *SonnenBatterie* e um sistema fotovoltaico, os membros desta comunidade podem cobrir completamente a sua própria necessidade energética, disponibilizando os excedentes num *pool* de energia virtual que satisfaz outros membros em momentos que estes não produzam energia suficiente para o seu consumo [3].

Um *software* central, desenvolvido pela *Sonnen*, conecta e monitoriza toda a comunidade *Sonnen*, que é formada por prossumidores distantes entre si, enquanto equilibra a oferta e a procura de energia [3].

### **TransActive Grid**

A *TransActive Grid* é uma comunidade de mercado energético e a combinação entre o *software* e o *hardware* onde os membros podem comprar e vender energia uns dos outros. A operação é feita de forma segura e automática usando contratos e tecnologia Blockchain.

O protótipo atual utiliza a moeda Ethereum e está localizado nos Estados Unidos, mais propriamente em Brooklyn, Nova Iorque, podendo os consumidores escolher de onde é proveniente a energia renovável que querem comprar.

Os produtores de energia doméstica podem vender o seu excedente para os seus vizinhos e as comunidades podem manter os recursos energéticos locais, reduzindo a dissipação e aumentando a eficiência da micro e macro rede [3].

### **Electron**

O projeto *Electron* é uma nova plataforma para sistemas de medição e faturamento de gás e eletricidade, que está ainda em desenvolvimento no Reino Unido.

É uma plataforma completamente segura, transparente e descentralizada que terá como base a tecnologia *blockchain* e fornece uma forma de medição segura e métodos de cobrança e serviços de transações através de contratos inteligentes. A plataforma será de código aberto e operará para o benefício de todos os utilizadores, não sendo controlada por fornecedores ou por corretores [3].

#### **2.6.2. Projetos de transações P2P nacionais**

Tal como a nível mundial, Portugal tem também alguns projetos de transações entre comunidades de energia, como o da COMSOLVE em Ílhavo ou a freguesia de São Luís no Alentejo, estando o projeto da COMSOLVE bastante mais adiantado.

A COMSOLVE: COMunidade de energia SOLar com integração de Veículos Elétricos tem como objetivo desenvolver soluções para CER, Comunidade de Energia Renovável, com a

integração de veículos elétricos na rede. A iniciativa foi desenvolvida pela empresa Digitalmente, que conta com o apoio da Coopérnico, do Instituto de Telecomunicações, da junta de freguesia de São Salvador em Ílhavo, da Câmara municipal de Ílhavo e ainda da Magnum Cap. Este projeto está implementado em Ílhavo, onde será implementada uma unidade de produção energética fotovoltaica para autoconsumo e onde terá também um carregador para os VE [32].

Enquanto projeto que procura desenvolver soluções de gestão para CER, o COMSOLVE aposta na criação de um ecossistema de partilha centrado no papel dos prosumidores. Neste contexto, em que entidades e cidadãos são simultaneamente produtores e consumidores, a iniciativa foca-se em três aspetos: integração de sistemas de armazenamento de energia com base em baterias de segunda vida, inclusão de carregadores de veículos elétricos, e garantia de transações de energia seguras [32].

Relativamente às transações de compras e venda de energia, o COMSOLVE utiliza tecnologias de *blockchain* para potenciar modelos de negociação P2P. O projeto prevê também o desenvolvimento de uma plataforma para gerir toda a energia elétrica no ecossistema, incluindo a relativa ao carregamento de veículos elétricos. Além dessas tecnologias, a plataforma vai recorrer ainda à inteligência artificial para melhorar a previsão de consumos, com base nos perfis de consumo e nas preferências de vários utilizadores [32].

A entidade gestora terá o papel de otimizar o balanço energético da comunidade, avaliando em tempo real o preço de compra e venda da eletricidade à rede de distribuição e tomando decisões de armazenamento, compra de energia para consumo futuro ou venda de excedente produzido. Um grande objetivo deste projeto é incentivar os cidadãos à participação na transição energética. A inclusão de veículos elétricos é um ponto positivo no ponto de vista do organizador, a Coopérnico, sendo que a COMSOLVE estará a propiciar benefícios ambientais, económicos e sociais aos seus membros e às localidades onde opera em vez de lucros financeiros [32].

## 3. Metodologia e Desenvolvimento

Neste capítulo, será apresentada a metodologia para o estudo e simulação de transações entre pares nas comunidades de energia, além disso será feito um desenvolvimento, apenas individual relativamente a cada um dos exemplos metodológicos, como se verá adiante.

Com esta dissertação, pretende-se estudar uma potencial comunidade de energia, sendo a mesma composta, no máximo, por quatro elementos, onde cada elemento produz e consome energia, os chamados prossumidores. As microrredes e a operação individual têm vantagens e desvantagens, porém as microrredes podem reduzir significativamente os custos de energia e melhorar a resiliência da rede. A maioria dos modelos de operação existentes para microrredes que existem têm dificuldade em garantir os interesses individuais e focam-se nos interesses coletivos [33], o que constitui o principal interesse deste trabalho.

Serão estudados diversos cenários de interesse para a comunidade, como se verá no capítulo 3.4, considerando padrões específicos de produção e consumo de prossumidores, de modo a explorar a rentabilidade da comunidade.

### 3.1. Produção de energia

Tendo em consideração a produção de energia apenas se considerou viável a produção de energia fotovoltaica em ambiente residencial, sendo assim necessário ter um modelo credível de geração ao longo do tempo. Para se obter esse modelo, recorreu-se ao PVGIS<sup>1</sup>, que possui uma base de dados de insolação de toda a Europa e consegue simular a produção tendo em atenção outros aspetos como a inclinação dos painéis e a altura ao solo. O PVGIS foi criado e desenvolvido pelo Centro Comum de Investigação Europeia, sendo a sua primeira versão criada em 2001, na cidade de Ispra, na Itália [35].

Para se analisar uma variação mensal, utiliza-se como exemplo o dia central de cada mês, isto é, dia 15, desde que ocorra em dia útil. Na eventualidade de calhar num dia não útil, é estudado o dia útil seguinte. Assumiu-se Leiria como local de estudo, tendo-se testado várias inclinações e valores de azimute para tentar obter a melhor rentabilidade possível antes de se estabelecer os dados de produção finais. Na Figura 3.1. pode-se ver a localização, bem como a página de interface do PVGIS.

---

<sup>1</sup> [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

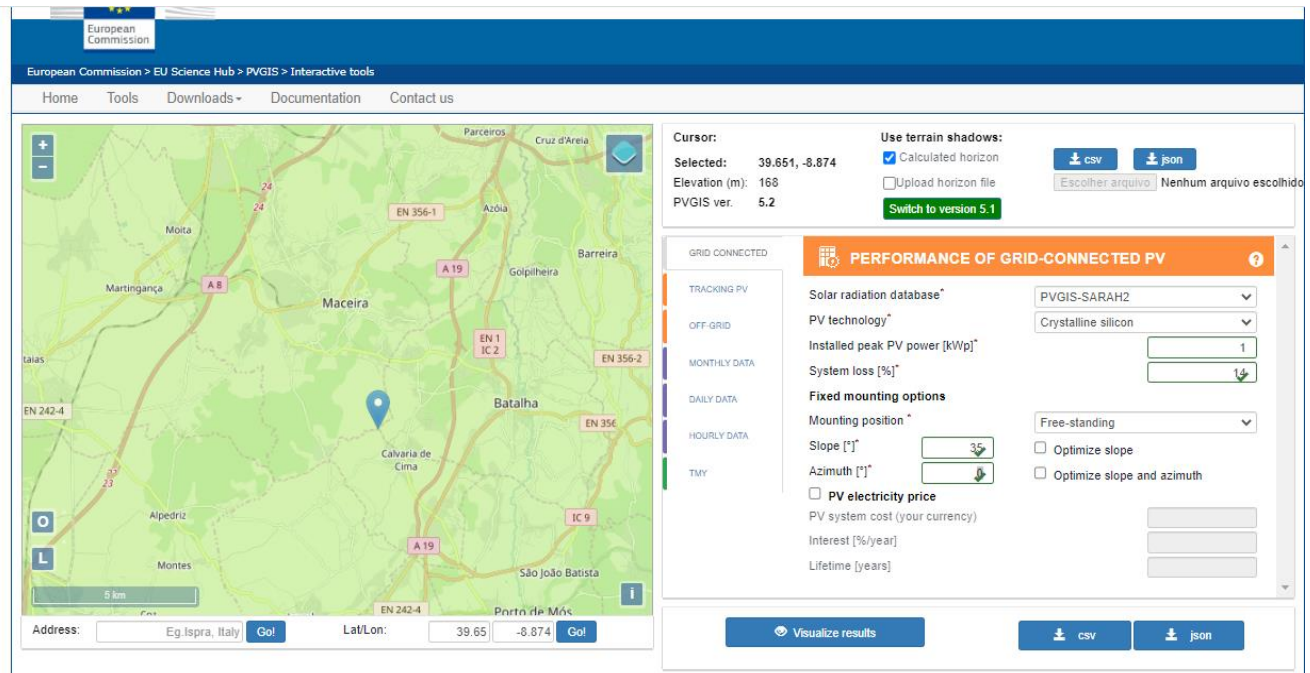


Figura 3.1-PVGis

A partir da estimativa de produção diária para o ano de 2019, no local assumido pelo PVGIS, determinaram-se as produções para os dias centrais de cada mês, ou seja, o dia 15, desde que ocorresse em dia útil, tal como referido anteriormente. Recorreu-se ao ano de 2019 pois foi um ano sem pandemia e sem guerra e, poderia necessário um ano estável para o caso de se utilizar tarifários indexados.

A Figura 3.2. ilustra a estimativa diária de produção de um sistema de 1kW de pico para o ano de 2019.

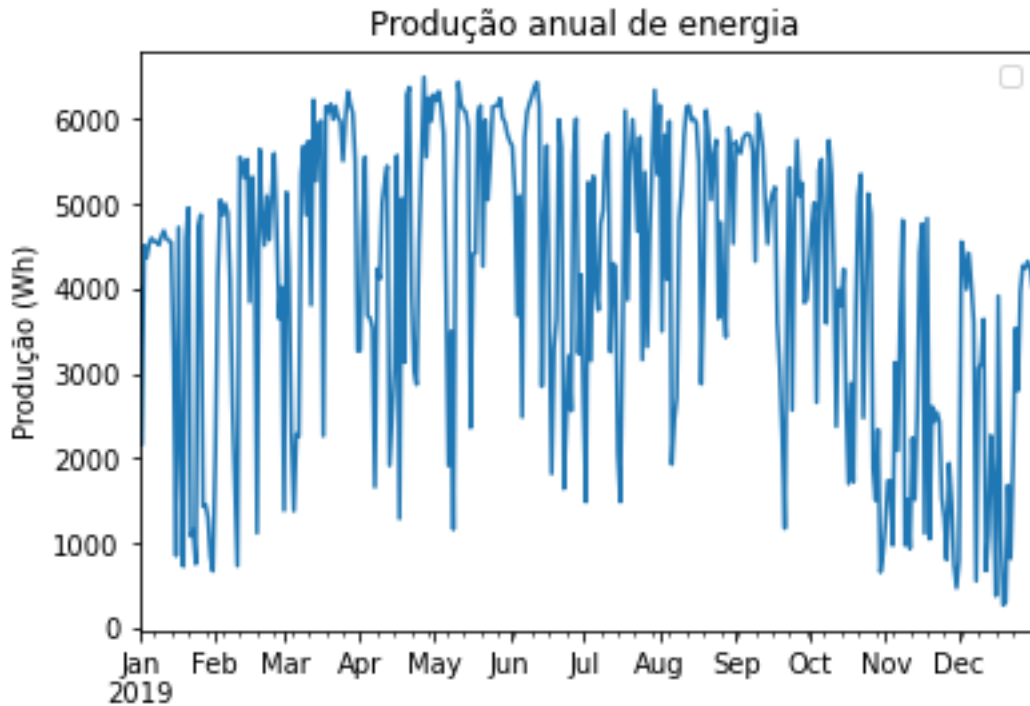
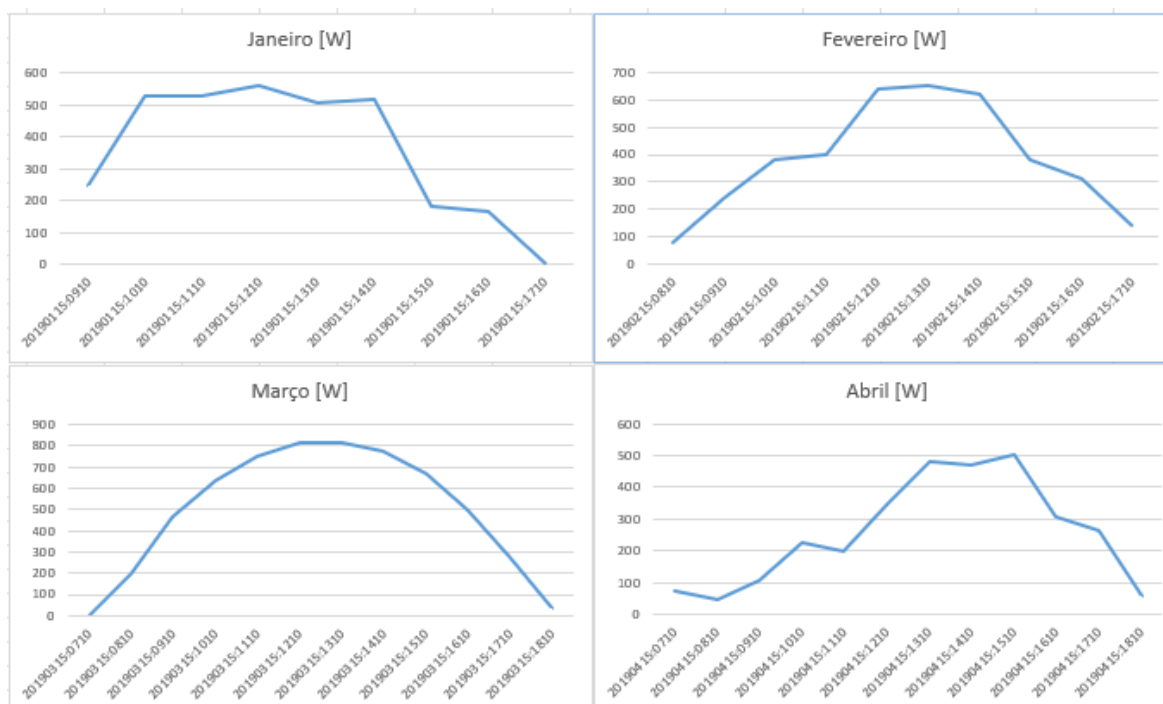


Figura 3.2-Produção de energia diária em 2019

A Figura 3.3 ilustra a produção de energia estimada para o dia pretendido nos primeiros quatro meses do ano. Os dias escolhidos para representar cada mês foram o dia 15, visto ter calhado em dias de semana e não ser necessário recorrer ao dia útil seguinte. É através destes dias que são calculados os restantes dias do mês. Nestes primeiros quatro meses também se pode notar que a produção nestes dias é muito semelhante, sendo que o pico da produção vai entardecendo com o aumentar dos meses, até ao solstício de verão, ou seja, a título exemplificativo, em janeiro, o pico ocorreu mais cedo do que em abril. Com esta abordagem de considerar apenas um dia para representar o mês, pode ocorrer uma incerteza que é natural uma vez que a produção não é constante de dia para dia. Porém, dado que se realiza uma análise de um dia de cada mês, já serve como um bom indicativo para o estudo que se está a realizar.

## Transações entre pares em comunidades de energia



**Figura 3.3-Produção primeiros quatro meses ano**

A Figura 3.4 ilustra a evolução ao longo do dia escolhido para a produção de energia nos meses de maio a agosto. A produção ocorreu no dia 15 para os meses de maio, julho e agosto. Em junho, a mesma foi feita no dia 17 dado que o dia 15 de junho de 2019 se tratou de um dia de fim de semana, mais concretamente, um sábado. Assim sendo, utilizou-se o critério de aplicar o dia de semana seguinte. Há que salientar, paralelamente, que o dia representativo do mês de julho foi um dia de produção bastante baixa, relativamente à altura do ano em que nos encontrávamos. Sendo que o critério seria sempre o dia 15 de cada mês, este resultado era uma ilação possível.

## Transações entre pares em comunidades de energia

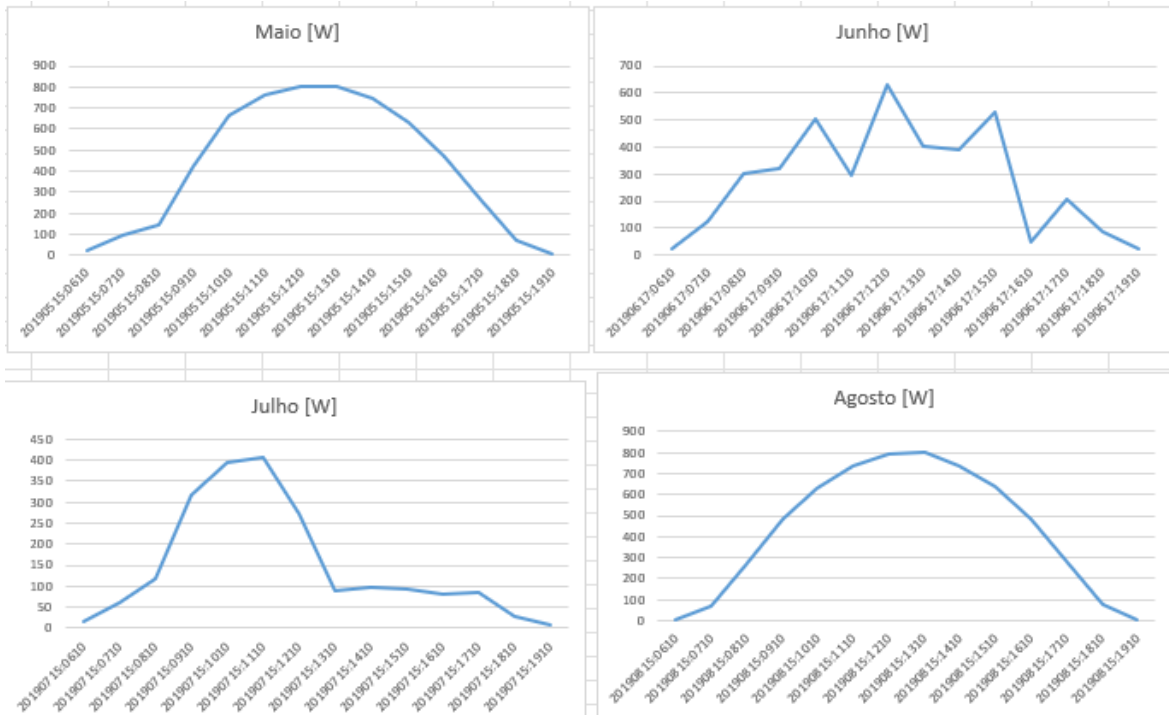


Figura 3.4-Produção maio a agosto

Por fim, na Figura 3.5 tem-se a estimativa de produção dos últimos quatro meses do ano, onde o mês de outubro e novembro calharam no dia 15 e os meses de setembro e dezembro no dia 16. O mês de dezembro revela-se aquele com menor produção diária, tal como reflete este dia, o que vai de acordo com o que seria esperado para este mês do ano.

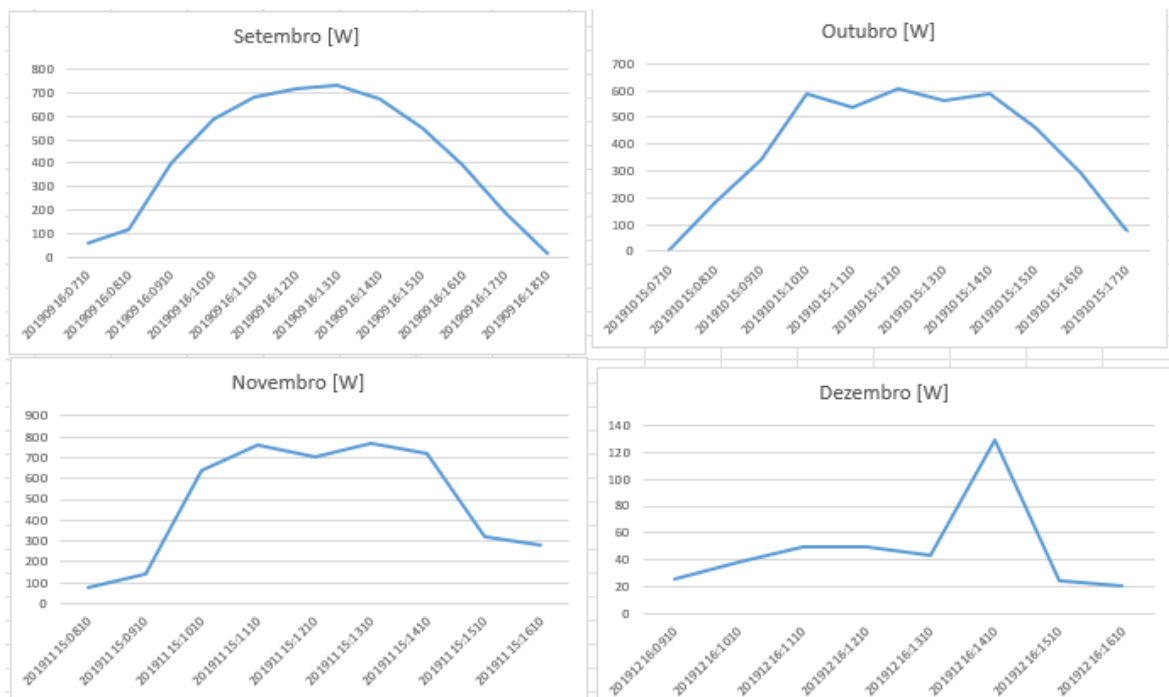


Figura 3.5-Produção setembro a dezembro

Os custos de um sistema solar fotovoltaico foram determinados com base nos preços à data obtidos no site Damia Solar<sup>2</sup>, estando apresentados na Tabela 3.1 para diferentes potências de pico a usar. Não obstante este preço não ser o melhor que o mercado pode oferecer, neste caso, estes valores dão informação suficiente para proceder a uma análise de viabilidade comparativa.

Cada um destes kits de sistemas solares traz painéis necessários para corresponder à sua potência de pico, um inversor de rede, as diversas estruturas necessárias para proceder à montagem bem como os respetivos acessórios.

Tabela 3.1-Preços dos sistemas fotovoltaicos[36], [37], [38],[39],[40]

| Potência instalada(kWp): | Custo do sistema: |
|--------------------------|-------------------|
| 1                        | 1199,00 €         |
| 2                        | 2199,00 €         |
| 3                        | 2914,00 €         |
| 5                        | 4764,00 €         |
| 8                        | 8033,00 €         |

<sup>2</sup> <https://www.damiasolar.com/pt/>

### 3.2. Perfis de consumo de energia

De modo a obter dados para os consumidores, usou-se como base um modelo proposto por Richardson [34]. Neste modelo, os dados da ocupação ativa são gerados de modo sintético, com base em dados de pesquisa de uso do tempo das pessoas no Reino Unido. Uma técnica baseada em cadeia de Markov é depois usada para gerar os dados sintéticos, de modo a que tenham as mesmas estatísticas gerais que os dados originais da pesquisa [34].

O modelo tem como base uma vasta pesquisa sobre o modo como as pessoas usam o seu tempo, que foi realizada no Reino Unido, no ano 2000, conhecida como o *Time Use Survey* (TUS). Nessa pesquisa, foram obtidos diários detalhados de 24 horas, concluídos em resolução de 10 minutos por muitos milhares de participantes. Os dados incluem a localização dos participantes, a cada 10 minutos diários, podendo assim ser utilizados para identificar o número de ocupantes ativos de uma casa [34].

A proporção de casas com, pelo menos, um ocupante ativo, para cada período diário de dez minutos, foi somada em grupos de dias da semana e fins de semana. Os resultados estão visíveis na Figura 3.6. As curvas exibem várias características esperadas, incluindo níveis muito baixos de atividade durante a noite, atraso no despertar aos fins de semana e picos correspondentes ao pequeno-almoço, almoço e à noite. Além disso, é interessante notar que este perfil tem uma notável semelhança com um perfil típico de consumo doméstico de eletricidade o que, claramente, demonstra que o consumo de eletricidade é baseado na ocupação ativa da casa [34].

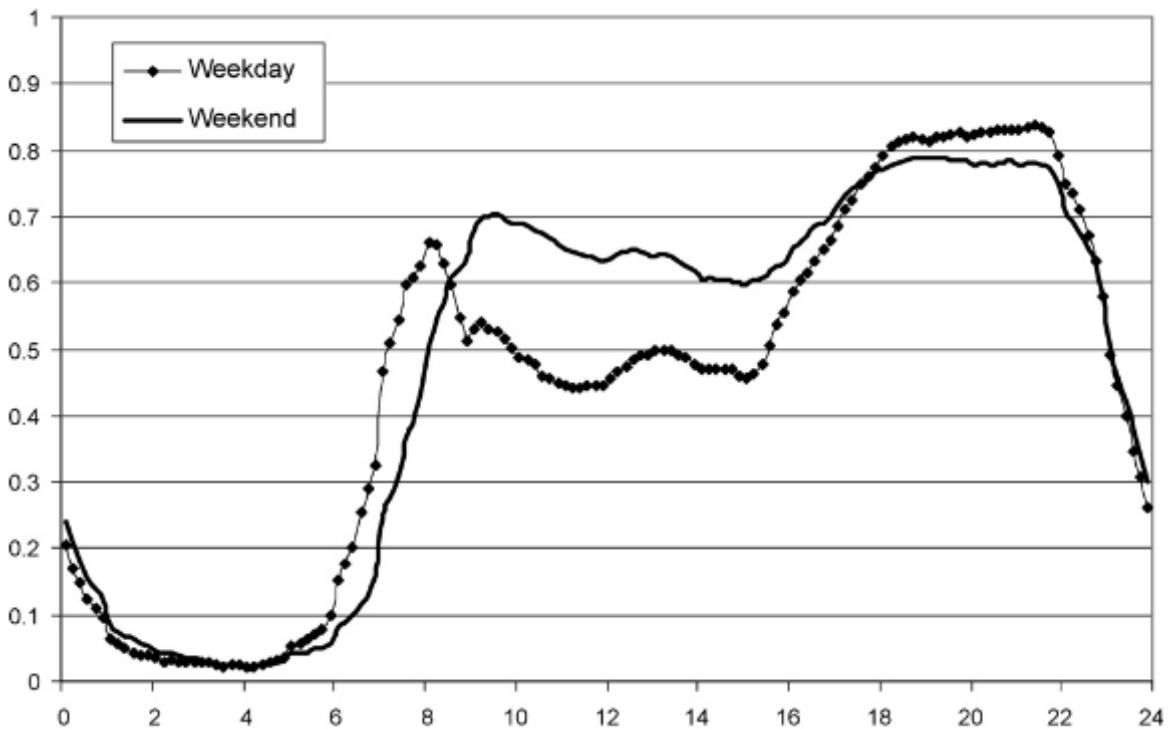


Figura 3.6—Ocupação ativa agregada para todos os participantes da pesquisa[34]

Um exemplo de quatro execuções do modelo para uma casa com duas pessoas, num dia da semana, está expresso na Figura 3.7. Cada execução é diferente devido aos números aleatórios usados na geração estocástica, contudo, todas as execuções são baseadas na mesma transição de matrizes de probabilidade e, portanto, exibem características semelhantes. Pode-se observar que os ocupantes se levantam normalmente pela manhã, saem de casa pouco tempo depois, possivelmente, retornam para o almoço e regressam à noite. A comparação dos padrões de ocupação proporciona uma primeira indicação de que o modelo está a funcionar conforme o esperado: mostrando baixos níveis de atividade à noite e aumento dos níveis pela manhã e à noite. A validação mais completa do modelo foi efetuada pela sua execução num número muito grande de vezes e a obtenção de estatísticas, posteriormente, comparadas com os dados originais do TUS [34].

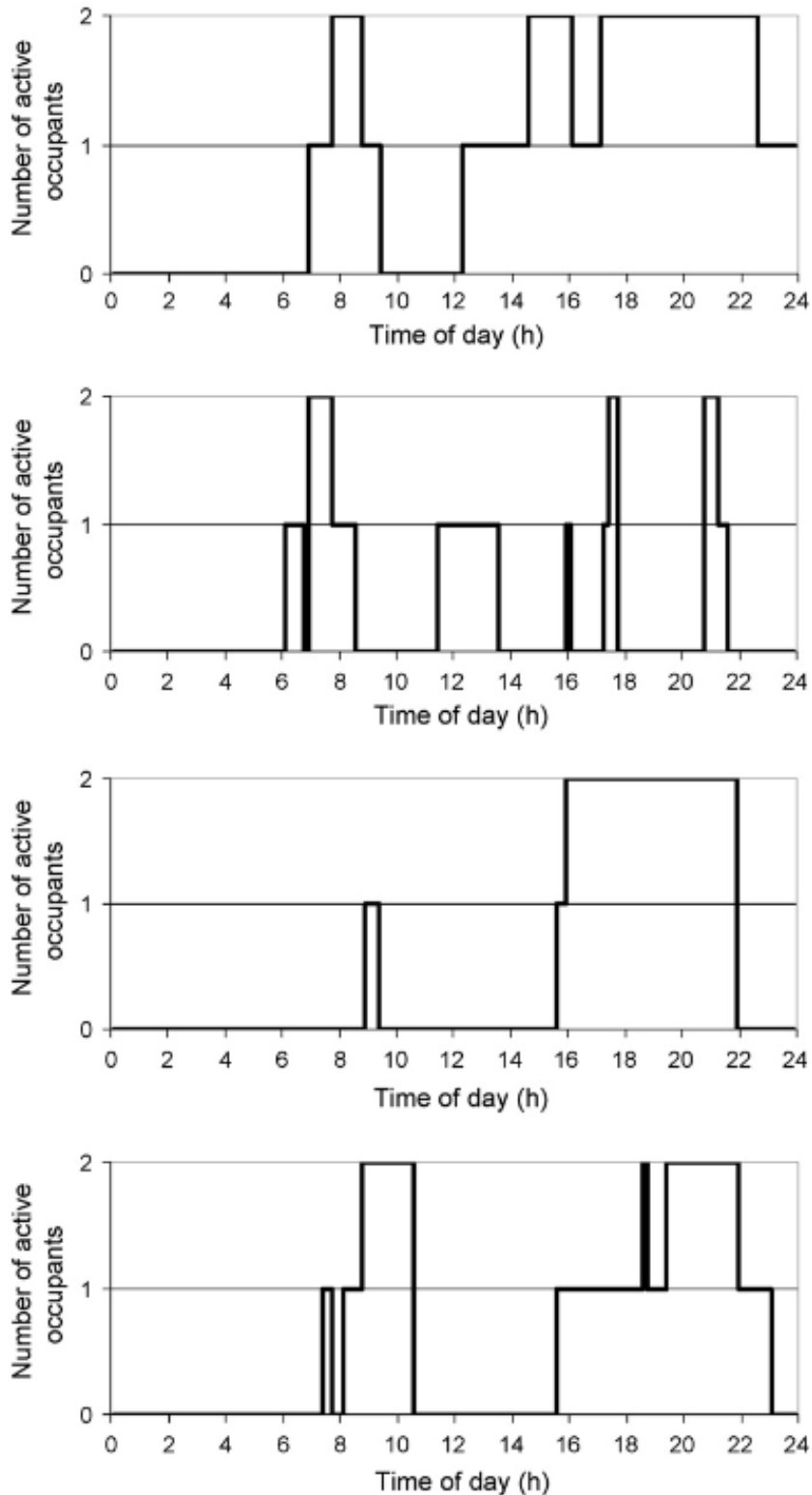


Figura 3.7-Quatro exemplo do modelo de Richardson com 2 ocupantes[34]

Uma comparação do resultado do modelo agregado com os dados do TUS é visível na Figura 3.8 para dois moradores residentes, para cenários de fim de semana e dia da semana. Isso mostra a proporção de ocupantes ativos em 2.000 casas dos dados do TUS, em comparação

com a proporção de ocupantes ativos em 10.000 casas, conforme gerado pelo modelo. Em termos do perfil de ocupação ativa, agregada para um grande número de casas, a Figura 3.8 confirma que os resultados da simulação resultam num perfil de ocupação ativa idêntico aos dados do TUS. A estreita correlação entre o resultado do modelo e os dados do TUS também é observada ao realizar comparações de casas com outros números de residentes [34].

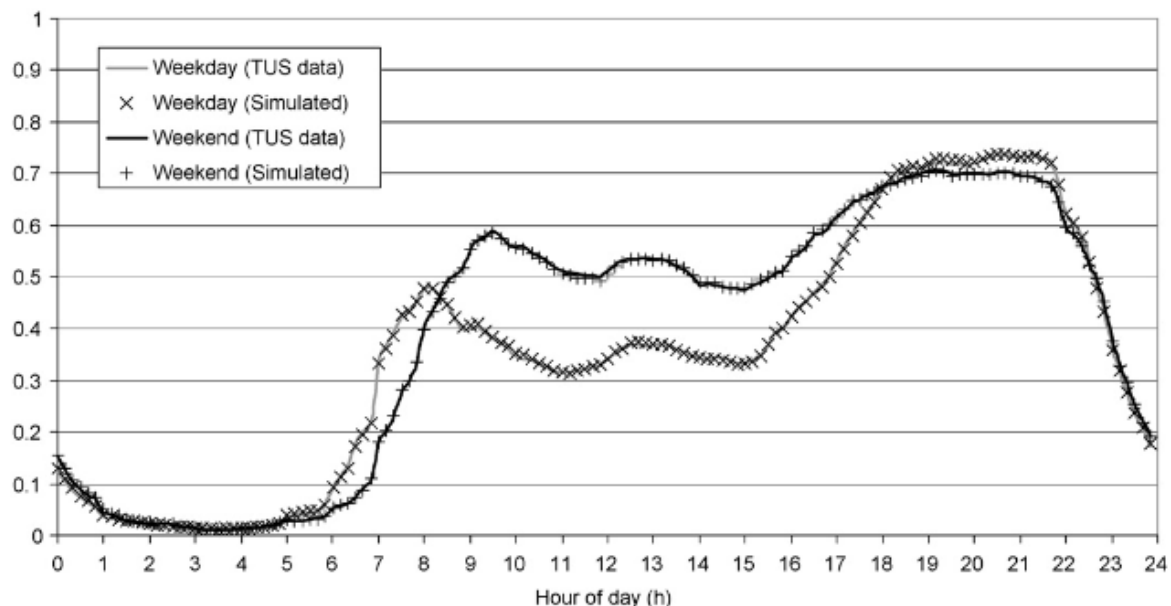


Figura 3.8-Comparação TUS com modelo Richardson[34]

O modelo de Richardson é disponibilizado de modo gratuito como um ficheiro do Microsoft Excel com macros. Para além dos modelos de consumo, seria possível usar os dados de irradiância que os acompanha para estimar a produção de energia, no entanto, preferiu-se usar estimativas de produção solar em Portugal, utilizando ferramentas mais indicadas para o efeito. Apesar dos dados de consumo terem sido determinados com base em estatísticas do Reino Unido, provavelmente bastante diferentes de dados relativos a Portugal, a escolha deste modelo foi assumida por ser um modelo controlável e realista, e porque o objetivo do trabalho é acima de tudo metodológico.

Neste modelo, é possível simular os consumos tendo em conta o que se pretende. Basta colocar o número de membros ativos na casa, o tipo de dia de semana (dia útil ou um dia de fim de semana), bem como o mês a usar na simulação, como foi já referido na explicação do modelo.

Assim, foram criados quatro perfis aleatórios de consumo utilizando o modelo de Richardson. Cada perfil corresponderá a uma habitação, pertencente a uma comunidade energética cujo funcionamento se pretende simular. Assumiu-se a mesma zona habitacional, logo com a mesma irradiância solar em todos os casos.

### 3.3. Prossumidores

Neste subcapítulo será apresentada a metodologia de definição de prossumidores, sendo, posteriormente, estudados os quatro prossumidores deste estudo. Será analisada a sua produção e respetivo consumo bem como a energia sobrando de cada um, nas diversas possibilidades que têm de instalação de produção. Aqui eles serão apresentados individualmente e não como comunidade, estando essa análise destinada ao capítulo respetivo, o Capítulo 4.

Todos os prossumidores foram determinados de modo semelhante, alterando aleatoriamente o consumo de cada casa, apesar de se manter sempre o número de habitantes e sendo realizada a simulação em dia de semana. Os dados da Tabela 3.2 mostram o número de habitantes que cada prossumidor tem em casa, sendo esse o valor máximo, que varia ao longo do dia, podendo haver alturas em que a casa possa estar vazia.

Tabela 3.2-Número de habitantes por prossumidor

| Prossumidor: | Número de habitantes: |
|--------------|-----------------------|
| 1            | 3                     |
| 2            | 5                     |
| 3            | 4                     |
| 4            | 5                     |

Foi desenvolvido um modelo de consumo para cada mês, que pode ser consultado para cada prossumidor nos Anexos, em que não se alterou nem o número máximo de habitantes da casa variando apenas a sua taxa de ocupação ao longo do dia nem se alterou ou acrescentou mais equipamentos a realizar consumo. Nos Anexos, encontram-se também os diversos modelos de consumo de cada mês de todos os prossumidores.

A produção de energia será estudada considerando várias potências de produção instaladas. Será estudado com 1kW e 2kW de pico, com os dados a ser determinados através da aplicação de um fator de escala aos dados originais, determinados para uma potência de pico de 1kW.

Não se utilizaram valores de potência de pico superiores a 2kW para nenhum prossumidor porque valores superiores ultrapassariam o período de retorno assumido como limite de viabilidade, de oito anos. Este limite baseou-se no valor estipulado na regulamentação de certificação energética de edifícios, por exemplo, no número 2, alínea d) do anexo do Despacho n.º 6476-D/2021, de 1 de julho, como se verá no capítulo 4.

De modo geral, tendo como objetivo calcular o período de retorno simples do investimento, ou *payback*, considerou-se o preço por kWh (pkWh) do período de fora de vazio do tarifário regulado em ciclo bi-horário, ou seja, 0,1898€/kWh, sendo esse o valor multiplicado por toda a energia produzida e utilizada pelo prossumidor ao longo do ano, de acordo com a equação em (3.1), em que Pa é a poupança anual e dm é o número de dias do mês m. Naturalmente que poderia ser utilizado outro valor, como o preço da energia do tarifário

simples, mas a opção baseou-se no facto de que a energia utilizada foi no período fora de vazio do ciclo bi-horário.

$$Pa(\text{€/ano}) = \sum_{m=1}^{12} (dm \sum_{h=1}^{24} Eu \times pkWh) \quad (3.1)$$

Relativamente ao modo como foi calculada a energia utilizada (Eu), inicialmente seguiu-se a fórmula apresentada em (3.2), em que é calculada a energia sobranete (Es), a cada hora. Considerando o resultado da energia sobranete ser positivo, opta-se pelo valor do consumo como o valor que o prosumidor, consegue aproveitar, ou seja, energia utilizada, ao invés, sendo negativo, passa a considerar-se o valor da produção, como mostra a equação (3.3).

$$Es(kWh) = \text{Produção} - \text{Consumo} (kWh) \quad (3.2)$$

$$Eu(kWh) = \text{Produção}, Es < 0, \quad Eu(kWh) = \text{Consumo}, Es > 0 \quad (3.3)$$

A produção anual é determinada pela soma da energia utilizada de todos os dias do ano, de acordo com (3.4).

$$Panual(kWh) = \sum_{m=1}^{12} (dm \sum_{h=1}^{24} Eu) \quad (3.4)$$

Relativamente ao consumo, o modelo proposto para o cálculo do mesmo tem como base o valor do consumo minuto a minuto. Para se converter as potências minuto a minuto em potências médias horárias, realizou-se a soma do valor dos 60 minutos de cada intervalo horário e dividiu-se pelo mesmo número de minutos, tal como é demonstrado em (3.5)

$$\text{Consumo}(kWh) = \frac{\sum \text{Consm}}{60} (kWh) \quad (3.5)$$

O payback (Pb) será determinado dividindo o valor do respetivo kit (Pk) pela poupança anual que o mesmo refletir à comunidade, tal como está em (3.6).

$$Pb(\text{anos}) = \frac{Pk(\text{€})}{Pa(\text{€/ano})} \quad (3.6)$$

### **3.4.Cenários**

Tendo em conta toda a informação descrita anteriormente, fazendo a variação das combinações dos diversos prossumidores, verificaremos diversos cenários. Serão três os cenários analisados, em que, em cada um, é alterada a potência total instalada tendo como objetivo analisar os diversos extremos da rentabilidade. Destarte, poderemos vislumbrar a que potência, variada em cada cenário, corresponde à realidade descrita em cada análise. Assim, esta análise permite compreender os extremos da rentabilidade, especificados em cada situação.

Cenário 1 – Combinação com dois prossumidores, onde são estudados o melhor e o pior caso, tendo em conta todas as diferentes combinações possíveis com dois prossumidores;

Cenário 2 – Combinação com três prossumidores onde, tal como no cenário 1, se estuda o melhor e o pior caso, tendo em conta as diferentes combinações que são possíveis realizar com os três prossumidores;

Cenário 3 – Combinação dos quatro prossumidores, onde apenas é possível realizar uma combinação, visto se tratar de uma comunidade no máximo com quatro elementos.

## 4. Análise de resultados

No presente capítulo, será descrita a análise dos cenários enunciados anteriormente, bem como os resultados individuais de cada prosumidor. O estudo vai ser feito quer em termos energéticos, calculando a energia que se irá poupar anualmente, quer em termos económicos, tendo em conta o tarifário bi-horário.

O objetivo principal desta variação de condicionantes é concluir a medida em que compensa a partilha de recursos pela comunidade sendo esse, afinal, o objetivo de estudo deste trabalho.

As transações neste mercado P2P serão feitas de forma aleatória. Em cada sessão, cada comprador é emparelhado com vendedores, de forma aleatória e iterativa até que toda a eletricidade seja adquirida ou que todos os potenciais vendedores tenham sido combinados. O mercado P2P com agentes inteligentes parece o melhor mecanismo de mercado pelo motivo de ter o preço médio da eletricidade mais baixo e maior entusiasmo de participação dos utilizadores finais.[33]

### 4.1. Análise energética individual

A produção de energia será estudada considerando várias potências de produção instaladas, neste caso, os prosumidores individuais serão estudados com 1kW e 2kW de pico, com os dados a ser determinados através da aplicação de um fator de escala aos dados originais, determinados para uma potência de pico de 1kW.

Analisou-se o *payback* do sistema fotovoltaico destes prosumidores individualmente, com as potências de pico de 1kW (Tabela 4.1) e de 2kW (Tabela 4.2). Daqui pode analisar-se que o prosumidor com melhor aproveitamento solar é o prosumidor 3 que, quer com a potência de 1kWp quer com a potência de 2kWp, consegue ser o prosumidor que mais energia aproveita relativamente à que produz e, portanto, no contexto comunitário será, possivelmente, o que menos irá contribuir com a sua produção. Em todos os prosumidores, o mês de dezembro é aproveitado na totalidade com a potência de pico de 1kW, o que terá todo o seu sentido pois a produção neste mês é baixa e, como tal, não será um mês em que a partilha de energia possa ser uma grande mais-valia. Porém, no caso da potência de pico de 2kW, o prosumidor 1 consegue ainda contribuir para a comunidade não gastando toda a sua energia produzida.

O prosumidor 2 revela-se o prosumidor que menor aproveitamento tem da energia que produz, independentemente da potência de pico. Será, assim, à partida o prosumidor que irá contribuir mais para a comunidade dado que não tem capacidade de consumir a energia que produz e será, similarmente, o prosumidor com maior tempo de pagamento de investimento, como se demonstrará adiante.

O prossumidor 1 e o prossumidor 4 têm uma energia aproveitada anual muito semelhante, quer com uma potência de pico de 1kW quer com 2kW, o que, certamente, se irá traduzir num hiato temporal de pagamento do kit bastante semelhante. Salienta-se ainda que o aumento da potência instalada no prossumidor 1 se traduziu num maior aumento de energia aproveitada comparativamente com o aumento de energia aproveitada no prossumidor 4.

Tabela 4.1-Energia aproveitada prossumidores (1kWp)

| Mês:             | Energia P1(kWh) | Energia P2(kWh) | Energia P3(kWh) | Energia P4(kWh) |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 78,5            | 100,4           | 47,6            | 62,8            |
| <b>Fevereiro</b> | 84,6            | 68,7            | 56,3            | 42,5            |
| <b>Março</b>     | 106,4           | 67,8            | 163,3           | 122,1           |
| <b>Abril</b>     | 75,6            | 56,0            | 81,1            | 49,2            |
| <b>Mai</b>       | 103,8           | 83,5            | 107,7           | 96,5            |
| <b>Junho</b>     | 85,9            | 53,7            | 83,1            | 102,3           |
| <b>Julho</b>     | 41,5            | 58,8            | 53,5            | 41,2            |
| <b>Agosto</b>    | 78,7            | 79,1            | 119,2           | 119,8           |
| <b>Setembro</b>  | 83,3            | 94,1            | 86,2            | 111,1           |
| <b>Outubro</b>   | 87,4            | 122,4           | 102,4           | 64,4            |
| <b>Novembro</b>  | 38,9            | 30,4            | 80,1            | 49,3            |
| <b>Dezembro</b>  | 11,8            | 11,8            | 11,8            | 11,8            |
| <i>Anual</i>     | 876,6           | 826,9           | 992,3           | 872,9           |

Tabela 4.2-Energia aproveitada prossumidores (2kWp)

| Mês:             | Energia P1(kWh) | Energia P2(kWh) | Energia P3(kWh) | Energia P4(kWh) |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 120,7           | 161,0           | 68,8            | 96,1            |
| <b>Fevereiro</b> | 111,6           | 103,3           | 83,4            | 50,0            |
| <b>Março</b>     | 145,9           | 77,5            | 257,9           | 179,4           |
| <b>Abril</b>     | 123,3           | 79,6            | 133,2           | 81,4            |
| <b>Mai</b>       | 148,0           | 96,1            | 162,7           | 116,5           |
| <b>Junho</b>     | 137,0           | 67,7            | 119,5           | 161,7           |
| <b>Julho</b>     | 65,6            | 103,3           | 91,0            | 62,1            |
| <b>Agosto</b>    | 94,3            | 101,0           | 130,8           | 162,0           |
| <b>Setembro</b>  | 128,9           | 116,4           | 94,3            | 142,0           |
| <b>Outubro</b>   | 118,1           | 187,9           | 166,8           | 83,0            |
| <b>Novembro</b>  | 54,5            | 37,6            | 111,4           | 60,5            |
| <b>Dezembro</b>  | 20,2            | 23,6            | 23,6            | 23,6            |
| <i>Anual</i>     | 1268,2          | 1155,0          | 1443,4          | 1218,4          |

## 4.2. Análise económica individual

Prosseguindo com a mesma linha de raciocínio da análise energética realizada previamente, na Tabela 4.3 e na Tabela 4.4, reflete-se a poupança com 1kWp e com 2kWp, respetivamente. Tal como no caso da poupança energética individual, o melhor prossumidor é o prossumidor 3 conseguindo, nas duas potências de pico, ter resultados superiores aos restantes membros da comunidade. O prossumidor 2 assume-se como o prossumidor que menos consegue poupar com o sistema anualmente e os prossumidores 1 e 4 têm uma poupança anual próxima, sendo que, como visto anteriormente, o prossumidor 1 é o único que não consegue aproveitar toda a energia que produz no mês de dezembro com a potência de pico de 2kW. Apesar disso, consegue, ao longo do ano, ter uma poupança superior ao prossumidor 4. O mês de julho, como se demonstra, tem uma poupança abaixo de junho e de agosto. Tal facto acontece, como visto anteriormente, uma vez que o dia escolhido para a produção reflete um dia com produção abaixo do possivelmente esperado.

Tabela 4.3-Poupança prossumidores (1kWp)

| Mês:             | Poupança P1(€) | Poupança P2(€): | Poupança P3(€) | Poupança P4(€) |
|------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 14,9           | 19,1            | 9,0            | 11,9           |
| <b>Fevereiro</b> | 16,1           | 13,0            | 10,7           | 8,1            |
| <b>Março</b>     | 20,2           | 12,9            | 31,0           | 23,2           |
| <b>Abril</b>     | 14,4           | 10,6            | 15,4           | 9,3            |
| <b>Mai</b>       | 19,7           | 15,9            | 20,4           | 18,3           |
| <b>Junho</b>     | 16,3           | 10,2            | 15,8           | 19,4           |
| <b>Julho</b>     | 7,9            | 11,2            | 10,2           | 7,8            |
| <b>Agosto</b>    | 14,9           | 15,0            | 22,6           | 22,7           |
| <b>Setembro</b>  | 15,8           | 17,9            | 16,4           | 21,1           |
| <b>Outubro</b>   | 16,6           | 23,2            | 19,4           | 12,2           |
| <b>Novembro</b>  | 7,4            | 5,8             | 15,2           | 9,4            |
| <b>Dezembro</b>  | 2,2            | 2,2             | 2,2            | 2,2            |
| <i>Anual</i>     | 166,4          | 156,9           | 188,3          | 165,7          |

Tabela 4.4-Poupança prossumidores (2kWp)

| Mês:             | Poupança P1(€) | Poupança P2(€): | Poupança P3(€) | Poupança P4(€) |
|------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 22,9           | 30,6            | 13,1           | 18,2           |
| <b>Fevereiro</b> | 21,2           | 19,6            | 15,8           | 9,5            |
| <b>Março</b>     | 27,7           | 14,7            | 48,9           | 34,1           |
| <b>Abril</b>     | 23,4           | 15,1            | 25,3           | 15,5           |
| <b>Mai</b>       | 28,1           | 18,2            | 30,9           | 22,1           |
| <b>Junho</b>     | 26,0           | 12,9            | 22,7           | 30,7           |
| <b>Julho</b>     | 12,5           | 19,6            | 17,3           | 11,8           |
| <b>Agosto</b>    | 17,9           | 19,2            | 24,8           | 30,8           |
| <b>Setembro</b>  | 24,5           | 22,1            | 17,9           | 27,0           |
| <b>Outubro</b>   | 22,4           | 35,7            | 31,7           | 15,7           |
| <b>Novembro</b>  | 10,4           | 7,1             | 21,1           | 11,5           |
| <b>Dezembro</b>  | 3,8            | 4,5             | 4,5            | 4,5            |
| <i>Anual</i>     | 240,7          | 219,2           | 273,9          | 231,3          |

Com base nesta análise, tem-se a Tabela 4.5, onde se pode analisar os valores reais de *payback* de cada um dos prossumidores com os diferentes sistemas. Através destes dados, vemos que a potência instalada de 2kWp ultrapassa, na maioria dos prossumidores, os oito anos, sendo que apenas o prossumidor 3 fica no limite desse mesmo período temporal.

**Tabela 4.5-Resumo Payback prossumidores, bi-horário**

| <b>Prossumidor:</b> | <b>Payback (1kWp):</b> | <b>Payback (2kWp):</b> |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| <b>1</b>            | 7,2                    | 9,1                    |
| <b>2</b>            | 7,6                    | 10                     |
| <b>3</b>            | 6,4                    | 8,0                    |
| <b>4</b>            | 7,2                    | 9,5                    |

### 4.3. Análise energética coletiva

Neste subcapítulo, é feita a reflexão do ponto de vista energético da comunidade, sendo que, nos Anexos, se pode encontrar a energia que é poupada, em cada combinação, mensalmente. Primacialmente, observamos o cenário 1 (Tabela 4.6) que realiza as combinações de todos os prossumidores apenas com dois elementos. De acordo com os dados apresentados, consegue-se depreender que a combinação que gera maior energia aproveitada entre a comunidade é a do prossumidor 3 e 4 e, em sentido inverso, a que gera menos energia aproveitada é a do prossumidor 1 e 2.

Ademais, a Tabela 4.6 serve, paralelamente, para analisar a comparação entre prossumidores com e sem partilha de energia, sendo que com a partilha é, claramente, notória uma vantagem para todas as combinações.

Tabela 4.6-Energia anual aproveitada 2kWp cenário 1

| Descrição                | Energia Aproveitada c/P2P (kWh) | Energia Aproveitada s/P2P (kWh) |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Prossumidor 1 e 2</b> | 1886,4                          | 1703,5                          |
| <b>Prossumidor 1 e 3</b> | 2072,8                          | 1868,8                          |
| <b>Prossumidor 1 e 4</b> | 1959,9                          | 1749,5                          |
| <b>Prossumidor 2 e 3</b> | 2101,3                          | 1819,2                          |
| <b>Prossumidor 2 e 4</b> | 1945,6                          | 1699,8                          |
| <b>Prossumidor 3 e 4</b> | 2150,1                          | 1865,2                          |

Após esta análise, na Tabela 4.7, pode-se ver que se aumentou a potência de pico da produção para 3kW e para 5kW, nas combinações extremas, ou seja, na melhor combinação, os prossumidores 3 e 4 e, na pior combinação, os prossumidores 1 e 2. Como se demonstrará adiante, o aumento da produção para 5kWp leva a cabo uma ultrapassagem do limite definido anteriormente de oito anos de *payback* quer seja na melhor quer seja na pior combinação, sendo que, após esse marco temporal, não se analisará mais nenhum valor superior neste cenário. Pode-se notar que o incremento de 1kW, na opção de 2kW para 3kWp, em ambos os casos, consegue-se ter uma energia aproveitada muito semelhante ao aumento de 2kW, na opção de 3kWp para 5kWp. Assim, assinala-se que o aumento da potência instalada, neste cenário, não é garantidamente sinónimo de um maior retorno.

Tabela 4.7-Energia anual aproveitada c/ 3 e 5 kWp cenário 1

| Descrição                | Energia Aproveitada c/3kWp | Energia Aproveitada c/5kWp |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Prossumidor 1 e 2</b> | 2322,1                     | 2846,4                     |
| <b>Prossumidor 3 e 4</b> | 2660,9                     | 3202,9                     |

No cenário 2 (Tabela 4.8), procura-se a melhor combinação entre os prossumidores com três elementos. Tal como no cenário anterior, fizeram-se todas as combinações possíveis para que se chegasse aos cenários que tinham maior e menor energia aproveitada. Como se pode analisar a combinação dos prossumidores 2, 3 e 4 tem a maior energia aproveitada enquanto

que a combinação dos prossumidores 1,2 e 4 tem a menor energia aproveitada. Em qualquer um dos conjuntos que compõe este cenário a energia aproveitada é sempre maior com partilha do que sem partilha, o que realça novamente as vantagens da partilha de energia entre membros, desta feita, numa comunidade de apenas três prossumidores.

Tabela 4.8-Energia anual aproveitada c/ 3kWp cenário 2

| Descrição                   | Energia Aproveitada c/P2P (kWh) | Energia Aproveitada s/P2P (kWh) |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Prossumidor 1, 2 e 3</b> | 3153,9                          | 2695,8                          |
| <b>Prossumidor 1, 2 e 4</b> | 3010,4                          | 2576,4                          |
| <b>Prossumidor 1, 3 e 4</b> | 3218,9                          | 2741,8                          |
| <b>Prossumidor 2, 3 e 4</b> | 3293,0                          | 2692,1                          |

Na Tabela 4.9, apresenta-se o resultado da energia aproveitada, do caso mais e menos favorável, tendo como resultado o aumento da potência de pico para outros valores. No aumento da potência de pico de 2kW, na opção de 3kWp para 5kWp, a energia aproveitada é maior em ambos os cenários do que no aumento de 3kW, da opção de 5kWp para 8kWp, sendo, assim, notório que o aumento da potência instalada não implica um aumento proporcional no aproveitamento da energia.

Tabela 4.9-Energia anual aproveitada c/ 5kWp e 8 kWp cenário 2

| Descrição                  | Energia Aproveitada c/5kW | Energia Aproveitada c/8kW |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Prossumidor 2,3 e 4</b> | 4120,0                    | 4744,2                    |
| <b>Prossumidor 1,2 e 4</b> | 3763,4                    | 4417,1                    |

No caso do cenário 3 (Tabela 4.10) tem-se o resumo da energia que os quatro prossumidores conseguem aproveitar com e sem a partilha de energia. De salientar que, para calcular a energia aproveitada sem partilha, sendo que o valor total da potência instalada não é um número divisível por quatro, o prossumidor com melhor e pior desempenho individual — neste caso, o prossumidor 3 e o prossumidor 2, respetivamente — ficaram com uma potência superior, no caso, 2kWp e os restantes com 1kWp. Assim, consegue-se fazer uma análise por extremos e, também neste conjunto de quatro prossumidores, quer seja na melhor situação quer seja na pior situação, a energia aproveitada com partilha entre membros é claramente superior à aproveitada sem haver partilha entre membros, refletindo-se mais uma vez, o que já se viu anteriormente com um número de membros na comunidade mais reduzido.

Tabela 4.10-Energia anual aproveitada c/5kWp cenário 3

| Descrição                      | Energia Aproveitada c/P2P (kWh) | Energia Aproveitada Melhor situação s/P2P (kWh) | Energia Aproveitada Pior situação s/P2P (kWh) |
|--------------------------------|---------------------------------|---|---|
| <b>Prossumidor 1, 2, 3 e 4</b> | 4864,0                          | 4019,8  | 3896,8  |

Tal como nas combinações anteriores, neste cenário também se fez um aumento para a potência de 8kWp (Tabela 4.11), sendo que se faz uma comparação com e sem partilha de energia, onde se considera os 2kWp individualmente. Tomando em consideração os resultados anteriores, pode-se analisar que a energia aproveitada é bastante superior com partilha de energia, mostrando sucessivamente a razão de as transações entre pares serem o caminho que se deve optar para um maior aproveitamento energético.

**Tabela 4.11-Energia anual aproveitada c/8kWp, cenário 3**

| <b>Descrição</b>               | <b>Energia Aproveitada c/P2P<br/>(kWh)</b> | <b>Energia Aproveitada<br/>s/P2P (kWh)</b> |
|--------------------------------|--|--|
| <b>Prossumidor 1, 2, 3 e 4</b> | 5803,9                                     | 5085,0                                     |

#### 4.4. Análise económica coletiva

Relativamente à análise económica, a mesma será feita tendo em conta o tarifário bi-horário, considerando a análise já feita com os prossumidores individualmente, por ser a tarifa mais vantajosa neste tipo de sistema, dado que a energia é mais cara nas horas de produção solar, ao longo do dia, ao invés das horas em que não há produção, concretamente, à noite, quando é mais económica.

Todas as transações ocorreram em período de fora de vazio, sendo esse o período a considerar. Assim, a pior situação do cenário 1, os prossumidores 1 e 2, pode ser vista na Tabela 4.12 com a potência de pico de 2kW, 3kW e 5kW, onde se pode notar que, apesar do aumento de 2kW na potência de pico de 3kW para 5kW, o valor de poupança é pouco superior ao aumento da potência de 1kW da opção de 2kWp para a opção de 3kWp.

Tabela 4.12-Cenário 1, prossumidor 1 e 2, 2kWp, 3kWp e 5kWp

| Mês:             | Poupança 2kWp (€): | Poupança 3kWp (€): | Poupança 5kWp (€): |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 38,0               | 49,1               | 63,1               |
| <b>Fevereiro</b> | 34,1               | 38,9               | 43,7               |
| <b>Março</b>     | 36,6               | 42,5               | 50,9               |
| <b>Abril</b>     | 28,1               | 35,4               | 45,8               |
| <b>Mai</b>       | 37,9               | 44,6               | 50,3               |
| <b>Junho</b>     | 29,8               | 38,0               | 45,0               |
| <b>Julho</b>     | 21,8               | 31,7               | 46,4               |
| <b>Agosto</b>    | 30,0               | 34,1               | 40,3               |
| <b>Setembro</b>  | 39,4               | 47,3               | 55,8               |
| <b>Outubro</b>   | 44,2               | 55,8               | 66,3               |
| <b>Novembro</b>  | 13,7               | 16,7               | 21,5               |
| <b>Dezembro</b>  | 4,5                | 6,7                | 11,1               |
| <b>Anual</b>     | 358,0              | 440,7              | 540,2              |

Na Tabela 4.13, pode-se analisar a melhor combinação neste cenário, ou seja, os prossumidores 3 e 4, com uma potência de pico de 2kW, 3kW e 5kW. Comparativamente aos prossumidores 1 e 2, a poupança anual é muito superior em todas as potências e, mais uma vez, segue a linha de raciocínio que o aumento de 2kW da potência de pico de 3kW para 5kW não significa, necessariamente, um aumento muito superior de poupança anual face ao aumento de 1kW da potência de pico de 2kW para 3kW. Estes resultados serão posteriormente utilizados para a análise do retorno do investimento do sistema.

Tabela 4.13- Cenário 1, prosumidor 3 e 4, 2kWp, 3kWp. e 5kWp

| Mês:             | Poupança 2kWp (€): | Poupança 3kWp (€): | Poupança 5kWp (€): |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 23,6               | 29,2               | 33,4               |
| <b>Fevereiro</b> | 20,4               | 24,8               | 28,0               |
| <b>Março</b>     | 60,8               | 83,0               | 101,2              |
| <b>Abril</b>     | 30,0               | 37,5               | 46,8               |
| <b>Mai</b>       | 47,6               | 55,0               | 61,7               |
| <b>Junho</b>     | 42,2               | 57,2               | 73,2               |
| <b>Julho</b>     | 19,9               | 27,3               | 40,0               |
| <b>Agosto</b>    | 49,4               | 56,5               | 59,4               |
| <b>Setembro</b>  | 42,3               | 44,9               | 48,1               |
| <b>Outubro</b>   | 38,9               | 51,4               | 67,5               |
| <b>Novembro</b>  | 28,5               | 31,5               | 37,5               |
| <b>Dezembro</b>  | 4,5                | 6,7                | 11,2               |
| <b>Anual</b>     | 408,1              | 505,0              | 607,9              |

Relativamente aos *paybacks* deste cenário, a Tabela 4.14 reflete cada uma das potências de pico da melhor combinação e da pior combinação. De salientar que foram estudados os *paybacks* com um kit único para a comunidade e com a divisão da potência em dois kits. A potência máxima estudada foi até aos 5kWp neste cenário pois, quer na melhor quer na pior hipótese, foi esta potência que definiu o limite de rentabilidade que tinha sido definido como oito anos, como previamente explicitado.

O estudo com vários kits será o que será mais coerente neste contexto dado que se trata de uma comunidade. O que terá mais sentido será considerar os dois prosumidores a contribuir para a mesma comunidade, porém, por não ser descabido ter apenas um kit, considerou-se também essa opção nesta análise de rentabilidade. É notório que, com o aumento da potência, o tempo de retorno do investimento aumenta independentemente do tipo de kits.

Tabela 4.14-Paybacks cenário 1

| Descrição                      | Kit único (anos) | Vários kits (anos) |
|--------------------------------|------------------|--------------------|
| <b>Prosumidor 1 e 2 (2kWp)</b> | 6,1              | 6,7                |
| <b>Prosumidor 1 e 2 (3kWp)</b> | 6,6              | 7,7                |
| <b>Prosumidor 1 e 2 (5kWp)</b> | 8,8              | 9,5                |
| <b>Prosumidor 3 e 4 (2kWp)</b> | 5,4              | 5,9                |
| <b>Prosumidor 3 e 4 (3kWp)</b> | 5,8              | 6,7                |
| <b>Prosumidor 3 e 4 (5kWp)</b> | 7,8              | 8,4                |

Na Tabela 4.15, tem-se a pior situação do cenário 2, ou seja, o conjunto formado pelos prosumidores 1, 2 e 4, com a potência de pico de 3kW, 5kW e 8kW. Nesta aceção, tal como nos conjuntos formados por dois prosumidores, o aumento da potência instalada, novamente, não consubstancia um aproveitamento proporcional, sendo que, neste caso, o aumento de 2kW no caso da potência de 3kWp para 5kWp tem uma maior poupança que o aumento de 3kW na potência de 5kWp para 8kWp.

Tabela 4.15-Cenário 2, prossumidor1, 2 e 4, 3kWp, 5kWp, 8kWp

| Mês:             | Poupança 3kWp (€): | Poupança 5kWp (€): | Poupança 8kWp (€): |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 51,5               | 70,6               | 87,0               |
| <b>Fevereiro</b> | 44,0               | 49,4               | 54,3               |
| <b>Março</b>     | 64,7               | 76,6               | 88,4               |
| <b>Abril</b>     | 37,7               | 52,3               | 69,1               |
| <b>Mai</b>       | 62,0               | 69,6               | 78,7               |
| <b>Junho</b>     | 56,9               | 83,3               | 93,6               |
| <b>Julho</b>     | 32,7               | 49,9               | 64,2               |
| <b>Agosto</b>    | 60,6               | 69,6               | 76,2               |
| <b>Setembro</b>  | 68,8               | 79,3               | 86,1               |
| <b>Outubro</b>   | 62,3               | 73,4               | 87,4               |
| <b>Novembro</b>  | 23,4               | 29,1               | 35,5               |
| <b>Dezembro</b>  | 6,7                | 11,2               | 17,9               |
| <b>Anual</b>     | 571,4              | 714,3              | 838,4              |

Quanto ao cenário 2, o melhor conjunto de prossumidores, está apresentado na Tabela 4.16 o resultado para os prossumidores 2, 3 e 4, com a potência de pico de 3kW, 5kW e 8kW.O aumento de produção de 3kWp para 5kWp traduz-se numa poupança anual superior ao aumento de 5kWp para 8kWp, estando em consonância com os resultados anteriores.

Tabela 4.16-Cenário 2, prossumidor2,3 e 4, 3kWp, 5kWp e 8kWp

| Mês:             | Poupança 3kWp (€): | Poupança 5kWp (€): | Poupança 8kWp (€): |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 48,2               | 62,9               | 75,3               |
| <b>Fevereiro</b> | 38,3               | 44,6               | 48,8               |
| <b>Março</b>     | 89,0               | 113,8              | 119,8              |
| <b>Abril</b>     | 44,4               | 57,4               | 72,2               |
| <b>Mai</b>       | 67,1               | 75,4               | 84,4               |
| <b>Junho</b>     | 60,7               | 84,5               | 89,2               |
| <b>Julho</b>     | 33,9               | 53,6               | 76,3               |
| <b>Agosto</b>    | 69,7               | 76,8               | 83,2               |
| <b>Setembro</b>  | 63,2               | 67,7               | 74,6               |
| <b>Outubro</b>   | 69,3               | 93,6               | 109,8              |
| <b>Novembro</b>  | 34,5               | 40,5               | 49,0               |
| <b>Dezembro</b>  | 6,7                | 11,2               | 17,9               |
| <b>Anual</b>     | 625,02             | 781,98             | 900,4              |

Na Tabela 4.17, está o resumo do *payback* destes conjuntos com as diferentes potências. Comparando com a Tabela 4.5, onde estão os prossumidores individualmente, nenhum conjunto com 3kWp consegue ter um *payback* tão alto como cada prossumidor

individualmente com 1kWp, o que perfaz um total de 3kWp. Assim, também neste caso, em qualquer uma das hipóteses, há vantagem com a partilha de energia entre membros.

Tabela 4.17-Payback cenário 2

| Descrição                 | Kit único (anos) | Vários kits (anos) |
|---------------------------|------------------|--------------------|
| Prosumidor 1,2 e 4 (3kWp) | 5,1              | 6,3                |
| Prosumidor 1,2 e 4 (5kWp) | 6,7              | 7,8                |
| Prosumidor 1,2 e 4 (8kWp) | 9,6              | 9,6                |
| Prosumidor 2,3 e 4 (3kWp) | 4,7              | 5,8                |
| Prosumidor 2,3 e 4 (5kWp) | 6,1              | 7,2                |
| Prosumidor 2,3 e 4 (8kWp) | 8,9              | 8,9                |

Quanto ao cenário 3, é possível apenas uma combinação com os quatro prosumidores, sendo que a análise não consegue ser tão comparativa como nos casos anteriores. Na Tabela 4.18, está o conjunto dos quatro prosumidores com uma potência de pico de 5kW e 8kW, onde se nota apenas um pequeno aumento de poupança com os 3kW, que crescem a potência de pico, o que, indicará que, posteriormente, o *payback* será menor em 5kWp do que em 8kWp, seguindo o que já tinha vindo a verificar-se com os conjuntos de prosumidores anteriores.

Tabela 4.18-Cenário 3, prosumidor 1,2,3 e 4, 5kWp, bi-horário

| Mês:             | Poupança 5kWp (€): | Poupança 8kWp (€): |
|------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Janeiro:</b>  | 72,7               | 95,3               |
| <b>Fevereiro</b> | 61,2               | 68,6               |
| <b>Março</b>     | 126,5              | 148,1              |
| <b>Abril</b>     | 68,2               | 89,8               |
| <b>Mai</b>       | 97,3               | 106,6              |
| <b>Junho</b>     | 98,3               | 115,7              |
| <b>Julho</b>     | 54,4               | 77,9               |
| <b>Agosto</b>    | 89,7               | 96,8               |
| <b>Setembro</b>  | 93,9               | 100,7              |
| <b>Outubro</b>   | 104,5              | 129,9              |
| <b>Novembro</b>  | 45,2               | 54,2               |
| <b>Dezembro</b>  | 11,2               | 17,9               |
| <b>Anual</b>     | 923,2              | 1 101,6            |

Na Tabela 4.19, está o *payback* do cenário 3, onde, tal como nos outros cenários, aumentando a potência, se aumentava também o tempo de pagamento do sistema. A título comparativo, nenhum dos prosumidores, individualmente, com 2kWp — perfazendo um total de 8kWp — tal como mostra a Tabela 4.5, consegue ter um *payback* tão baixo como este conjunto de prosumidores na opção de 8kWp, seja com ou sem vários kits. Assim, mais uma vez é salientado os benefícios de se ter partilha de energia entre membros.

Tabela 4.19-Payback cenário 3, bi-horário

| <b>Descrição</b>                   | <b>Kit único (anos)</b> | <b>Vários kits (anos)</b> |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| <b>Prosumidor 1,2,3 e 4 (5kWp)</b> | 5,2                     | 6,3                       |
| <b>Prosumidor 1,2,3 e 4 (8kWp)</b> | 7,3                     | 8,0                       |

## 5. Conclusão

Como já foi referido, o objetivo deste trabalho era estudar e aprofundar as transações energéticas entre comunidades de energia, criando e analisando uma potencial comunidade de energia, composta por até quatro elementos, criando diversos cenários e tentando explorar todos eles. O principal foco deste trabalho refletiu-se sobre essa comunidade, sendo que os diversos cenários que se utilizaram auxiliaram nesse estudo.

Tentou-se usar dados o mais aproximados com a realidade possível, sendo usados dados do ano de 2019, ano em que não se verificaram fenômenos externos como a pandemia Covid-19 ou a guerra entre a Ucrânia e a Rússia, para que os resultados fossem o mais semelhantes com a realidade, o que se tornou complexo por via de estarmos perante um trabalho metodológico, sendo impossível prever o comportamento de fatores como a produção solar fotovoltaica ou se o consumo de uma determinada habitação é o mesmo todos os dias da semana ao longo do mesmo mês.

Em todos os cenários, é visível que a partilha de energia é vantajosa, sendo ainda mais quando as potências de pico instaladas na comunidade são mais baixas. De salientar também que o melhor prosumidor individual, o prosumidor 3, entra em todos os conjuntos que têm os melhores resultados, quer seja com dois, quer seja com três membros, o que mostra que a pouca energia que ele desperdiça ainda consegue contribuir para ajudar outros prosumidores.

O aumento da potência de pico implica mais poupança de energia, contudo, não significa melhor tempo de pagamento dos kits adquiridos. O resultado dos cenários demonstra, sem sombra de dúvida, as vantagens que se podem usufruir recorrendo à partilha de energia dentro da comunidade, bem como o que se pode ganhar ao longo do tempo, quer a nível energético quer a nível económico, contribuindo assim rumo à tão almejada descarbonização.

O crescente número de pequenos produtores com painéis fotovoltaicos faz com que seja cada vez mais necessário o aproveitamento de toda a energia gerada individualmente, sendo que a necessidade de novas comunidades de energia terá de ser uma realidade no futuro, quer estas tenham armazenamento ou não. Apenas deste modo se aumentará ainda mais a

eficiência energética. A energia solar é dinâmica e depende de muitos fatores para a produção de energia ter sucesso e o máximo de rentabilidade.

Através deste trabalho, conclui-se, igualmente, que é benéfico ter transações entre a comunidade energética. Essas transações, independentemente do número de prossumidores que tenha a comunidade, contribuem para uma maior eficiência energética. Para um prossumidor comum, participar numa comunidade de energia deveria fazer todo o sentido, só assim consegue ser altruísta e ajudar os seus vizinhos, bem como ser ajudado energeticamente quando necessita.

Por outro lado, assume-se que este trabalho tem algumas limitações tais como recorrer a um modelo simulado do Reino Unido que, por ser simulado e ser noutra país, pode ter algumas diferenças com a realidade. Porém, e como explicado anteriormente, o modelo tinha grandes parecenças com a realidade do Reino Unido. Além disso, o facto de a produção ser igual para todos os prossumidores pode ser algo que também pode levantar algumas questões relativamente a um caso real. Porém, por se tratar de prossumidores idealmente com a localização semelhante, nem é tida em conta essa questão.

Em tom conclusivo, convém salientar que os cenários aqui criados ainda poderiam ter explorado outros tópicos, que poderão servir de ponto de partida para trabalhos futuros, tais como a integração de carros elétricos na rede e o que as suas baterias poderiam ou não contribuir para o auxílio da comunidade, sendo um suporte na rede, sem acrescentar um custo extra. Os valores da compra da energia também poderiam ser analisados com os tarifários indexados, bem como poderia ser feita uma gestão dinâmica das cargas que compõe o diagrama, analisando o comportamento de outras cargas com a produção. O diagrama de cargas não ser realizado em território nacional também poderia criar outros resultados diferentes, bem como ser um modelo simulado ao invés de ser um modelo real.

## Bibliografia ou Referências Bibliográficas

- [1] F. Lezama, J. Soares, P. Hernandez-Leal, M. Kaisers, T. Pinto, e Z. Vale, «Local Energy Markets: Paving the Path Toward Fully Transactive Energy Systems», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, n.o 5, pp. 4081–4088, set. 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2018.2833959.
- [2] J. H. Yoon, R. Baldick, e A. Novoselac, «Dynamic Demand Response Controller Based on Real-Time Retail Price for Residential Buildings», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, n.o 1, pp. 121–129, jan. 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2264970
- [3] «Review of Existing Peer-to-Peer Energy Trading Projects | Elsevier Enhanced Reader». Acedido: 16 de abril de 2023. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610217308007?token=C45CD5FB28942D5E34030420B2CEA0F0D7D59B3D3A7172D11037923D3AB869F0B156D6EDCC0C384085DEBE6779560786&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230416134210>
- [4] «Navigant Research Has Identified 4,475 Microgrid Projects Representing Nearly 27 GW of Planned and Installed Power Capacity Globally Through 2Q 2019». Acedido: 7 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.businesswire.com/news/home/20190716005252/en/Navigant-Research-Has-Identified-4475-Microgrid-Projects-Representing-Nearly-27-GW-of-Planned-and-Installed-Power-Capacity-Globally-Through-2Q-2019>
- [5] I. F. G. Reis, M. A. R. Lopes, e C. H. Antunes, «Energy Transactions Between Energy Community Members: an Agent-Based Modeling Approach», em 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), set. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/SEST.2018.8495635.
- [6] H. Wang e J. Huang, «Incentivizing Energy Trading for Interconnected Microgrids», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 9, n.o 4, pp. 2647–2657, jul. 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2614988.
- [7] A. Froggatt, «The energy industry is being disrupted – and traditional firms can't keep up», *The Conversation*. Acedido: 26 de março de 2023. Disponível em: <http://theconversation.com/the-energy-industry-is-being-disrupted-and-traditional-firms-cant-keep-up-101850>

- [8] «DL n° 15/2022, de 14 de janeiro». Acedido: 23 de março de 2024. Disponível em: [https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=3536&tabela=leis&ficha=1&pagina=1&so\\_miolo=](https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=3536&tabela=leis&ficha=1&pagina=1&so_miolo=)
- [9] «Aplicação da tecnologia Blockchain nos sistemas elétricos de Energia». Acedido: 25 de março de 2023. Disponível em: [https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/12676/1/DM\\_LuisCardoso\\_2018\\_MEESE.pdf](https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/12676/1/DM_LuisCardoso_2018_MEESE.pdf)
- [10] «Temperatura média global tem 50% de chance de ultrapassar 1.5°C até 2026 | ONU News». Acedido: 26 de março de 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/05/1788562>
- [11] «WEF\_Future\_of\_Electricity\_2017.pdf». Acedido: 26 de março de 2023. Disponível em: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Electricity\\_2017.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf)
- [12] «SU ELETRICIDADE». Acedido: 16 de setembro de 2023. Disponível em: <https://sueletricidade.pt/pt-pt/page/666/producao-distribuida>
- [13] «Integração e controlo de dispositivos de armazenamento de energia em redes de distribuição de baixa tensão». Acedido: 16 de setembro de 2023. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/78317/2/34223.pdf>
- [14] «New Energy Outlook 2022 | BloombergNEF | Bloomberg Finance LP», BloombergNEF. Acedido: 26 de março de 2023. Disponível em: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
- [15] «The Power of Flexibility». Acedido: 30 de março de 2023. Disponível em: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2018-08-21-flexFroggattQuiggin.pdf>
- [16] «ERSE - Eficiência Energética». Acedido: 1 de julho de 2023. Disponível em: <https://www.erse.pt/atividade/eficiencia-energetica/>
- [17] «A nova economia da energia». Acedido: 1 de julho de 2023. Disponível em: <https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/detalhe/20221121-1041-a-nova-economia-da-energia>
- [18] «Smart grids and meters». Acedido: 1 de abril de 2023. Disponível em: [https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en)

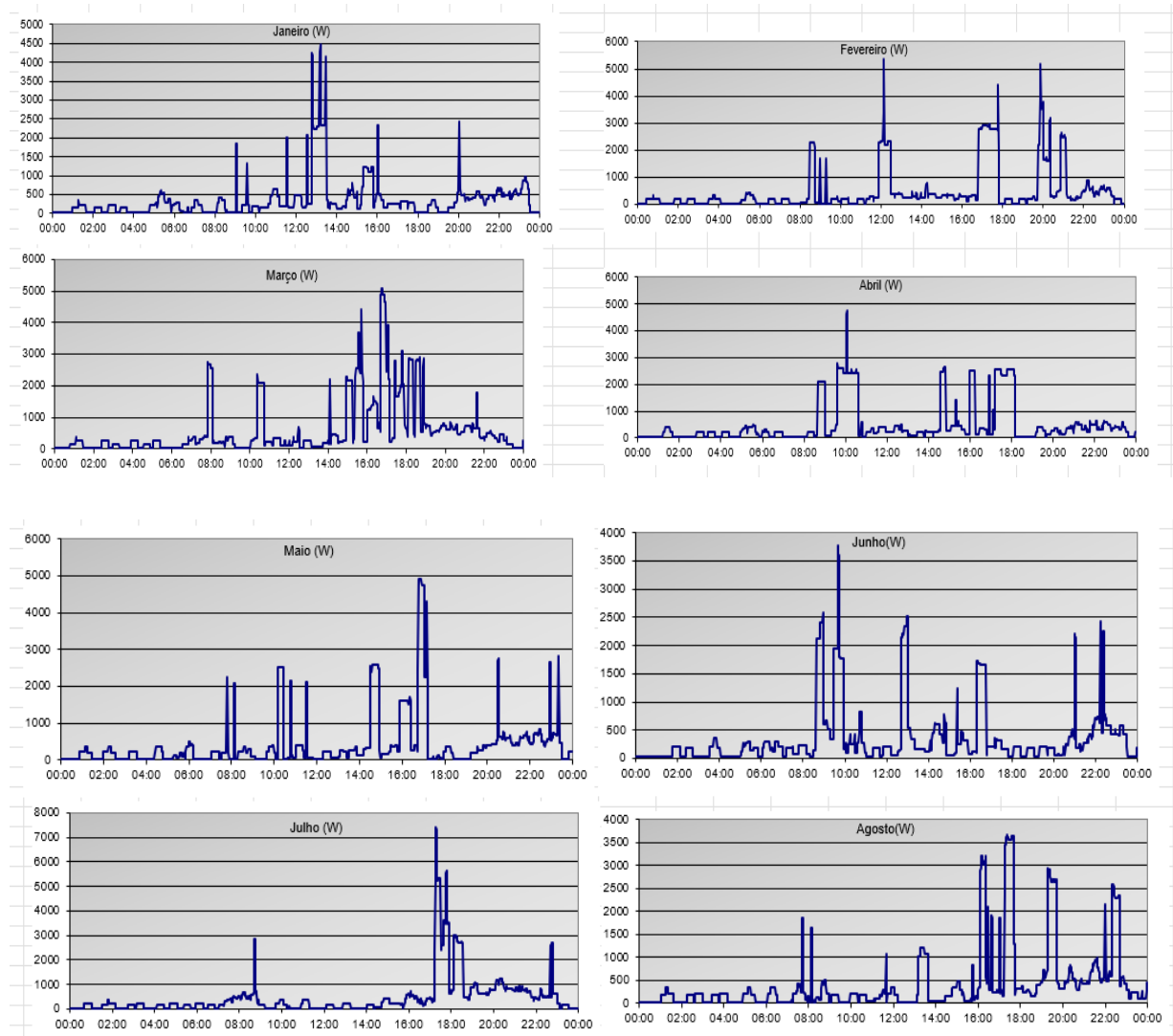
- [19] [www.oinstalador.com](https://www.oinstalador.com/), «O papel da gestão dinâmica de linhas de transmissão na integração de geração renovável», <https://www.oinstalador.com/>. Acedido: 26 de março de 2024. Disponível em: <https://www.oinstalador.com/Artigos/375485-O-papel-da-gestao-dinamica-de-linhas-de-transmissao-na-integracao-de-geracao-renovavel.html>
- [20] «MIBEL». Acedido: 20 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/mercados-e-mecanismos-de-capacidade/mibel/>
- [21] «MIBEL: como funciona o mercado ibérico de eletricidade», REPSOL. Acedido: 22 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.repsol.pt/particulares/assessoramento/mibel-o-que-e-como-funciona-mercado-iberico-eletricidade/>
- [22] «ERSE - Tarifas e preços - eletricidade». Acedido: 28 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>
- [23] «O que é a opção horária e qual a melhor para mim?», EDP Comercial. Acedido: 6 de agosto de 2023. Disponível em: <https://www.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/>
- [24] «Blockchain: o que é e como funciona essa tecnologia». Acedido: 12 de setembro de 2023. Disponível em: <https://conectaja.proteste.org.br/blockchain-o-que-e-como-funciona/>
- [25] A. Ferreira, «O que é e como funciona o blockchain: além das criptomoedas», Distrito. Acedido: 15 de abril de 2023. Disponível em: <https://distrito.me/blog/blockchain-o-que-e-como-funciona/>
- [26] D. Costa, «Token: o que é? Qual a diferença entre tokens e criptomoedas?», Rankia. Acedido: 12 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.rankia.pt/criptomoeda/o-que-e-um-token/>
- [27] «O que é o Piclo Flex?». Acedido: 23 de julho de 2023. Disponível em: <https://www.piclo.energy/portugal#What-is-piclo-flex>
- [28] «Peer Energy Cloud | cluster de software». Acedido: 21 de agosto de 2023. Disponível em: <http://software-cluster.org/projects/peer-energy-cloud/>

- [29] «Vandebron - Duurzame energie van Nederlandse bodem», Vandebron. Acedido: 21 de agosto de 2023. Disponível em: <https://vandebron.nl/over-ons/>
- [30] M. Kubli e S. Puranik, «A typology of business models for energy communities: Current and emerging design options», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 176, p. 113165, abr. 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113165.
- [31] «Projetos P2P». Acedido: 28 de dezembro de 2023. Disponível em: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/45351/1/ulfc126014\\_tm\\_Miguel\\_Dias.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/45351/1/ulfc126014_tm_Miguel_Dias.pdf)
- [32] S. Sul, «Projecto COMSOLVE desenvolve soluções para CER com integração de veículos eléctricos», *Edifícios e Energia*. Acedido: 2 de julho de 2023. Disponível em: <https://edificioseenergia.pt/noticias/1801-projecto-comsolve-cer-integracao-veiculos-electricos/>
- [33] H. Zhou, B. Li, X. Zong, e D. Chen, «Transactive energy system: Concept, configuration, and mechanism», *Front. Energy Res.*, vol. 10, 2023, Acedido: 9 de janeiro de 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2022.1057106>
- [34] I. Richardson, M. Thomson, e D. Infield, «A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations», *Energy Build.*, vol. 40, n.º 8, pp. 1560–1566, jan. 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.02.006.
- [35] «PVGIS background information - European Commission». Acedido: 25 de fevereiro de 2024. Disponível em: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-background-information\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-background-information_en)
- [36] «Kit de autoconsumo solar monofásico de 1kW XS com excedentes». Acedido: 9 de outubro de 2023. Disponível em: [https://www.damiasolar.com/pt/kits-solares/kits-solares-autoconsumo/kit-de-autoconsumo-solar-monofasico-de-1kw-xs-com-excedentes.html#/46-estrutura-sem\\_alterar\\_a\\_estrutura\\_incluindo\\_a\\_estrutura\\_coplanar/88-home\\_kit\\_monofasico-sem\\_kit\\_monofasico\\_domestico\\_para\\_monitorar\\_o\\_consumo\\_de\\_electricidade](https://www.damiasolar.com/pt/kits-solares/kits-solares-autoconsumo/kit-de-autoconsumo-solar-monofasico-de-1kw-xs-com-excedentes.html#/46-estrutura-sem_alterar_a_estrutura_incluindo_a_estrutura_coplanar/88-home_kit_monofasico-sem_kit_monofasico_domestico_para_monitorar_o_consumo_de_electricidade)
- [37] «Kit de autoconsumo solar monofásico de 2kW XS com excedentes». Acedido: 9 de outubro de 2023. Disponível em: <https://www.damiasolar.com/pt/kits-solares/kits-solares-autoconsumo/kit-de-autoconsumo-solar-monofasico-de-2kw-xs-com-excedentes.html>

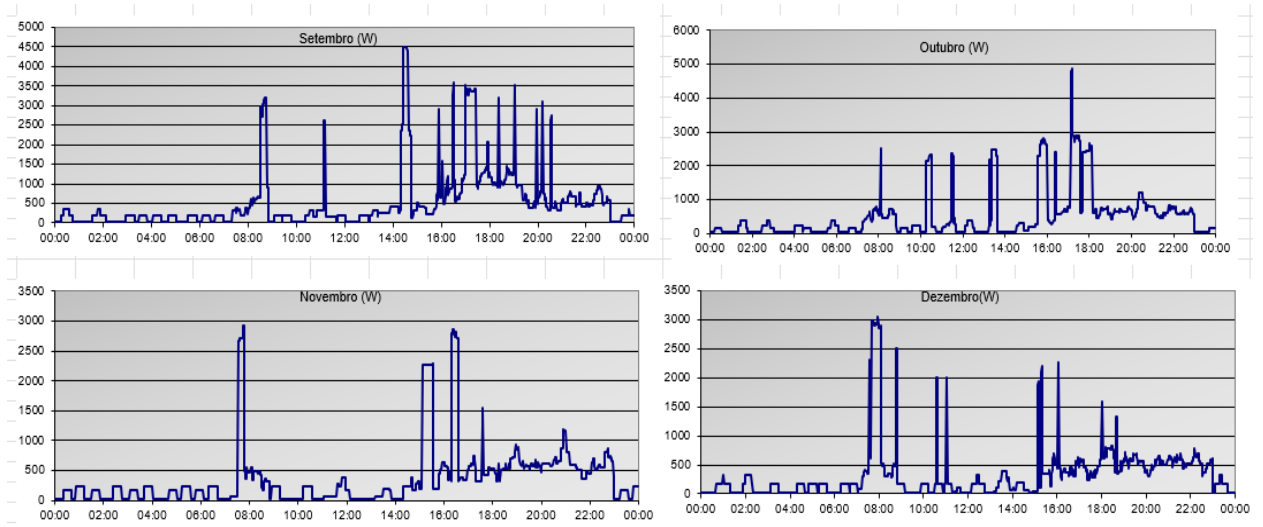
- [38] «Kit de autoconsumo solar monofásico de 3kW XS Injeção Zero». Acedido: 9 de outubro de 2023. Disponível em: <https://www.damiasolar.com/pt/kit-de-autoconsumo-solar-monofasico-de-3kw-xs-injecao-zero.html>
- [39] «Kit de autoconsumo solar 5kW EH monofásico com excedentes». Acedido: 27 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.damiasolar.com/pt/kits-solares/kits-solares-autoconsumo/kit-de-autoconsumo-solar-5kw-eh-monofasico-com-excedentes.html>
- [40] «Kit de autoconsumo solar de 8kW ET híbrido Injeção Zero», Damia Solar Electrosol Energia S.L. Acedido: 9 de março de 2024. Disponível em: <https://www.damiasolar.com/pt/kits-solares/kits-solares-autoconsumo/kit-de-autoconsumo-solar-de-8kw-et-hibrido-injecao-zero.html>
- [41] «Despacho n.º 6476-D/2021». Acedido: 25 de março de 2024. Disponível em: <https://files.dre.pt/2s/2021/07/126000001/0002700029.pdf>

# Anexos

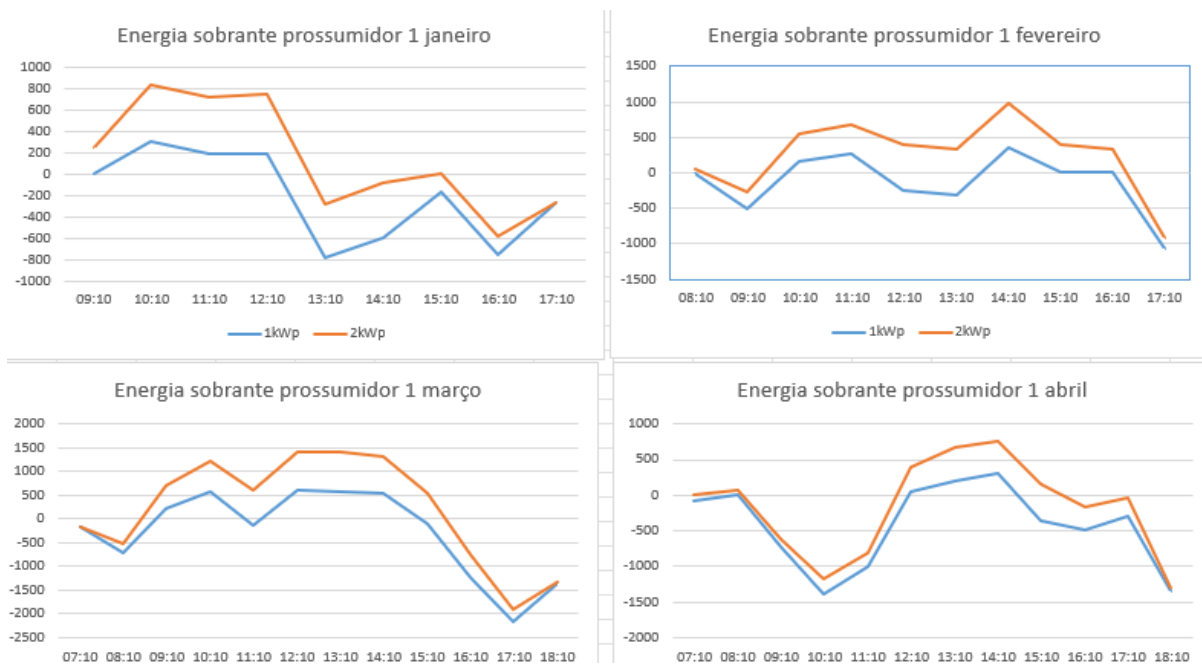
Gráficos com o consumo do prossumidor 1.



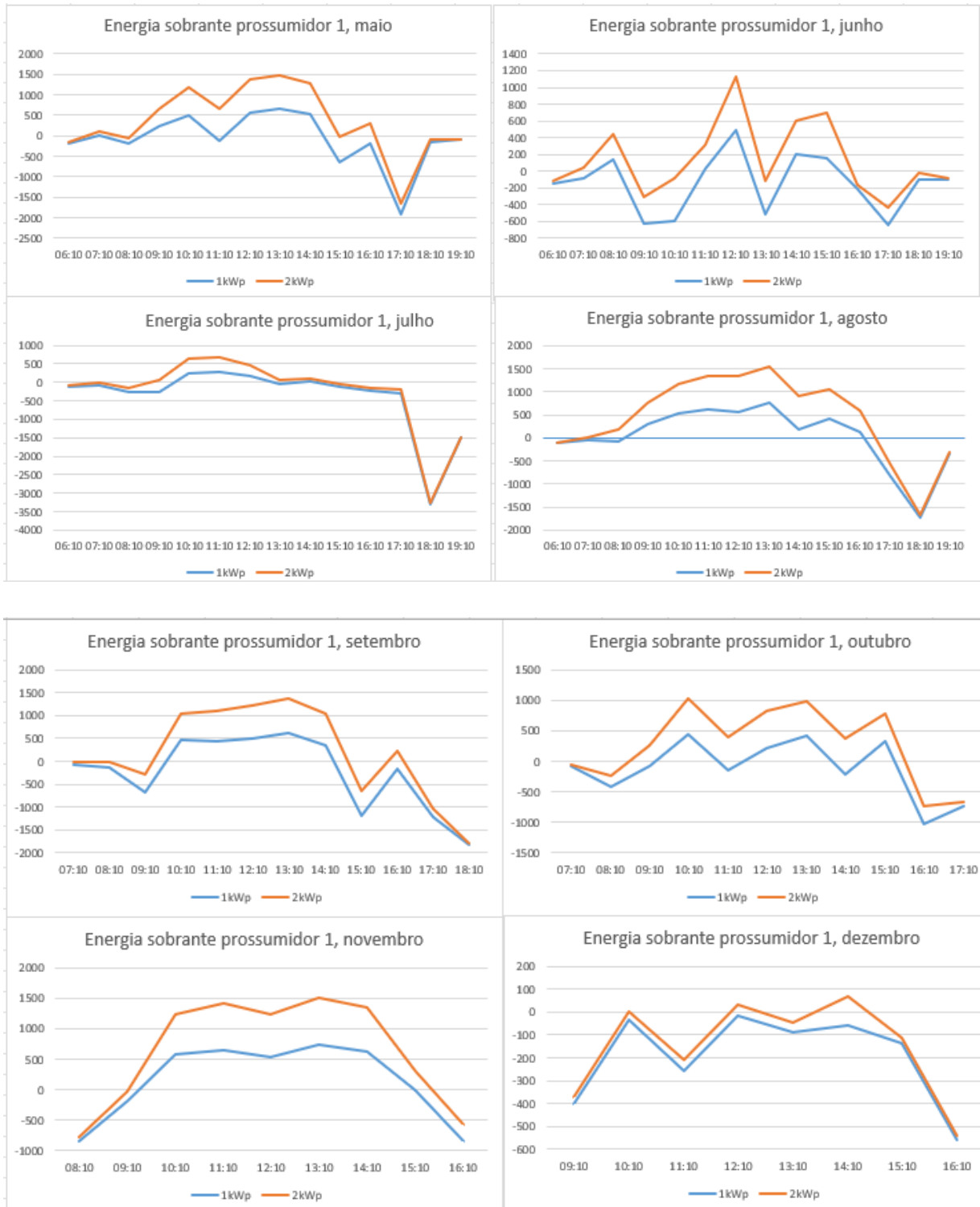
## Transações entre pares em comunidades de energia



Gráficos com a energia sobrando do prossumidor 1 ao longo do ano, tendo como base a potência de pico de 1kW e de 2kW.

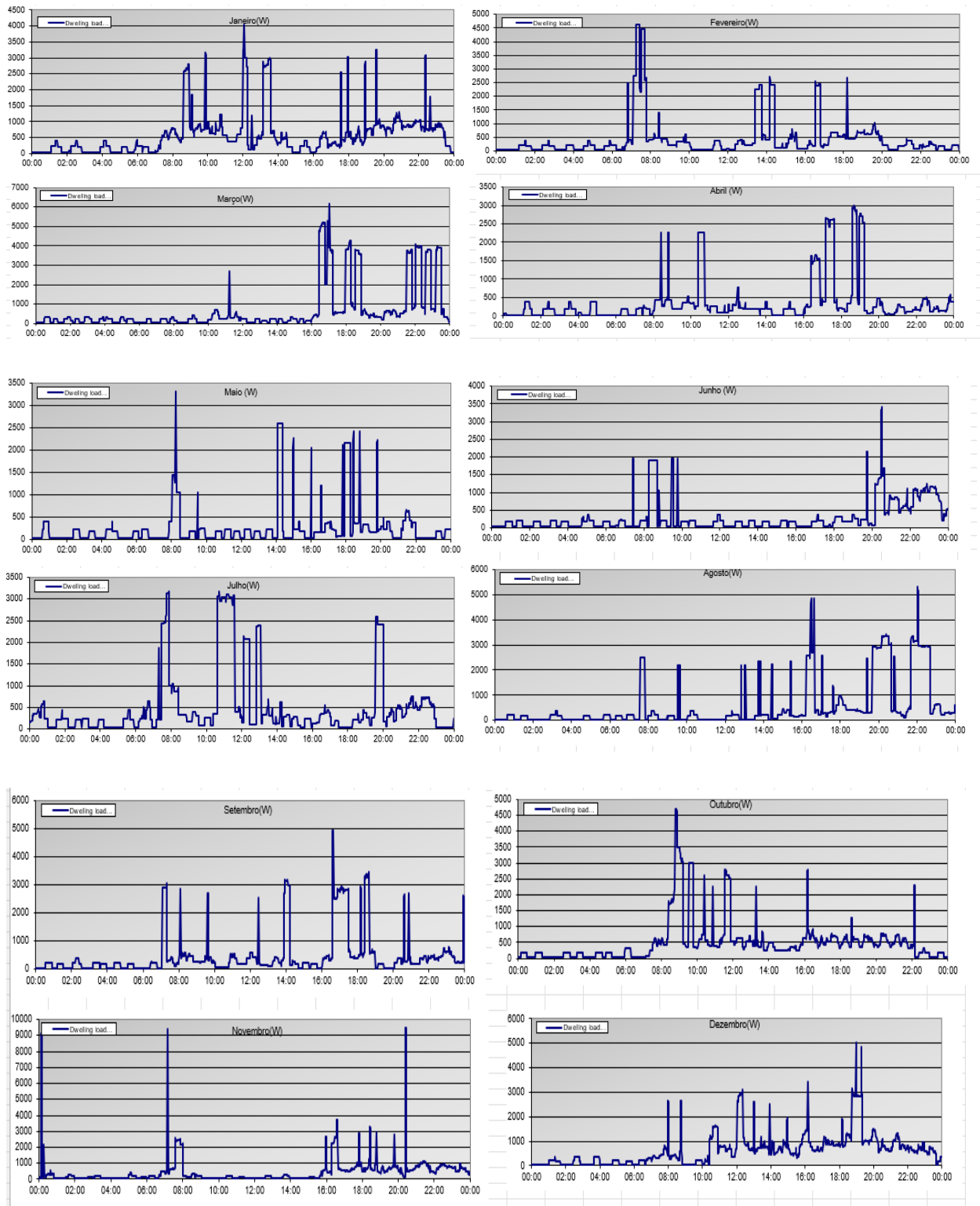


## Transações entre pares em comunidades de energia



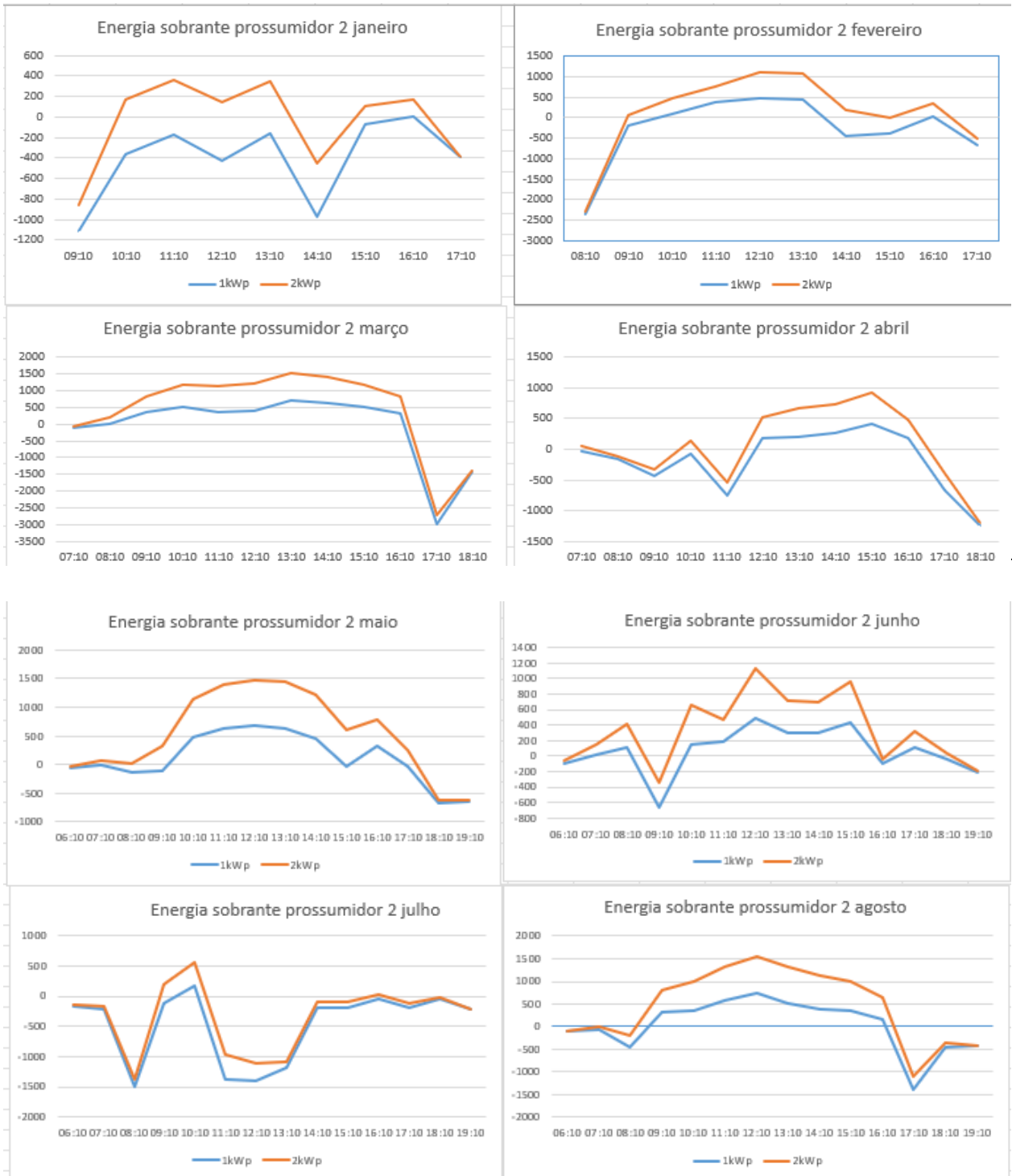
Gráficos com o consumo do prosumidor 2.

## Transações entre pares em comunidades de energia

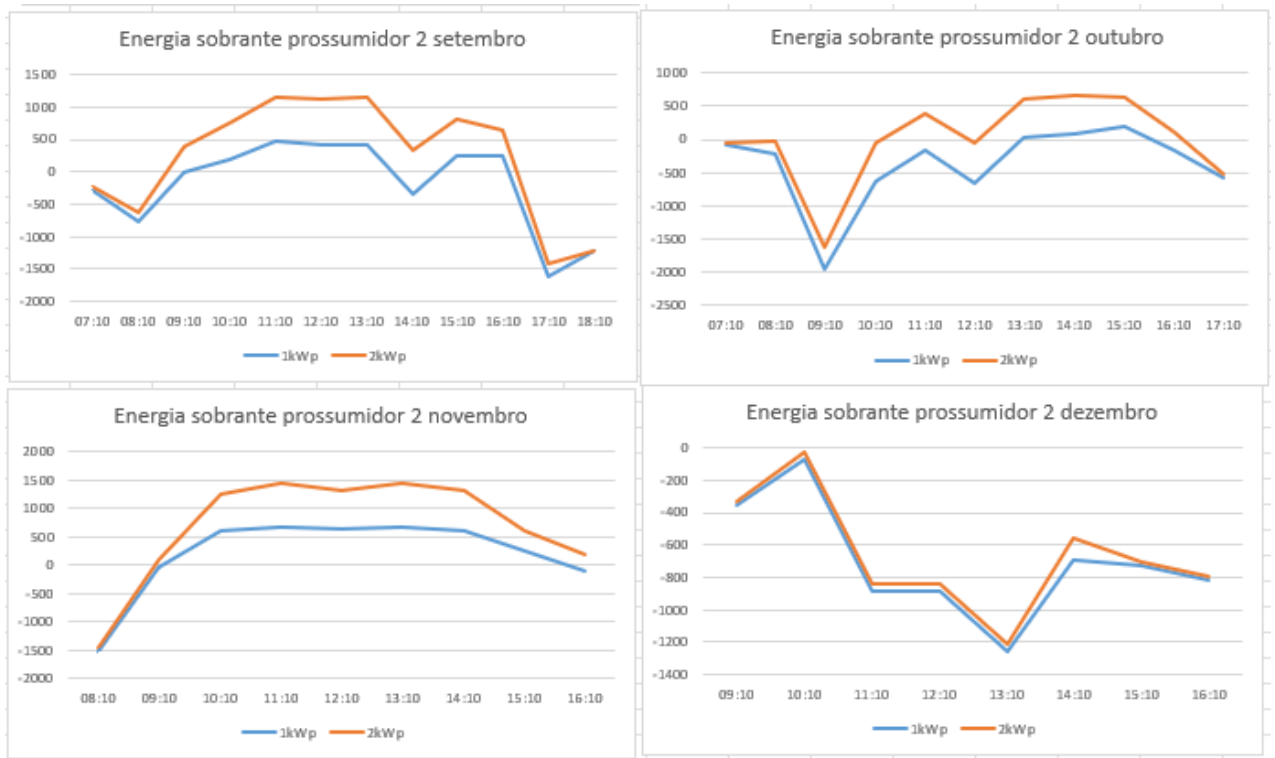


Gráficos com a energia sobrando do prossumidor 2 ao longo do ano, tendo como base a potência de pico de 1kW e de 2kW.

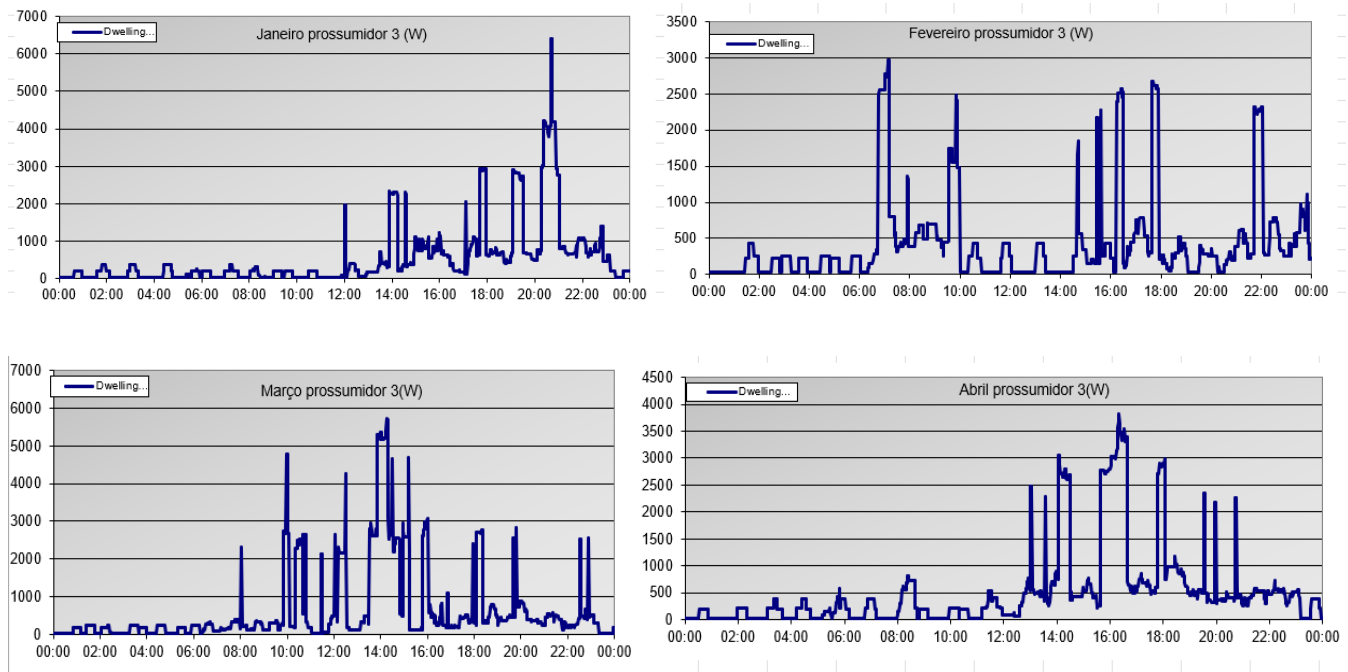
## Transações entre pares em comunidades de energia



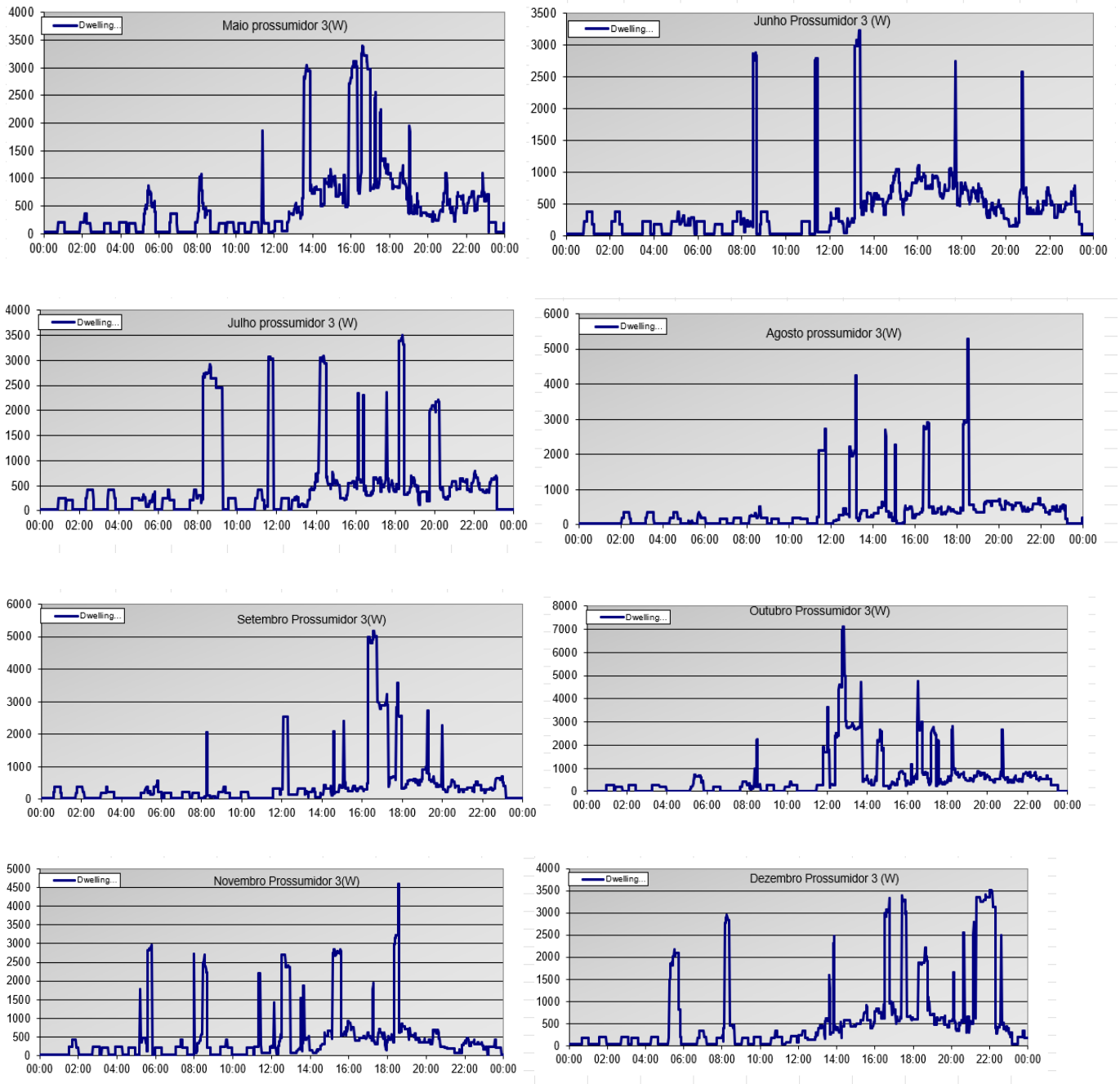
## Transações entre pares em comunidades de energia



## Gráficos com o consumo do prossumidor 3.

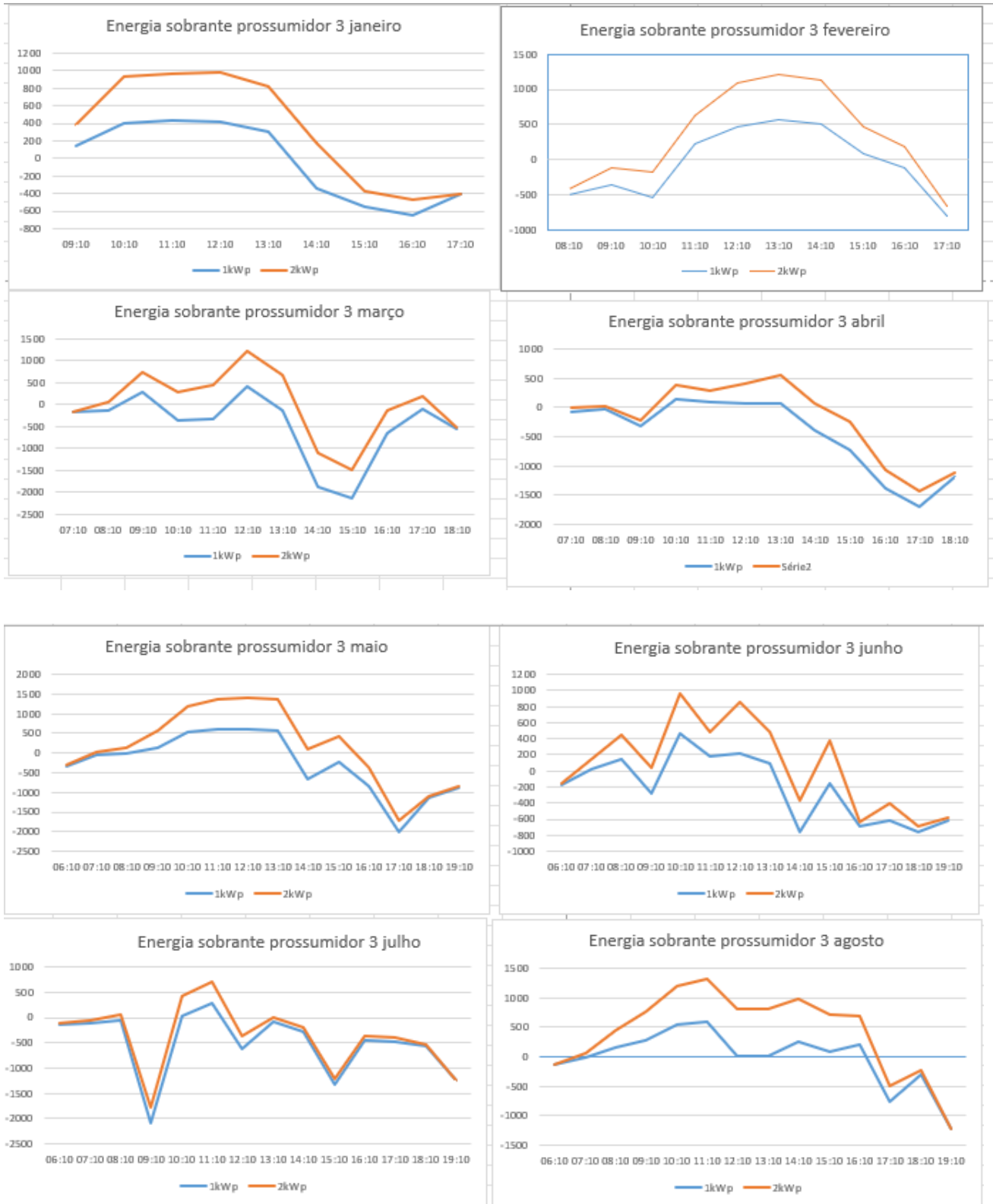


## Transações entre pares em comunidades de energia

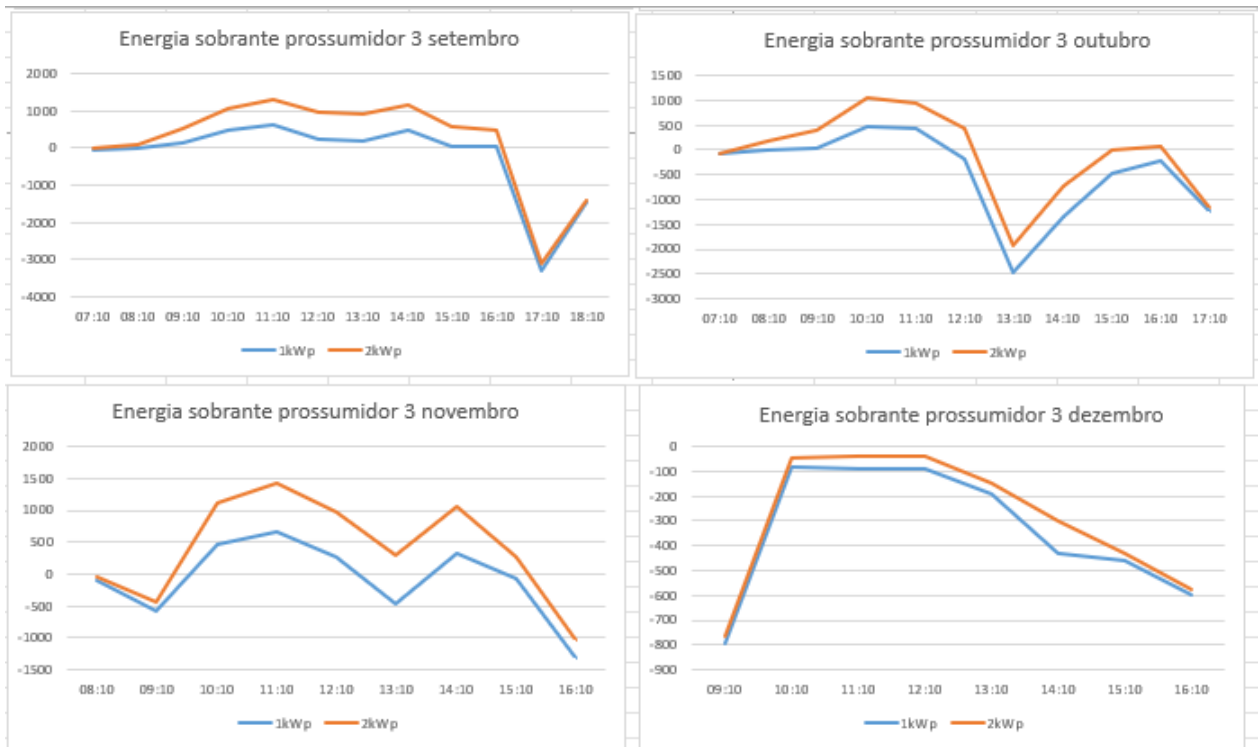


Gráficos com a energia sobrando do prossumidor 3 ao longo do ano, tendo como base a potência de pico de 1kW e de 2kW.

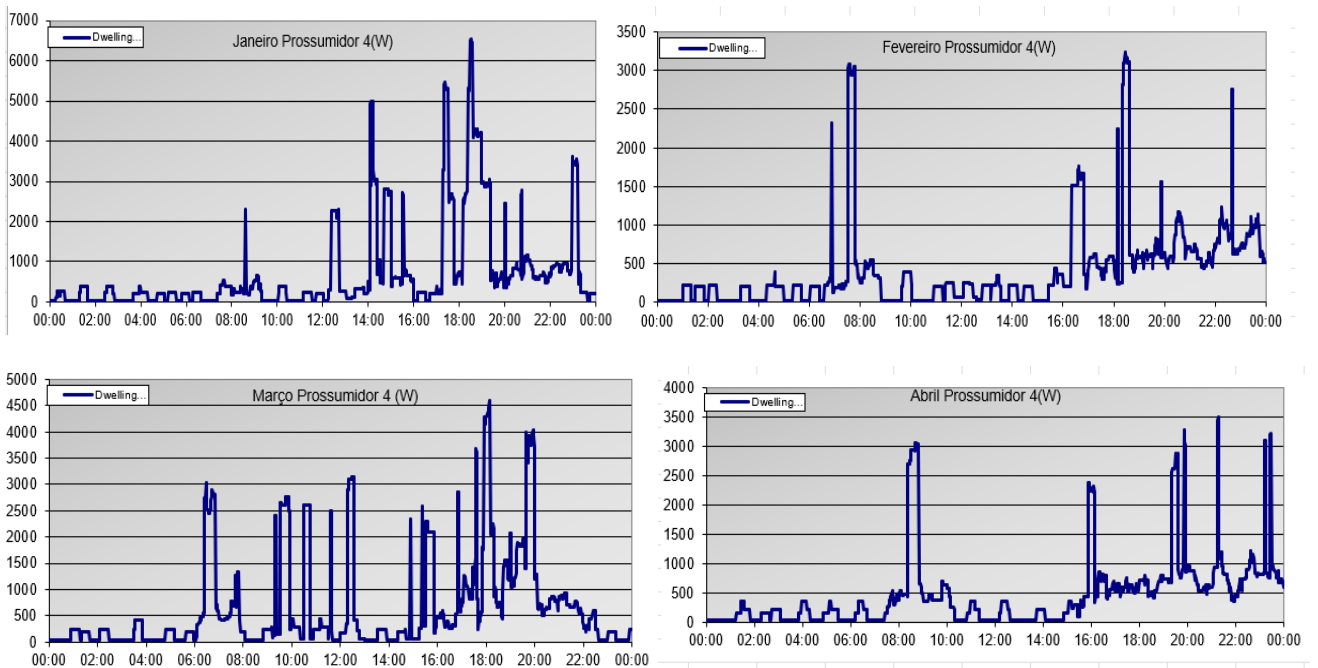
## Transações entre pares em comunidades de energia



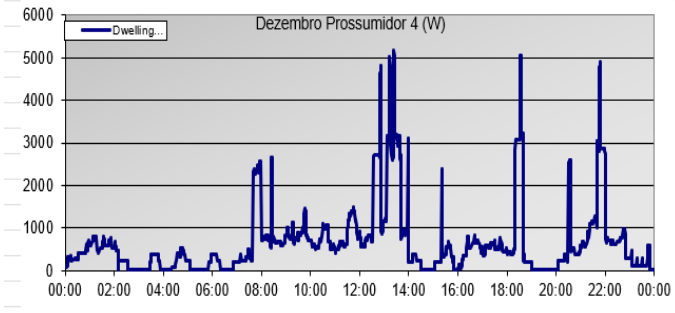
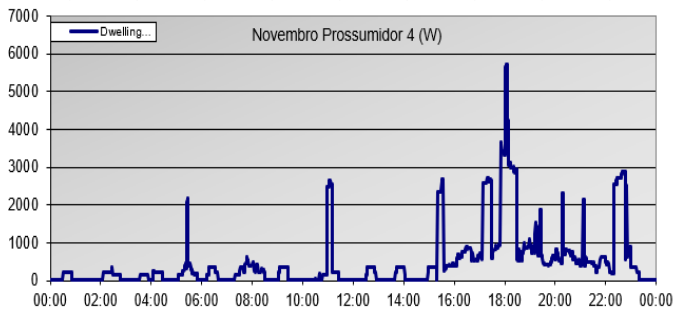
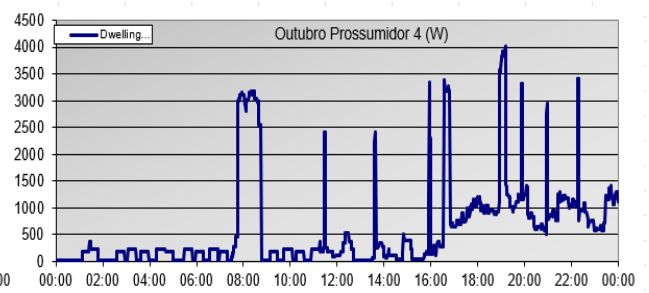
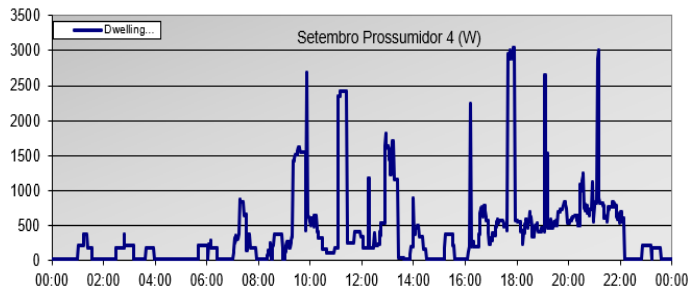
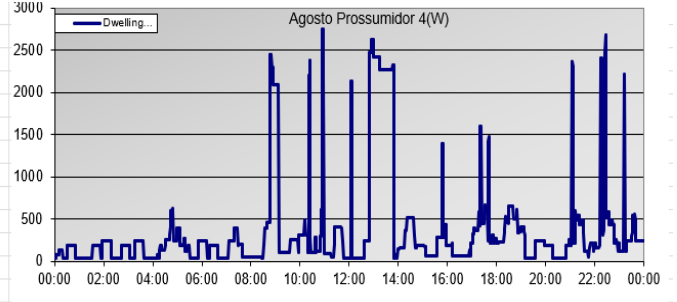
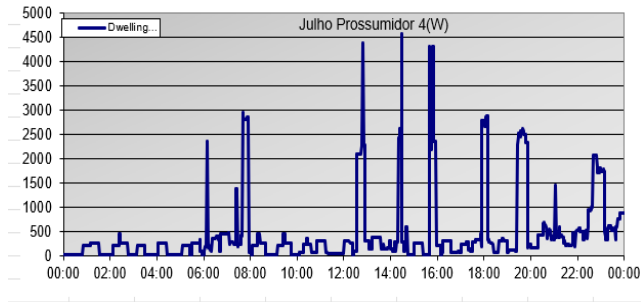
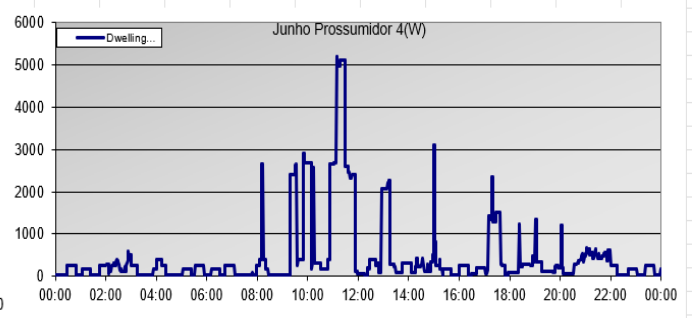
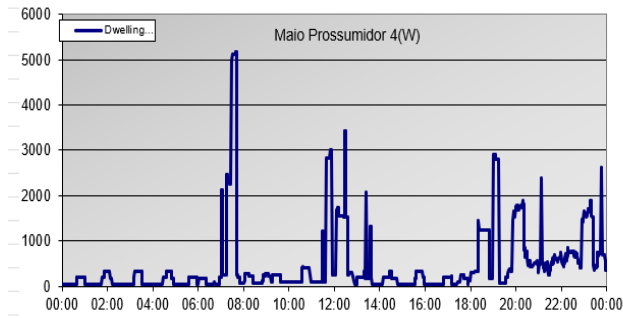
## Transações entre pares em comunidades de energia



## Gráficos com o consumo do prosumidor 4.



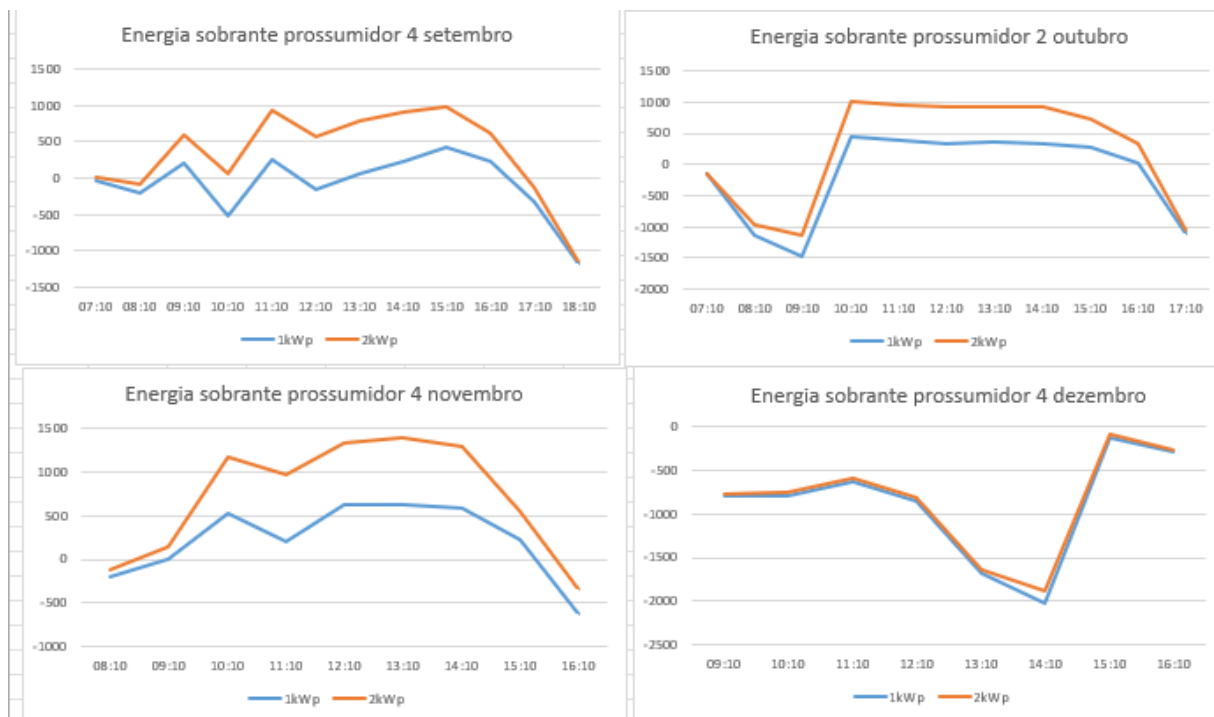
## Transações entre pares em comunidades de energia



Gráficos com a energia sobranante do prossumidor 4 ao longo do ano, tendo como base a potência de pico de 1kW e de 2kW.



## Transações entre pares em comunidades de energia



Combinação cenário 1, prossumidores 1 e 2 com as diversas potências.

| Mês:         | 2kWp (kWp):   | 3kWp (kWp):   | 5kWp (kWp):   |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Janeiro:     | 200,4         | 258,9         | 332,3         |
| Fevereiro    | 179,4         | 204,9         | 230,0         |
| Março        | 192,7         | 224,1         | 268,2         |
| Abril        | 148,0         | 186,5         | 241,5         |
| Mai          | 199,7         | 235,0         | 265,0         |
| Junho        | 157,1         | 200,1         | 237,1         |
| Julho        | 115,1         | 166,8         | 244,6         |
| Agosto       | 157,8         | 179,7         | 212,4         |
| Setembro     | 207,5         | 249,0         | 294,2         |
| Outubro      | 233,0         | 293,9         | 349,3         |
| Novembro     | 72,1          | 87,8          | 113,1         |
| Dezembro     | 23,6          | 35,4          | 58,7          |
| <b>Anual</b> | <b>1886,4</b> | <b>2322,1</b> | <b>2846,4</b> |

Combinação cenário 1, prossumidores 3 e 4 com as diversas potências.

Transações entre pares em comunidades de energia

| <b>Mês:</b>  | <b>2kWp (kWp):</b> | <b>3kWp (kWp):</b> | <b>5kWp (kWp):</b> |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Janeiro:     | 124,1              | 154,1              | 175,7              |
| Fevereiro    | 107,4              | 130,7              | 147,7              |
| Março        | 320,2              | 437,1              | 533,3              |
| Abril        | 158,1              | 197,4              | 246,4              |
| Maio         | 250,6              | 289,9              | 325,1              |
| Junho        | 222,5              | 301,3              | 385,4              |
| Julho        | 104,7              | 143,8              | 210,8              |
| Agosto       | 260,5              | 297,5              | 312,9              |
| Setembro     | 223,0              | 236,6              | 253,5              |
| Outubro      | 204,9              | 271,1              | 355,6              |
| Novembro     | 150,4              | 166,1              | 197,5              |
| Dezembro     | 23,6               | 35,4               | 59,0               |
| <b>Anual</b> | 2150,1             | 2660,9             | 3202,9             |

Combinação cenário 2, prossumidores 1,2 e 4 com as diversas potências.

| <b>Mês:</b>  | <b>3kWp (kWp):</b> | <b>5kWp (kWp):</b> | <b>8kWp (kWp):</b> |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Janeiro:     | 271,4              | 371,9              | 458,5              |
| Fevereiro    | 232,1              | 260,4              | 286,2              |
| Março        | 340,8              | 403,5              | 465,7              |
| Abril        | 198,7              | 275,7              | 363,9              |
| Maio         | 326,6              | 366,9              | 414,4              |
| Junho        | 300,0              | 438,6              | 493,1              |
| Julho        | 172,4              | 262,8              | 338,1              |
| Agosto       | 319,1              | 366,8              | 401,6              |
| Setembro     | 362,6              | 417,6              | 453,7              |
| Outubro      | 328,0              | 387,0              | 460,6              |
| Novembro     | 123,1              | 153,1              | 186,9              |
| Dezembro     | 35,4               | 59,0               | 94,4               |
| <b>Anual</b> | 3010,4             | 3763,4             | 4417,1             |

Combinação cenário 2, prossumidores 2,3 e 4 com as diversas potências.

| <b>Mês:</b> | <b>3kWp (kWp):</b> | <b>5kWp (kWp):</b> | <b>8kWp (kWp):</b> |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Janeiro:    | 254,0              | 331,5              | 396,8              |
| Fevereiro   | 201,7              | 235,2              | 257,1              |
| Março       | 468,7              | 599,6              | 631,2              |
| Abril       | 233,8              | 302,7              | 380,2              |
| Maio        | 353,8              | 397,3              | 444,8              |
| Junho       | 319,9              | 445,1              | 470,1              |
| Julho       | 178,8              | 282,2              | 401,9              |
| Agosto      | 367,1              | 404,4              | 438,1              |
| Setembro    | 332,8              | 356,8              | 392,9              |
| Outubro     | 365,2              | 493,1              | 578,6              |
| Novembro    | 181,9              | 213,3              | 258,1              |

Transações entre pares em comunidades de energia

|              |        |        |        |
|--------------|--------|--------|--------|
| Dezembro     | 35,4   | 59,0   | 94,4   |
| <b>Anual</b> | 3293,0 | 4120,0 | 4744,2 |

Combinação cenário 3 com as diversas potências.

| <b>Mês:</b>  | <b>5kWp (kWp):</b> | <b>8kWp (kWp):</b> |
|--------------|--------------------|--------------------|
| Janeiro:     | 383,0              | 502,3              |
| Fevereiro    | 322,7              | 361,5              |
| Março        | 666,3              | 780,5              |
| Abril        | 359,2              | 473,0              |
| Mai          | 512,6              | 561,7              |
| Junho        | 518,1              | 609,7              |
| Julho        | 286,8              | 410,3              |
| Agosto       | 472,7              | 509,9              |
| Setembro     | 494,7              | 530,8              |
| Outubro      | 550,6              | 684,6              |
| Novembro     | 238,2              | 285,3              |
| Dezembro     | 59,0               | 94,4               |
| <b>Anual</b> | 4864,0             | 5804               |